Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

на тему *«Проєкт системи очищення конвертерних газів з повним допалюванням»*

Виконав: студентка ___групи *6.1831*_____

спеціальності
183 Технології захисту навколишнього середовища
освітньої програми
*Технології захисту навколишнього середовища*_

Ажажа О.В. _____ _____

Керівник доц., *к.т.н. Манідіна Є.А.*_____

Рецензент *к.т.н. Грідяєв В.В.*_____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім Ю.М. ПОТЕБНІ

едра *металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*

ень вищої освіти *перший бакалаврський рівень* / другий (магістерський) рівень

еціальність *183 Технології захисту навколишнього середовища* (шифр і назва)

світньо-професійна програма *Технології захисту навколишнього середовища* (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
ідувач кафедри *МТЕТБ*
Ю.О. Бєлоконь
«24» 12 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ажажа Олег Валерійович (прізвище, ім'я, по батькові)

. Тема роботи « Проєкт системи очищення конвертерних газів з повним допалюванням»
керівник роботи *Манідіна Євгенія Анатоліївна к.т.н, доцент* (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від "__" _____ 202_ року № _____
2. Строк подання студентом роботи *10.06.2025*
3. Вихідні дані до роботи *розробити високоефективну систему очищення конвертерних газів з повним допалюванням. Складові газу %: CO_2 17,08; CO 77,88; H_2O 1,14; N_2 0,35; O_2 3,55.* Об'єм промислових газів, що відходять, від конвертера 40000 нм^3/год, без врахування повного допалювання CO.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Технологія виробництва сталі в кисневому конвертері. Джерела викидів у киснево-конвертерному виробництві. Аналіз методів очищення газів, що відходять від кисневого конвертера. Проєктування основного та допоміжного обладнання технології очистки газів. Вибір та розрахунок газоочисних апаратів. Розрахунок агрегатів живлення. Аналіз впливу геометричних розмірів електрофільтру на швидкість дрейфу часток та ефективність роботи. Аеродинамічний розрахунок газового тракту системи газоочистки киснево-конвертерних газів. Вибір та розрахунок апаратів по утилізації конвертерного пилу. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів в киснево-конвертерному виробництві. Заходи з поліпшення умов праці Виробнича санітарія. Заходи з електробезпеки. Заходи з техногенної пожежної та безпеки.*

Завід. Бєлоконь Ю.О.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
презентаційний матеріал на 10 слайдах (на 10 сторінках)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, завдан прийн
Загальна частина	*Манідіна Є.А., доцент*	
Прокстна частина	*Манідіна Є.А., доцент*	
Охорона праці та техногенна безпека	*Манідіна Є.А., доцент*	

7. Дата видачі завдання 12.05.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Пр
1	*Вступ*	12.05.2025	вик
2	*Загальна частина*	12.05.2025	вик
3	*Прокстна частина*	13.05.2025-02.06	вик
4	*Охорона праці та техногенна безпека*	02.06 - 10.06	вик
5	*Висновки*	10.06.2025	вик
6	*Презентація*	10.06.2025	вик

Студент *Олег АЖАЖА*

Керівник роботи *Євгенія МАНІДІНА*

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер *Андрій ВАГІН*

РЕФЕРАТ

КОНВЕРТЕРНИЙ ЦЕХ, СИСТЕМА ПОВНОГО ДОПАЛЮВАННЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ, ЕЛЕКТРОФІЛЬТР, УТИЛІЗАЦІЯ ПИЛУ, СТРОК ОКУПНОСТІ КАПІТАЛОВКЛАДЕНЬ

Пояснювальна записка до кваліфікаційного проєкту: 68 с., 12 табл., 16 рис., 12 джерел.

Об’єкт дослідження – виробництво сталі в конверторному виробництві.

Предмет дослідження – система газоочищення відхідних газів від кисневий конверторів з повним допалюванням.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити систему очищення відхідних газів від кисневих конвертерів з повним допалюванням, запронувати метод утилізації вловленого пилу.

Запроєктована газоочисна установка забезпечує вловлювання пилу і утилізацію фізичної теплоти відхідних газів. Відповідно до обраної системи газоочищення, газ, виходячи з конвертера по газоходу поступає в камеру для допалювання оксиду вуглецю, потім в котел-утилізатор, далі газ прямує у випарний скрубер, після чого прямує на очищення в сухий електрофільтр.

За результатами розрахунків встановлено, що збільшення активної площі осадження призводить до збільшення сумарного ступеню очищення. Лише при досягненні площі осадження 8478 м^2 виконується вимога до залишку пилу в газі. Подальше збільшення активної площі осадження призведе до здороження капітальних вкладень на очищення. Згідно розрахунку ефективність газоочисної системи склала 99,93 %, при кінцевій запиленості 19 мг/м^3.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 8
1.1Технологія виробництва сталі в кисневому конвертері 8
1.2 Джерела викидів у киснево-конвертерному виробництві 11
2 ПРОЄКТНИЙ РОЗДІЛ 16
2.1 Аналіз методів очищення газів, що відходять від кисневого конвертера 16
2.2 Проєктування основного та допоміжного обладнання технології очистки газів 25
2.2.1 Вибір та розрахунок газоочисних апаратів 25
2.2.2 Розрахунок агрегатів живлення 38
2.2.3 Аналіз впливу геометричних розмірів електрофільтру на швидкість дрейфу часток та ефективність роботи 40
2.2.4 Аеродинамічний розрахунок газового тракту системи газоочистки киснево-конвертерних газів 42
2.3 Вибір та розрахунок апаратів по утилізації конвертерного пилу 49
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 53
3.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів в киснево-конвертерному виробництві 53
3.2 Заходи з поліпшення умов праці 56
3.3 Виробнича санітарія 58
3.4 Заходи з електробезпеки 61
3.5 Заходи з пожежної та техногенної безпеки 63
ВИСНОВКИ 66
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ВИКОРИСТАННЯ 67

ВСТУП

Металургія залишається однією з базових галузей економіки, оскільки метали продовжують бути ключовим конструкційним матеріалом для різноманітних сфер виробництва. Рівень розвитку металургійної промисловості безпосередньо впливає на технічний і промисловий прогрес України.

Гірничо-металургійний комплекс України, попри серйозні виклики останніх років, включаючи повномасштабну війну, залишається важливою складовою економіки. У 2021 році частка металургійної галузі становила близько 20% промислового виробництва країни, а обсяг валютних надходжень від експорту чорних і кольорових металів сягав майже 30% загального експорту. До початку повномасштабного вторгнення у 2022 році Україна стабільно входила до десятки світових виробників сталі. Проте з 2022 року обсяги виплавки сталі суттєво знизились через втрату частини виробничих потужностей і логістичні труднощі. Наприклад, у 2023 році виробництво сталі становило лише близько 6,2 млн тонн, що приблизно в 5 разів менше за довоєнні показники 2021 року (21,4 млн тонн).

Киснево-конвертерний метод виробництва сталі зберігає провідне місце завдяки своїм техніко-економічним перевагам: високій продуктивності, екологічній ефективності, простоті в управлінні, відносно низьким капіталовкладенням, широким можливостям у використанні різної сировини та здатності до виробництва якісної сталі.

Разом із тим, металургійні підприємства залишаються значним джерелом забруднення довкілля. Через застарілі технології та неефективні системи газоочистки в атмосферу потрапляє велика кількість пилу й газоподібних шкідливих речовин. Особливо це відчутно у промислових регіонах, де концентрація викидів суттєво перевищує допустимі норми.

У таких умовах розробка ефективної системи очищення конвертерних газів набуває особливої актуальності. Сучасні підходи мають забезпечити не лише високий ступінь вилучення пилу, але й утилізацію теплової енергії

шляхом її перетворення, наприклад, у пару високого тиску. З урахуванням складного і змінного складу газів під час продувки чавуну, система має адаптуватися до умов роботи – конструкції фурм, температури ванни, складу чавуну й брухту, витрати кисню тощо.

У межах цього кваліфікаційного проєкту передбачається т проектування сучасної газоочисної системи, здатної забезпечити ефективне очищення конвертерних газів, утилізацію їх теплоти та мінімізацію впливу на навколишнє середовище відповідно до вимог сталого розвитку.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв’язати наступні завдання:

- проаналізувати технологію виробництва сталі кисневих конвертерах;
- надати характеристику джерел викидів;
- обґрунтувати вибір системи очищення газів, що відходять від кисневого конвертеру;
- запроєктувати та розрахувати систему газоочищення з використанням їхньої фізичної теплоти;
- проаналізувати шкідливі та небезпечні фактори в киснево-конвертерному виробництві.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1Технологія виробництва сталі в кисневому конвертері

Планування та структура конвертерного цеху залежать від типу кінцевої продукції – чи це будуть злитки, чи безперервно литі заготовки (МБЛЗ). Незалежно від методу розливання сталі, типовий конвертерний цех включає такі основні технологічні й допоміжні підрозділи: міксерне відділення, відділення металошихти, відділення сипких матеріалів з трактом їх подачі в конвертер і сталерозливних ковшів, конвертерне відділення, відділення шлакопереробки, побутові приміщення [1,2].

Чавун надходить із міксерного відділення на робочий майданчик після чого його заливають у конвертер кранами (рис.1.1, рис.1.2).

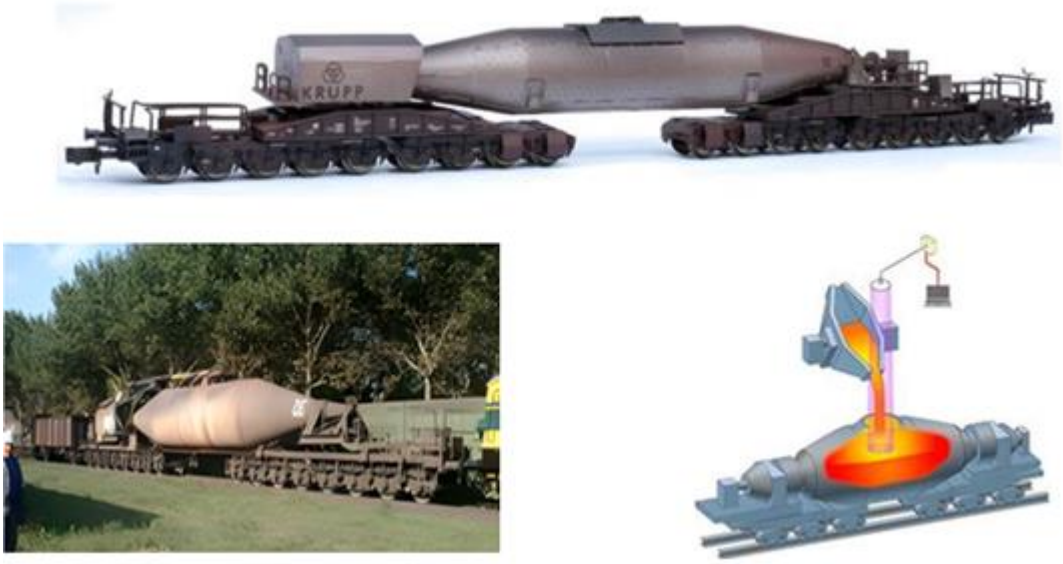


Рисунок 1.1 – Міксерний чавуновіз [3]

У центральному прольоті цеху розташовуються конвертери, системи подачі сипких матеріалів і газовідведення, а також вантажопідйомні крани. Управління роботою конвертерів здійснюється з пультів керування, що знаходяться між колонами шлакового та завантажувального прольотів. Очисні системи газів часто винесені в окремий енергетичний проліт.

Сталерозливні ковші, після заповнення, рухаються до пролітів розливного відділення, звідки кранами подаються до кристалізаторів МБЛЗ.

Заготовки з МБЛЗ транспортуються по рольгангах до прольоту передавання, а далі – до складування й обробки.



Рисунок 1.2 – Заливання рідкого чавуну у кисневий конвертер [3]

Виплавка сталі здійснюється в кисневому конвертері – грушоподібному сталевому резервуарі (рис.1.3), змонтованому на цапфах із можливістю повороту. Він футерований всередині вогнетривкою масою й оснащений горловиною для подачі матеріалів і відведення газів. Залежно від конфігурації, корпуси можуть бути звужені знизу або мати сферичне днище, що полегшує циркуляцію металу.

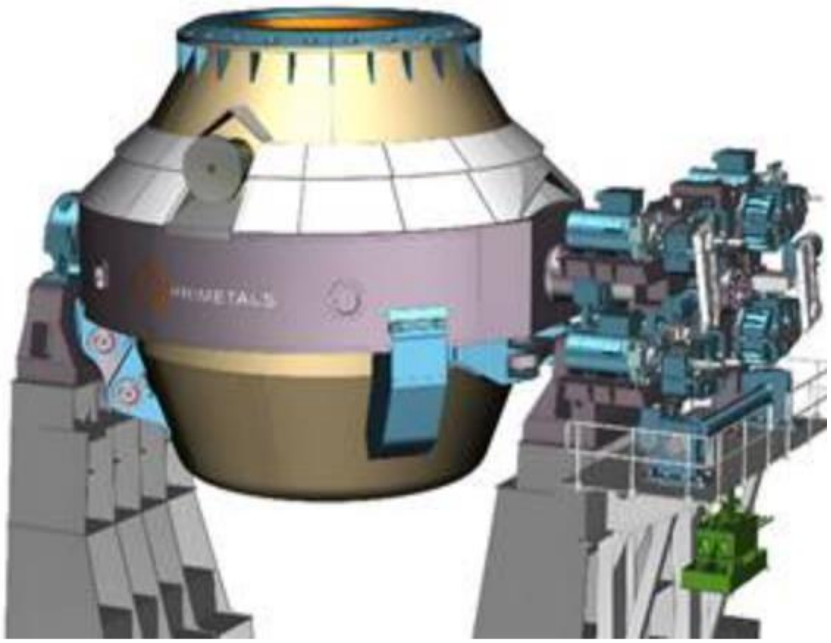


Рисунок 1.3 – Кисневий конвертер

Сучасні кисневі конвертери (LD або BOF) мають ємність від 50 до 400 тонн. Поворот здійснюється механізмом із регульованою швидкістю (0,1–1 м/хв). Системи кріплення кожуха в опорному кільці передбачають термокомпенсаційні зазори до 200 мм, що знижує ризик деформації при нагріванні.

Кисень подається через водоохолоджувальну багатотрубну фурму з мідною головкою. Фурма опускається й підіймається за допомогою механізму, синхронізованого з обертанням конвертера. Тиск кисню становить 1,0–1,6 МПа, а висота фурми змінюється в межах 1,0–4,8 м залежно від розмірів ванни.

Послідовність технологічних операцій:

1. Завантаження металевого брухту у нахилений конвертер.
2. Вапно додається для шлакоутворення (до 60% загальної маси флюсів).
3. Заливання рідкого чавуну температурою 1450 °C.
4. Вертикальне встановлення конвертера й початок продувки киснем.
5. Продувка (12–18 хв) – період інтенсивних хімічних реакцій окиснення.

Основні процеси під час продувки:

- окиснення: зменшення вмісту вуглецю, кремнію, марганцю:

$$[C] + ½\ O_2 = CO, \quad (1)$$

$$[Si] + O_2 = (SiO_2), \quad (2)$$

$$[Mn] + ½\ O_2 = (MnO). \quad (3)$$

- шлакоутворення: створення основного шлаку на базі CaO, SiO_2, MnO, FeO:

$$а)\ Fe + ½\ O_2 = (FeO);\ [C] + (FeO) = CO + Fe; \quad (4)$$

$$б)\ Fe + ½\ O_2 = [O] + Fe;\ [C] + [O] = CO. \quad (5)$$

- дефосфорація й десульфурація:

$$2[P] + 5(FeO) + 3(CaO) = (3CaO \cdot P_2O_5) + 5Fe; \quad (6)$$

$$2[P] + 5(FeO) + 4(CaO) = (4CaO \cdot P_2O_5) + 5Fe. \quad (7)$$

- нагрів металу до 1600–1650 °C;
- розплавлення брухту;
- видалення газів (водень, азот).
- винос пилу: утворення бурого диму через дисперсні оксиди заліза.

Кінцева операція – випуск сталі (рис.1.4), що займає 7–10 хв. При збільшенні тривалості випуску зростає ризик збагачення металу азотом, що погіршує якість.

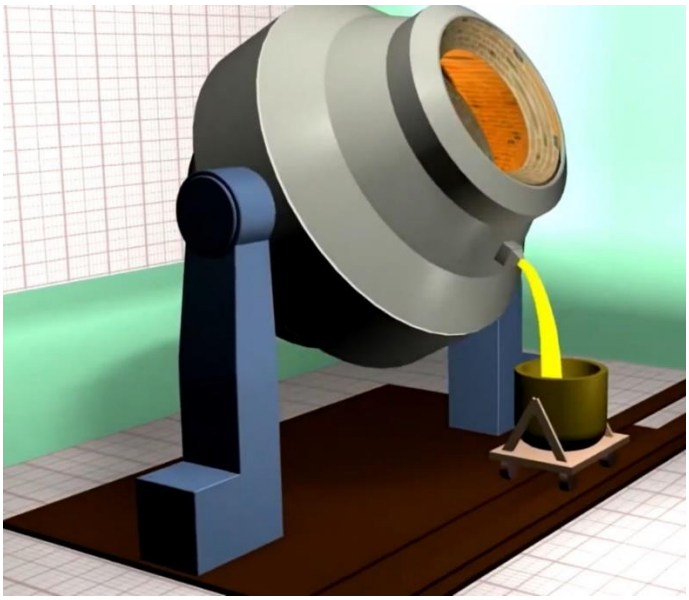


Рисунок 1.4 – Випуск сталі з кисневого конвертера

Удосконалення конвертерних цехів сьогодні орієнтоване не лише на підвищення продуктивності, а й на екологічну безпеку.

У конвертерному відділенні виконуються технологічні операції, пов'язані з виплавкою сталі. Саме в конверторному відділенні спостерігається виділення великої кількості пилу та газів, основним джерелом яких є кисневий конвертер.

1.2 Джерела викидів у киснево-конвертерному виробництві

Пилогазові викиди утворюються практично на всіх стадіях технологічного процесу. Основними джерелами викидів в атмосферне повітря та виробничі приміщення є:

1. Відділення прийому та переливу чавуну;

2. Сам конвертер під час продувки;
3. Лінії безперервного лиття заготовок (МБЛЗ);
4. Системи транспортування та подачі сипучих компонентів і легувальних добавок;
5. Агрегати позапічної обробки сталі;
6. Дільниці ремонту сталерозливних і проміжних ковшів.

Основні забруднюючі речовини: пил, оксиди азоту (NOx), оксиди вуглецю (CO), сірчистий ангідрид (SO_2).

Найбільший об'єм забруднення пов'язаний із утворенням конвертерного газу, який виникає під час продувки металу киснем. Його об'єм залежить від кількості та параметрів поданого кисню, складу чавуну, співвідношення брухту та флюсів, а також висоти розміщення фурми.

Конвертерний газ містить:

- пилоподібні частки заліза та його оксидів;
- мікрочастинки руди, вапна та інших домішок;
- залишки шихтових матеріалів, що підхоплюються потоком гарячого газу.

У дослідженнях процесів пилоутворення в кисневих конвертерах на сьогоднішній день відсутня єдина думка щодо природи виникнення «бурого диму». Одні дослідники вважають, що основним джерелом його утворення є випаровування заліза, інші – як заліза, так і його оксидів, треті – магнетиту (Fe_3O_4), четверті – оксиду заліза (FeO) з подальшою конденсацією. Аналіз складу «бурого диму» свідчить, що частинки пилу, які утворюються під час продувки, мають безперервний спектр розмірів – від міліметрових до субмікронних. При цьому переважають частинки розміром близько 1 мкм, які й надають відхідним газам характерного бурого забарвлення.

Водночас наявність «бурого диму» пов'язують з періодами найбільш інтенсивного пиловиділення у конвертері, що вимагає подальших досліджень механізмів його формування [7].

Наразі найбільш поширеними є декілька гіпотез щодо процесу пилоутворення під час виплавки сталі в кисневому конвертері, зокрема:

- фізичне випаровування металу та його оксидів на поверхні реакційної зони і металевих крапель;

- випаровування крапель металу при їхньому руйнуванні у струмені кисню під впливом утвореного оксиду вуглецю.

Однією з можливих причин виникнення «бурого диму» може бути наявність залізистого пилу, що утворюється внаслідок легколетких сполук заліза з оксидом вуглецю (карбонілів), наприклад $Fe(CO)_5$. Цю гіпотезу підтверджує той факт, що інтенсивне утворення «бурого диму» спостерігається в початковий період плавки при високій концентрації вуглецю (до 2,3% масової частки).

Однак гіпотеза про те, що «бурий дим» з'являється лише тоді, коли у металі міститься велика кількість вуглецю, не підтверджується експериментально. Його утворення фіксується також у заключних етапах плавки, коли вміст вуглецю в сталі вже незначний, але при цьому відбувається інтенсивне вигорання заліза.

Кількісні показники пилових викидів:

- питома кількість пилу при верхньому продуванні становить 13–22 кг/т сталі;
- середня концентрація пилу в газі – 160–350 г/м³;
- під час подачі сипучих матеріалів можливе короткочасне підвищення концентрації до 1500 г/м³.

Інтенсивність пиловиділення змінюється протягом процесу плавки — вона залежить, зокрема, від вмісту вуглецю в металі. Найбільше пилу виділяється в період активного окиснення, коли йде інтенсивне вигоряння вуглецю.

Детальний аналіз фракційного складу пилу, що утворюється в процесі продувки конвертера, представлено в табл. 1.1 [5]. Під час інтенсивного ходу продувки викиди газопилової суміші насичені значною кількістю

дрібнодисперсного залізовмісного пилу. Візуально це проявляється як "бурий дим", який є характерною ознакою стадії активного обезвуглецювання розплаву сталі.

Максимальна інтенсивність цього бурого шлейфу спостерігається в початковій фазі плавлення, коли відбувається активне окиснення кремнію, марганцю та інших домішок, що сприяють утворенню первинного шлаку. Саме в цей період пилові частинки найдрібніші, що підвищує їх здатність до розсіювання в повітрі та утворення густого аерозольного шлейфу.

Таблиця 1.1 – Дисперсний склад пилу в конвертерному газі, %

Розмір частинок пилу, мкм	більше 5	0,3-5	0,1-0,3	≤ 0,1
Завантаження лому	88	4	-	0,6
Верхня продувка	68	55	23	-
Випуск сталі	99	90	-	9

Кількість конвертерних газів, що виходять з горловини конвертера, становить 70 - 90 м^3 на кожну тонну садки [6]. Хімічний склад конвертерних газів:

Перед повним допалюванням CO гази, які відходять від конверторів мають наступний склад:

Складові газу	**%**
CO_2	17,08
CO	77,88
H_2O	1,14
N_2	0,35
O_2	3,55
Всього	100

Такий склад газу визначає високу теплоту його згорання (8,5–9,2 МДж/м^3) [6].

У процесі подачі кисню в конвертер температура газів, що виходять через горловину агрегату, поступово підвищується: на початку продувки вона становить близько 1250-1300 °С, а в середині та ближче до завершення циклу досягає 1600-1700 °С. Такий високотемпературний газовий потік потенційно може бути застосований без попереднього очищення для нагрівання шихтових матеріалів, які використовуються в конвертерній плавці, або як відновник для переробки залізорудної сировини.

Проте для подальшого використання конвертерного газу як паливного ресурсу чи сировини для хімічної промисловості, його необхідно попередньо охолодити до температури 200–300 °С, а також очистити від значної кількості пилу.

Серед основних проблем, які стримують широке використання цього побічного продукту виробництва, слід виділити:

1. Нестабільність об’єму газовиділення — між плавками конвертер не виділяє газ взагалі, тоді як під час активної продувки його вихід різко зростає.

2. Високий рівень запиленості газового потоку, який ускладнює роботу очисних установок і знижує якість ресурсу.

3. Зміни теплотворної здатності газу, оскільки склад газової суміші змінюється залежно від складу шихти, виду металу, кількості вуглецю та особливостей протікання плавки.

2 ПРОЄКТНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз методів очищення газів, що відходять від кисневого конвертера

Газоочисне обладнання в киснево-конвертерному виробництві має виконувати два ключові завдання: ефективне вилучення пилових частинок з відхідних газів та утилізацію теплової енергії – як фізичної, так і хімічної. У рамках магістерської дипломної роботи як об’єкт проектування розглядається газоочисна ділянка конвертерного цеху, де передбачено застосування сучасних технологій очистки й енергозбереження.

На сьогодні системи відведення газів із конвертерів класифікують залежно від ступеня допалювання оксиду вуглецю (CO) у складі газової суміші. Виділяють такі основні схеми роботи газовідвідного тракту [6,7]:

- системи з повним допалюванням CO у котлах-охолоджувачах (ОКГ);
- системи без допалювання – відведення сирого конвертерного газу без змішування з повітрям;
- системи з частковим допалюванням, де втрачається частина енергетичного потенціалу CO.

Режим роботи газовідвідного тракту забезпечується контролем тиску в проміжку між горловиною конвертера та котлом-утилізатором.

- При розрідженні в зазорі відбувається всмоктування зовнішнього повітря, необхідного для повного згоряння оксиду вуглецю. У такому випадку утворюються вторинні гази з низькою калорійністю, але меншою вибухонебезпечністю.
- Якщо тиск у цьому місці відповідає атмосферному рівню, повітря не надходить, і CO не згорає, утворюючи технічно цінний, але токсичний конвертерний газ, який потребує подальшого очищення й зберігання.
- За умов невеликого розрідження (наприклад, $\alpha = 0{,}11$) спостерігається часткове згоряння CO, що забезпечує компроміс між безпекою та утилізацією енергії, але створює додаткові вимоги до фільтраційної системи.

У залежності від режиму допалювання газ може надходити в очисні установки як у вигляді продуктів повного згоряння, так і як необроблений або частково оброблений газовий потік.

Сучасне конвертерне виробництво використовує котли-утилізатори й випарні скрубери (порожнисті), що знижують температуру газів до приблизно 200 °С, одночасно генеруючи водяну пару для потреб підприємства [8].

Для глибокої очистки газів, що утворюються в процесі продувки металу, застосовують два основні підходи:

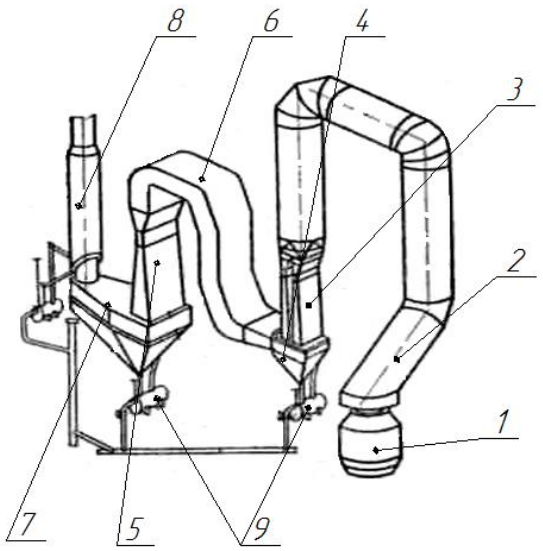
- «Мокре» очищення – із використанням скруберів Вентурі, вологих електрофільтрів, що забезпечують зменшення концентрації пилу через водне осадження;
- «Сухе» очищення – з використанням тканинних фільтрів, сухих електрофільтрів, що дозволяє уникнути утворення вологих відходів.

У випадку роботи систем із допалюванням оксиду вуглецю використовуються високошвидкісні пиловловлювачі, оснащені трубами Вентурі – круглого або прямокутного перерізу. Основні фракції пилу, а також краплі шламу, осідають у спеціальних бункерах, з яких матеріал направляється на подальшу утилізацію або захоронення. Додатково, укрупнені пилові частинки захоплюються у відцентрових скруберах (рис. 2.1), що забезпечує значне зменшення твердих викидів у довкілля.

Очищення газів з конвертерів без допалювання оксиду вуглецю здійснюється в умовах повної герметичності газового тракту, тобто без надходження повітря. У такій системі на газоочисні установки надходить лише сам конвертерний газ, а не продукти його згоряння.

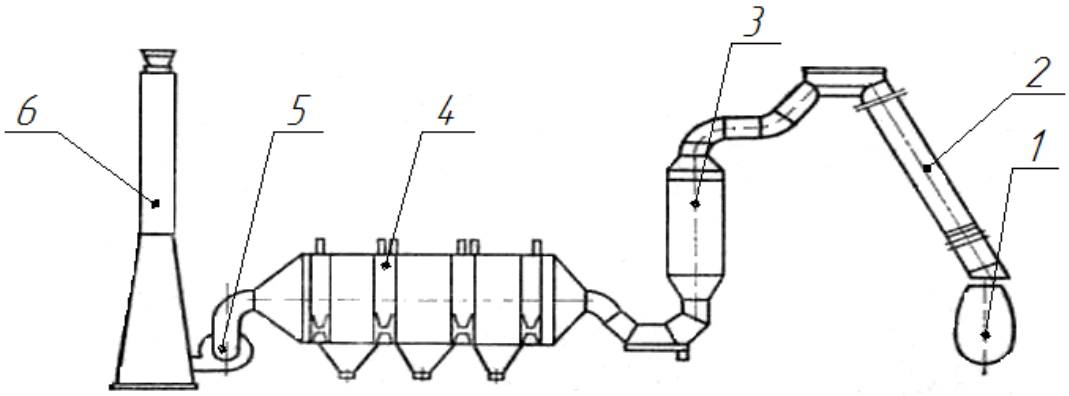
Для досягнення допустимого рівня запиленості у вихідному потоці (не більше 50 мг/м³) при всіх режимах функціонування агрегату, забезпечується стабільна робота скрубера Вентурі з гідравлічним опором на рівні 14 кПа.

Застосування сухого способу фільтрації конвертерного газу за допомогою електрофільтрів (рис. 2.1) можливе лише за умови попереднього зволоження газів перед їх подачею на установку для очищення.



1 – конвертер; 2 – газовідвідний тракт; 3 – низьконапірна труба Вентурі; 4 – бункер-краплевловлювач; 5 – високонапірна труба Вентурі; 6 – газохід; 7 – інерційний пиле- і бризковловлювач; 8 – відцентровий пиловловлювач; 9 – гідрозасув.

Рисунок 2.1 – Схема газоочистки з допалюванням СО та охолодженням газів у прямокутних трубах Вентурі



1 – конвертер; 2 – котел-утилізатор; 3 – порожнистий випарний скрубер; 4– сухий пластинчастий електрофільтр; 5 – димосос; 6 – димова труба

Рисунок 2.2 – Очищення газів в електрофільтрах

У сучасних установках для очищення газів використовують кілька типів електрофільтрів: пластинчасті, горизонтальні з осаджувальними електродами S-подібної форми й штиковими коронуючими електродами. Також застосовуються варіанти з коронуючими електродами у вигляді стрічкових голчастих елементів.

Сухі електростатичні фільтри забезпечують стабільну роботу за умови дотримання певного температурно-вологісного режиму газів, що надходять. Для цього перед ними встановлюють стабілізаційну вежу заввишки до 20 м і діаметром 4–5 м, обладнану системою форсунок для дрібнодисперсного розпилення води. Автоматичне регулювання подачі води здійснюється на основі температури газу після фільтра, яка повинна залишатися в межах 140–160 °С.

Пил, що осідає на електродах, видаляється за допомогою імпульсної дії магнітного поля. Окрім того, на підвісній конструкції фільтра змонтовані молоточки, які механічно збивають пил із поверхонь. Очищення коронуючих електродів відбувається шляхом дії електромагнітного вібратора. Ефективність роботи фільтра значною мірою залежить від чіткої та безперебійної дії системи очищення — зокрема молоточків і вібраційного обладнання.

Через такі фільтри допускається пропускання продуктів згоряння з концентрацією оксиду вуглецю не вище 5–6%.

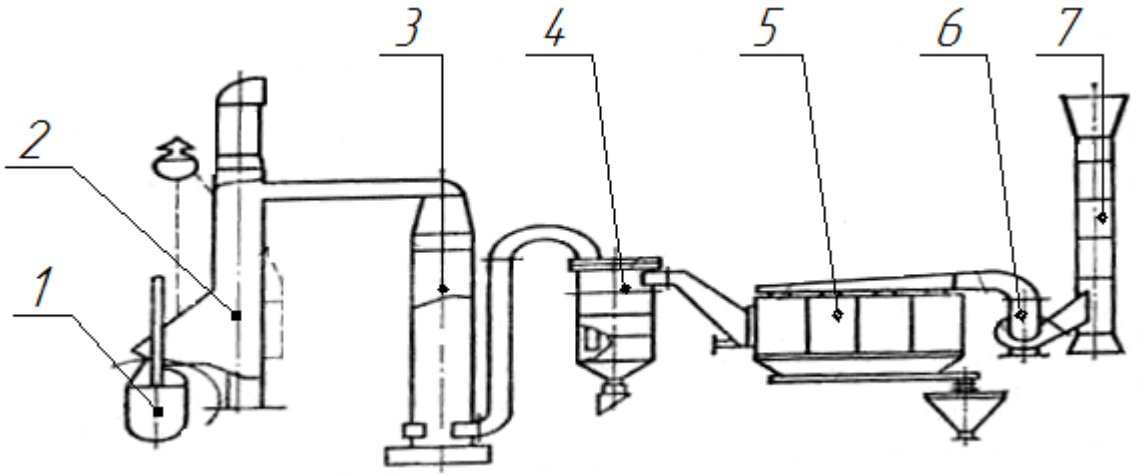
Очищення осаджувальних електродів від пилу здійснюється безперервно, тоді як вивантаження пилу з фільтра в збірний бункер відбувається періодично, між циклами продувки. Матеріал транспортується шнековими подавачами, які оснащені системами зволоження.

У практиці також застосовуються мокрі електрофільтри, які зазвичай монтують після котлів-утилізаторів і скруберів. Через них проходять продукти згоряння конвертерного газу. Після охолодження в котлі з примусовою циркуляцією до температури близько 1100 °С гази потрапляють у два паралельно встановлені скрубери (з невеликим нахилом), а далі, вже охолоджені до 77 °С, — у вертикальний трубчастий електрофільтр.

Конструкція фільтра включає приблизно 1000 труб, які виконують функцію осаджувальних електродів. Усередині кожної з них розташований коронуючий електрод. Робоча напруга системи становить 40 кВ.

Фільтрація в тканинних фільтрах вимагає уважного підбору фільтрувального матеріалу. Через хімічну неоднорідність конвертерного пилу на поверхні тканини утворюється щільний шар, крізь який проходить лише очищене газове середовище. Такий шар додатково сприяє злипанню (коагуляції) дрібнодисперсних частинок.

На рисунку 2.3 наведено схему фільтрації конвертерного газу через тканинні фільтри.



1– кисневий конвертер; 2 – водоохолоджуваний камін; 3 – акумулятор; 4 – випарний скрубер; 5 – рукавний фільтр; 6 – димосос; 7 – димова труба.

Рисунок 2.3 – Схема очищення димових конвертерних газів в тканинних фільтрах

Для стабілізації температури газів перед надходженням у фільтр їх попередньо охолоджують у випарному скрубері або регулюють шляхом змішування з додатковим повітрям через термостатичні системи. Після проходження фільтра концентрація пилу у газі знижується до 20 мг/м³.

Очищення тканинних фільтрів здійснюється за допомогою вібраційного струшування. У системах, де конвертерний газ повністю спалюється, процес автоматичного очищення та перемикання секцій може запускатися в будь-який момент продувки.

Усі сучасні методи очищення демонструють подібний рівень ефективності – вони здатні знижувати вміст пилу у вихідному газі до 50 мг/м³, що відповідає санітарним нормам. Це забезпечує ступінь очистки на рівні 98–99 %.

Проте в процесі застосування мокрих систем очищення, зокрема скруберів Вентурі, виявляються певні недоліки:

- високе енергоспоживання – гідравлічний опір скрубера становить близько 7 кПа;
- значні розміри та складність системи поводження з утвореним шламом;
- ускладнені умови для роботи вентиляційного обладнання — вологий газ сприяє налипанню пилу на лопатки вентиляторів, що призводить до їх швидкого зношення й можливих поломок;
- підвищений ризик корозії металевих елементів газовідвідного тракту через наявність вологи.

Серед недоліків тканинних фільтрів варто зазначити високе споживання електроенергії – приблизно 30 кВт·год на кожну тонну рідкої сталі. Крім того, для ефективної фільтрації необхідно ретельно підбирати тип фільтрувального матеріалу. Конвертерний пил, що має складну та неоднорідну хімічну структуру, утворює на поверхні тканини ущільнений шар, через який проходить лише очищений газ. Цей шар виконує функцію додаткового фільтра, що сприяє осадженню дрібних часток. Якщо такий шар не формується, то частки пилу можуть проникати крізь тканину, адже розмір її пор значно перевищує розмір пилових частинок у газі – в 50–100 разів.

З огляду на високу енерговитратність мокрих методів очищення та складність утилізації утвореного шламу, доцільним є впровадження ефективних сухих технологій, зокрема застосування горизонтальних електростатичних фільтрів. Вони забезпечують якісне очищення газів і мають спрощену систему обслуговування. У межах даного дипломного проєкту

обрано сухий метод очищення газоподібних викидів за допомогою електрофільтра типу ЕГА.

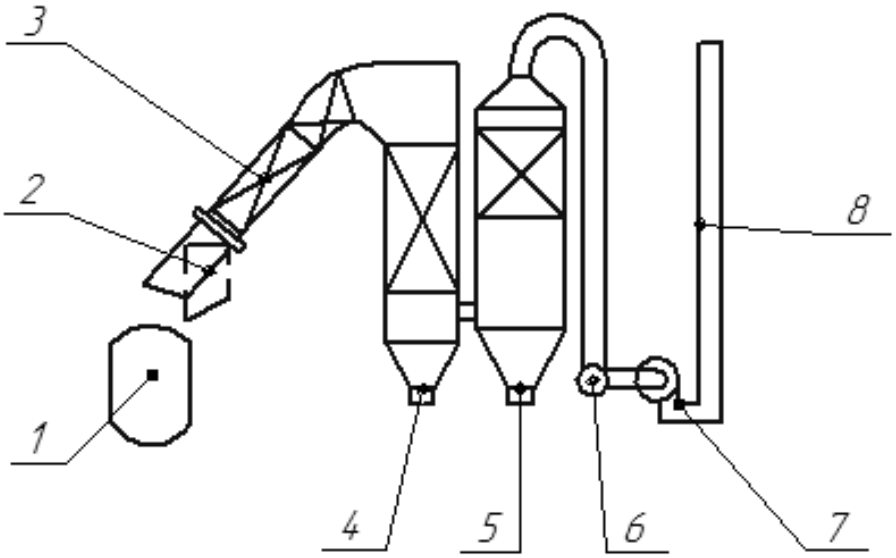
Переваги використання електрофільтрів у сухій газоочистці полягають у наступному:

1. Експлуатаційні витрати на електроенергію, а також трудові ресурси, у кілька разів нижчі порівняно зі скруберами Вентурі;
2. Відсутня потреба у водно-шламовому господарстві, що спрощує інфраструктуру;
3. У процесі очищення не утворюються краплі рідини, які осідають на трубопроводах, тому зменшується ризик їх корозії й забруднення, а термін служби газоходів зростає;
4. Електрофільтри мають низький аеродинамічний опір, що покращує загальну енергоефективність системи.

Таким чином, суха очистка газів, що відходять від конвертерних агрегатів, виявляється економічно вигіднішою в порівнянні з альтернативними методами.

Крім того, при виборі технологічної схеми газоочищення були враховані сучасні тенденції розвитку сталеплавильного виробництва. Зокрема, це стосується інтенсифікації кисневого дуття та збільшення одиничної потужності агрегатів, що спричиняє зростання об’єму газів, які підлягають очищенню. У зв’язку з цим перспективними є системи, які передбачають допалювання оксиду вуглецю з подальшою очисткою газів у електрофільтрах як основному очисному обладнанні.

Відповідно до обраної схеми (рис. 2.4), газовий потік, що виходить з конвертера, спрямовується газоходом до камери допалювання CO. Після цього він надходить у котел-утилізатор, де охолоджується до температури близько 850 °C. Потім газ потрапляє у випарний скрубер, де його температура знижується до приблизно 200 °C. Завершальний етап — подача охолодженого й очищеного газу до електрофільтра сухого типу (рис. 2.5) для остаточного видалення пилових часток.



1 – кисневий конвертер; 2 – кесон; 3 – котел-утилізатор ОКГ; 4 – випарний порожнистий скрубер; 5 – електрофільтр; 6 – димосос; 7 – димовий боров; 8 – димова труба

Рисунок 2.4 – Схема очищення газів із застосуванням електрофільтру



Рисунок 2.5 – Електрофільтр типу ЕГУ

У даному проєкті обрано електрофільтр типу ЕГА, який застосовується для очищення технологічних газів і аспіраційного повітря, що не мають агресивних домішок, за температур до 330 °С. Такі фільтри широко використовуються в чорній, кольоровій металургії та інших промислових галузях. Електрофільтр має прямокутну форму та є односекційним пристроєм, який включає чотири

послідовно розташовані зони очищення, що розміщені вздовж напрямку руху газового потоку. Металевий корпус обладнаний зовнішнім теплоізоляційним покриттям.

Робоча частина фільтра складається з осаджувальних електродів у вигляді плоских пластин спеціального профілю та коронуючих електродів — каркасів із натягнутими стрічково-голчастими елементами. Відстань між осаджувальними електродами становить 300 мм — це також ширина одного газового каналу.

Осаджувальні електроди заземлюються та підключаються до позитивного виходу випрямляча, а коронуючі — ізольовані від землі та приєднані до негативного полюса джерела живлення. В електрофільтрі створюється електричне поле високої напруги, сила якого регулюється зміною поданої напруги. Живлення подається через шинне введення від агрегатів, розташованих на даху фільтра. При досягненні певної напруги утворюється коронний розряд, що викликає рух заряджених частинок пилу до осаджувальних електродів, де вони осідають.

Коли запилені гази проходять через електрофільтр, частинки пилу отримують електричний заряд і під дією поля осідають на електродах, а очищений газ виходить далі. Після цього очищене повітря прямує до димової труби, через яку викидається в атмосферу за допомогою димотягів.

Пил, що осідає на електродах, періодично видаляється механічним струшуванням ударами молотків. Осипані частинки потрапляють у бункер у нижній частині фільтра, обладнаний вібраторами, звідки пил транспортується шнековим механізмом.

Газоподібні продукти, що утворюються під час конвертерного процесу, мають температуру від 1300 до 1700 °C і до 90 % вмісту оксиду вуглецю (CO), що дає можливість використовувати їх як джерело енергії для генерації пари. Використання систем із допалюванням CO дозволяє підвищити температуру газів, які надходять до котлів-утилізаторів, а також запобігає утворенню вибухонебезпечних концентрацій. Після проходження через котел температура знижується до приблизно 600 °C, але вона все ще завелика для ефективної роботи

електрофільтра. Тому перед очищенням газ охолоджують у випарних скруберах до близько 200 °С.

Сухе очищення газів електрофільтрами є ефективнішим у таких умовах, оскільки дає змогу працювати в ширшому температурному діапазоні. При цьому зібраний пил переважно складається з оксидів заліза, тому його доцільно повертати в виробничий цикл для подальшого використання.

2.2 Проєктування основного та допоміжного обладнання технології очистки газів

2.2.1 Вибір та розрахунок газоочисних апаратів

Згідно проведеному теоретичному аналізу, перед повним допалюванням СО гази, які відходять від конверторів мають наступний склад:

Складові газу	**%**
CO_2	17,08
CO	77,88
H_2O	1,14
N_2	0,35
O_2	3,55
Всього	100

Відповідно до завдання до бакалаврського проекту об'єм промислових газів, що відходять, від конвертера складе 40000 нм^3/год, без врахування повного допалювання СО.

Температура газів, що відходять, становить 1100 °С.

Дисперсний склад пилу, прийнятий для розрахунку наведений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Дисперсний склад пилу

Розмір часток, мкм	<3	3-60	60-250	>250
Вміст ,%	65	7	9	19

Відповідно до даних з табл. 3.1 медіанний діаметр становить dm=0,35 мкм [6-8];

Запиленість попереду електрофільтра 28 г/м^3 [6-8];

Розрідження газів: 230 Па;

Барометричний тиск: 101,3 кПа.

1. Розрахунок повного допалювання CO, що міститься в конвертерних газах

При роботі з допалюванням CO між верхом горловини конвертера і нижньою кромкою каміна, що накриває конвертер, засмоктується деяка кількість повітря, яка витрачається на допалювання CO до CO_2. Частина цього повітря потрапляє в порожнину конвертера і збільшує вміст в ній азоту.

Теоретично необхідна кількість повітря для горіння, м^3/м^3:

$$L_o = \frac{0{,}5CO + 0{,}5H_2 - O_2}{21}, \qquad (2.1)$$

де CO, H_2 і O_2 – склад хімічних компонентів в газовій суміші,%.

$$L_o = \frac{0{,}5 \cdot 77{,}88 - 3{,}55}{21} = 1{,}69 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Дійсна кількість повітря, м^3/м^3:

$$L_д = L_o \cdot \alpha, \qquad (2.2)$$

де α – коефіцієнт підсосу повітря, приймаємо 1,5, оскільки при даному коефіцієнті повністю згоратимуть горючі компоненти.

Lд=1,69·1,5=2,54 м^3/м^3

Об'єм димових газів, м^3/м^3

$$V_{CO_2} = 0{,}01 \cdot (CO + CO_2), \quad (2.3)$$

$$V_{CO_2} = 0{,}01 \cdot (77{,}88 + 17{,}08) = 0{,}95$$

$$V_{N_2} = 0{,}01(N_2 + 79L_Д), \quad (2.4)$$

$$V_{N_2} = 0{,}01(0{,}35 + 79 \cdot 2{,}54) = 2{,}01$$

$$V_{O_2} = 0{,}21(\alpha - 1)L_0, \quad (2.5)$$

$$V_{O_2} = 0{,}21(1{,}5 - 1) \cdot 1{,}69 = 0{,}18$$

$$V_Д = \sum_{i=1}^{n} V_i; \quad (2.6)$$

$$V_Д = \sum_{i=1}^{n} 0{,}95 + 2{,}01 + 0{,}18 = 3{,}14.$$

Склад газів після повного допалювання CO, %:

$$\%R_iO_j = \frac{V_{R_iO_j}}{V_Д} \cdot 100 \quad (2.7)$$

CO_2=30,25

N_2=64,01

O_2=5,74

Густина газової суміші за нормальних умов, кг/м^3:

$$\rho_o = \frac{0{,}01}{22{,}4} \sum R_iO_j \cdot M_{R_iO_j}, \quad (2.8)$$

де М – молекулярна маса компонента газової суміші, кг/моль.

$$\rho_o = \frac{0,01}{22,4} \cdot (64,01 \cdot 28 + 5,74 \cdot 32 + 30,25 \cdot 44) = 1,48 \text{ кг/м}^3$$

Густина газів за робочих умов, кг/м^3:

$$\rho_г = \rho_0 \cdot \frac{273(B \pm P_г)}{(273 + t_г) \cdot 101,3}, \quad (2.9)$$

де ρ_0 – густина газів за нормальних умов, кг/м^3;

$Р_{бар}$ – нормальний атмосферний тиск, Па;

Рг – розрідження газу, кПа;

Тг – температура газів, °С;

$$\rho_г = 1,48 \cdot \frac{273 \cdot (101,3 - 0,23)}{(273 + 1100) \cdot 101.3} = 0,293 \quad кг / м^3$$

Витрата газів за нормальних умов після допалювання:

$$V_0 = V_0 \cdot V_Д, \quad (2.10)$$

де V_0 – витрата газів за нормальних умов, нм^3/год.

$$V_0 = 40000 \cdot 3,14 = 125600 \quad нм^3 / год$$

Таким чином, склад газів після допалювання СО:

CO_2=30,25 %

N_2=64,01 %

O_2=5,74 %

Витрата газів після допалювання СО за нормальних умов становить 125600 нм^3/год.

2. Вибір котла-утилізатора

Ефективне зниження температури конвертерних газів досягається шляхом їх охолодження у котлах-утилізаторах, що дозволяє одночасно використовувати теплоту відхідних газів для енергетичних потреб.

Охолоджувачі газу типу ОКГ працюють в умовах значних навантажень через нерівномірність надходження газів із конвертера, їх високу температуру та велику кількість твердих часток. Враховуючи ці фактори, найбільш оптимальними є теплообмінні апарати з примусовою циркуляцією теплоносія, яку забезпечують спеціальні насоси. Така система стабільно працює незалежно від змін режиму роботи охолоджувача.

Вибір котла-охолоджувача здійснюється з урахуванням параметрів газового потоку – температури та об'єму. При витраті конвертерного газу 125 600 нм³/год і температурі 1100 °С доцільним є застосування котла-утилізатора моделі ОКГ-250-2, який має такі технічні характеристики [9]:

- витрата конвертерних газів через ОКГ – 200000 нм^3/год;

- температура газів перед ОКГ - 1600 °С ;

- температура газів за котлом - 780 °С;

- температура води 104 °С;

- гідравлічний опір 300 Па;

- паропродуктивність – 250 т/год.

3 Розрахунок порожнистого (випарного) скрубера

Тиск води перед форсунками $P_ж$=0,4 МПа;

Початкова температура води $t_п$=20 °С;

Втрата тиску в скрубері (АКРП) 900 Па [8].

Визначимо густину газів за робочих умов (перед випарним скрубером):

$$\rho_t = 1{,}48 \cdot \frac{273(101{,}3 - 0{,}23 - 0{,}3)}{101{,}3(273 + 780)} = 0{,}382,\ \text{кг/м}^3$$

Витрата газу за робочих умов:

$$Q = \frac{125600 \cdot 1{,}48}{0{,}382 \cdot 3600} = 135{,}171\ \text{м}^3/\text{с}.$$

Визначаємо ентальпію газу на вході в скрубер (t_1= 780 °С) [13]:

$$i_1 = 0{,}01 \cdot \sum_1^n i_i \cdot a_i = 0{,}01 \cdot (30{,}29 \cdot 1519{,}5 + 64{,}18 \cdot 981{,}5 + 5{,}53 \cdot 1042{,}08) = 1147{,}8 \quad кДж / м^3$$

Приймаємо, що на виході із скрубера газ має температуру tг=200 °С. Ентальпія газу при цій температурі складе:

$$i_2 = 0{,}01 \cdot \sum_1^n i_i \cdot a_i = 0{,}01 \cdot (30{,}29 \cdot 357{,}5 + 64{,}18 \cdot 260{,}0 + 5{,}53 \cdot 267{,}1) = 289{,}9 \ кДж / м^3$$

Кількість теплоти, що передається у скрубері від газу до води:

$$Q = V_0 (i_1 - i_2) = \frac{125600}{3600} \cdot (1147{,}8 - 289{,}9) = 29931{,}18 \text{ кВт}$$

Приймаємо коефіцієнт випару в скрубері рівним 1, кінцева температура води $t_К$=100 °С, тобто повний випар.

Середня температура газу в скрубері,°С:

$$t_{CP} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{780 + 200}{2} = 490 \ .$$

Ентальпія насиченої пари при середній температурі газу в скрубері $i_П$=3420 кДж/кг.

Ентальпія води при початковій температурі $t_Н$=20 °С, $i_Н$=83,9 кДж/кг; при кінцевій температурі $t_К$=100 °С, $i_К$=419,1 кДж/кг.

Витрата води в скрубері:

$$M_B = \frac{Q_m}{\varphi(i_п - i_н) + (1 - \varphi)(i_к - i_н)} = \frac{29931{,}18}{(3420 - 83{,}9)} = 8{,}97 \text{ кг/с.}$$

Питома витрата води на зрошування:

$$m = \frac{M_B}{Q} = \frac{8{,}97}{135{,}171} = 0{,}066 \text{ кг/м}^3$$

Вологість газу на виході із скрубера при нормальних умовах:

$$f_{O2} = f_{O1} + \frac{\varphi M_B}{Q_0} = \frac{8{,}97 \cdot 10^3 \cdot 3600}{125600} = 257{,}1 \text{ г/м}^3.$$

де f_{01} – вологість газу на вході в скрубер, г/ м^3.

Витрата газу на виході із скрубера за робочих умов:

$$Q = Q_0\left(1+\frac{f_0}{0.804}\right)\frac{101{,}3T_г}{273P_г} = \frac{125600}{3600}\left(1+\frac{0{,}2571}{0{,}804}\right)\frac{101.3\cdot 473}{273\cdot(101{,}3-0{,}23-0{,}3-0{,}25)} = 80.40$$

м^3/с.

$$\rho = \frac{\rho_0+f_0}{1+\frac{f_0}{0.804}}\cdot\frac{273P}{101.3T} = \frac{1.48+0{,}2571}{1+\frac{0{,}2571}{0.804}}\cdot\frac{272\cdot(101{,}3-0{,}23-0{,}3-0{,}9)}{101.3\cdot 473} = 0{,}746 \text{ кг/м}^3$$

Середня різниця температур між газом і водою в скрубері:

$$\Delta t = \frac{(t_1-t_к)-(t_2-t_H)}{\ln\frac{t_1-t_K}{t_2-t_H}} = \frac{(780-200)-(200-20)}{\ln\frac{780-100}{200-20}} = 300{,}95\,^\circ\text{C}.$$

Об'єм скрубера, м^3:

$$V_{ск} = \frac{1000Q}{K_0\Delta t} = \frac{1000\cdot 29931{,}18}{215{,}03\cdot 300{,}95} = 462{,}52$$

де K_0 – об'ємний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м$^3\cdot$°С):

$$K_0 = (17{,}4+115mU_г)\cdot\rho\cdot U_г = (17{,}4+115\cdot 0{,}07\cdot 5)\cdot 0{,}746\cdot 5 = 215{,}03$$

де Uг – швидкість газу на виході із скрубера, приймаємо Uг=5 м/с.

Діаметр скрубера:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi U_г}} = \sqrt{\frac{4\cdot 135{,}171}{3{,}14\cdot 5}} = 5.86\,\text{м}.$$

Обираємо скрубер АКРП діаметром 5,5 м. Гідравлічний опір скрубера 900 Па [8].

Проводимо перерахунок швидкості газу в скрубері для стандартного діаметру:

$$U_г = \frac{4Q}{\pi\cdot d^2} = \frac{4\cdot 135.171}{3.14\cdot 5.5^2} = 5.69 \quad \text{м/с}$$

Проводимо перерахунок складу газу на виході зі скрубера

Згідно закону Авогадро 1 моль речовини в газоподібному стані займає об'єм 22,4 л, тобто 18 г води в пароподібному стані займає 22,4 л. При питомій витраті води у випарному скрубері 70 г на 1 м^3 газу додатковий об'єм випарної вологи складе:

18 г – 22,4 л

70 г– х л

Звідси х = 87,11 л води

1087,11 л – 100 %

87,11 л – %

Тоді газовий склад після випарного скрубера буде наступний:

CO_2=28,02 %

N_2=62,42 %

O_2=5,59 %

H_2O = 9,56 %

4 Розрахунок електрофільтру типу ЕГА

Проведемо перерахунок густини суміші газів за нормальних умов перед електрофільтром:

$\rho_{ог} = 0,01(28,02 \cdot 1,976+62,42 \cdot 1,251+5,59 \cdot 1,429+9,56 \cdot 0,804)= 1,187$ кг/м^3

Густина газової суміші за робочих умов, кг/м^3:

$\rho t = 1,187 \cdot (273 / (273 + 200)) \cdot ((101,3 – 0,23-0,3-0,9) / 101,3) = 0,675$ кг/м^3

Динамічний коефіцієнт в'язкості газу для кожного компонента газової суміші визначається, Па·с:

$$\mu = \mu o \cdot (273 + C') / (T + C') \cdot (T / 273)^{1,5}, \qquad (2.11)$$

де μо - динамічний коефіцієнт в'язкості газу, Па·с, приймаємо по додатку [9]: (μо CO_2 = 13,7·10^{-6} , μo_2 = 20,3·10^{-6} Па·с, μo_{H2O} = 10,0·10^{-6} Па·с, μo_{N2} = 17·10^{-6} Па·с;

C′ - постійна Сезерленда, C′(CO_2)= 254, C′(CO)=100, C′(O_2)=131, C′$_{H2O}$ =961, C′$_{N2}$ =114;

Т –температура газу, °С

$\mu CO_2 = 13,7\cdot10^{-6}(273 + 254/ 473 + 254) \cdot (473 / 273)^{1,5}$ =22,65 ·10^{-6}Па·с

$\mu O_2 = 20,3\cdot10^{-6}(273 + 131/ 473 + 131) \cdot (473 / 273)^{1,5} = 30,97\cdot10^{-6}$Па·с

$\mu H_2O = 10,0\cdot10^{-6}(273 + 961/ 473 + 961) \cdot (473 / 273)^{1,5} = 19,63\cdot10^{-6}$Па·с

$\mu N_2 = 17\cdot10^{-6}(273 + 144/ 473 + 144) \cdot (473 / 273)^{1,5}$ =26,20 ·10^{-6}Па·с

Молярна маса газової суміші:

$$M = 0,01\sum_{i=1}^{n} a_i \cdot M_i \,, \qquad (2.12)$$

де a_i - об'ємний вміст кожного компонента газової суміші %;

Мі – молярна маса кожного компонента, кг/моль.

$M = 0,01(28.02\cdot44 + 62,42\cdot28 + 5,59\cdot32 + 9,56\cdot18) = 33,316$, кг/моль

Динамічна в'язкість газової суміші:

$$\mu = 0,01\sum_{i=1}^{n} a_i \cdot \mu_i \,, \qquad (2.13)$$

Динамічна в'язкість газу за робочих умов:

$\mu = \frac{M}{\mu_г} = 24,86\cdot10^{-6}$, Па·с

Витрата газу за робочих умов:

$$Q_p = Q_0 \frac{\rho_0}{\rho_г} \qquad (2.14)$$

де Q_p – витрата газу за робочих умов, м^3/год;

Q_o –витрата газу за нормальних умов, м^3/год;

$$Q_p = 125600\frac{1{,}187}{0{,}675} = 220869{,}9 \quad \text{м}^3/\text{гго}$$

Для забезпечення ефективної роботи електрофільтру приймаємо швидкість газу Wг=1,0 м/с. Дана швидкість реалізується при поперечному перетині фільтру, який дорівнює:

$$F' = \frac{Qp}{W_г} = \frac{220869.9}{1 \cdot 3600} = 61{,}35 \text{ м}^2$$

Виходячи з отриманих характеристик, обираємо електрофільтр типу ЕГА1-30-9-6-4. Даний тип фільтрів призначений для очищення газів від пилу неагресивних невибухонебезпечних газів температурою не більше 330 °С.

Технічна характеристика ЕГА1-30-9-6-4:

Продуктивність по газу, що очищається (при умовній швидкості 1 м/с) 264240 м^3/год,;

Площа активного перетину електрофільтру, F=73,4 м^2;

Площа поверхні осадження 8478 м^2;

Гідравлічний опір 0,5 кПа.

Допустима запиленість перед фільтром – 90 г/м^3

Тоді фактична швидкість газів в електрофільтрі:

$$W_ф = \frac{Q}{F}, \qquad (2.15)$$

де F – площа активного перетину електрофільтру, м^2.

$$W_ф = \frac{80.40}{73.4} = 1.095 \ \frac{м}{с},$$

Відношення густини газів за робочих умов до густини газів за стандартних умов (Тст=20 °С, Рст=101,3 кПа):

$$\beta = \frac{\left(P_{бар} - P_{г}\right) \cdot T_{ст}}{P_{ст} \cdot \left(273 + T_{г}\right)}, \tag{2.16}$$

$$\beta = \frac{\left(101{,}3 - 0{,}23 - 0{,}3 - 0{,}9\right) \cdot 293}{101{,}3 \cdot \left(273 + 200\right)} = 0{,}61$$

Критична напруженість електричного поля:

$$E_{кр} = 3{,}04 \cdot \left(\beta + 0{,}0311 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{R_1}}\right) \cdot 10^6, \tag{2.17}$$

де R_1 – еквівалентний радіус електроду, що коронує, приймаємо рівним R_1=0,001 м.

$$E_{кр} = 3{,}04 \cdot \left(0{,}61 + 0{,}0311 \cdot \sqrt{\frac{0{,}61}{0{,}001}}\right) \cdot 10^6 = 4{,}19 \cdot 10^6 \ \frac{В}{м},$$

Критична напруга корони для електрофільтру:

$$U_{кр} = E_{кр} \cdot R_1 \cdot \left(\frac{\pi \cdot H}{S} - 2{,}3 \cdot lg \frac{2 \cdot \pi \cdot R_1}{S}\right), \tag{2.18}$$

де Н – відстань між площинами коронуючих і осаджуючих електродів, Н=0,3/2 м;

S – крок коронуючих електродів, S =0,18 м.

$$U_{кр} = 4{,}19 \cdot 10^6 \cdot 0{,}001 \cdot \left(\frac{3{,}14 \cdot 0{,}3}{2 \cdot 0{,}18} - 2{,}3 \cdot \lg \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 0.001}{0.18}\right) = 25{,}01 \cdot 10^3 \, В,$$

Рухливість іонів газової суміші за нормальних умов:

$$k_0 = 0{,}01 \cdot k_{0i} \cdot a_i = 0{,}01 \cdot \left(28{,}3 \cdot 0{,}96 \cdot 10^{-4} + 4{,}6 \cdot 1{,}84 \cdot 10^{-4} + 7{,}4 \cdot 0{,}57 \cdot 10^{-4} + 59{,}7 \cdot 1{,}84 \cdot 10^{-4}\right) =$$

$$= 1{,}0 \cdot 10^{-4} \ \frac{м^2}{В \cdot с},$$

де k_{0i} – рухливість газових молекул за нормальних умов, м^2/(В·с):

$k_{0\,CO2}$=0,96·10^{-4}; $k_{0\,O2}$=1,84·10^{-4}; $k_{0\,H2O}$=0,57·10^{-4}; $k_{0\,N2}$=1,84·10^{-4};

аі – об'ємний вміст компонентів газової суміші %.

Рухливість іонів газової суміші за робочих умов:

$$k = k_0 \cdot \frac{(273 + t_г) \cdot 101}{273 \cdot (P_{бар} - P_г)} = 1{,}0 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{(273 + 200) \cdot 101{,}3}{273 \cdot (101{,}3 - 0{,}2 - 0{,}3 - 0{,}9)} = 1{,}76 \cdot 10^{-4} \ \frac{м^2}{В \cdot с}.$$

Лінійна щільність струму корони:

$$i_0 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot k \cdot \psi \cdot U \cdot (U - U_{кр})}{9 \cdot 10^{10} \cdot \left(\frac{\pi \cdot H}{S} - 2{,}3 \lg \frac{2 \cdot \pi \cdot R_1}{S} \right) \cdot S^2} =$$

$$= \frac{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 1{,}76 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}04234 \cdot 80 \cdot 10^3 \cdot (80 \cdot 10^3 - 25{,}01 \cdot 10^3)}{9 \cdot 10^{10} \cdot \left(\frac{3{,}14 \cdot 0{,}3}{2 \cdot 0{,}18} - 2{,}3 \lg \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}001}{0{,}18} \right) \cdot 0{,}18^2} = 0{,}603 \cdot 10^{-3} \ \frac{А}{м},$$

де ψ – коефіцієнт, залежний від відношення $\frac{\text{H}}{\text{S}} = \frac{0{,}3}{2 \cdot 0{,}18} = 0{,}833$, ψ =0,04234.

Напруженість електричного поля:

$$E = \sqrt{\frac{8 \cdot i_0 \cdot H}{4 \cdot \pi \cdot k \cdot \varepsilon_0 \cdot S}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 0{,}603 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}3}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}76 \cdot 10^{-4} \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 0{,}18 \cdot 2}} = 4{,}53 \cdot 10^5 \ \frac{В}{м}.$$

Швидкість дрейфу часток розміром більше 1 мкм, м/с:

$$W_{др} = \frac{0{,}118 \cdot 10^{-10} \cdot E^2 \cdot r}{\mu} = \frac{0{,}118 \cdot 10^{-10} \cdot (4{,}53 \cdot 10^5)^2 \cdot r}{24{,}86 \cdot 10^{-6}} = 9{,}74 \cdot 10^4 \cdot r$$

Швидкість дрейфу часток розміром до 3 мкм, м/с:

$$W_{др} = 9{,}74 \cdot 10^4 \cdot r = 9{,}74 \cdot 10^4 \cdot 0{,}75 \cdot 10^{-6} = 0{,}073$$

Швидкість дрейфу часток розміром від 3 до 60 мкм, м/с:

$$W_{др} = 9{,}74 \cdot 10^4 \cdot 15{,}75 \cdot 10^{-6} = 1.534$$

Швидкість дрейфу часток розміром від 60 до 250 мкм, м/с:

$$W_{др} = 9{,}74 \cdot 10^4 \cdot 77{,}5 \cdot 10^{-6} = 7.5485 \ ;$$

Швидкість дрейфу часток розміром більше 250 мкм, м/с:

$$W_{др} == 9{,}74 \cdot 10^4 \cdot 260 \cdot 10^{-6} = 25.32$$

Питома площа поверхні осадження, що доводиться на 1 м^3/с газів, що очищаються, м^2·с/м^3:

$$f = \frac{Fe}{Q} = \frac{8478}{80.40} = 105.45$$

де F_e – загальна площа поверхні осадження, F_e =8478 м^2;

Фракційні коефіцієнти очищення газів від пилу визначається по формулі:

$$\eta_{фр} = 1 - e^{-f \cdot W_{ДР}}.$$

Коефіцієнт очищення газів для фракції менше 3 мкм:

$$\eta_{\leq 3} = 1 - e^{-105.48 \cdot 0,073} = 0.9995;$$

Коефіцієнт очищення газів для фракції 3-60 мкм:

$$\eta_{3-60} = 1 - e^{-105.48 \cdot 1,.534} = 1;$$

Коефіцієнт очищення газів для фракції 60-250 мкм:

$$\eta_{60-250} = 1 - e^{-105.48 \cdot 7,548} = 1;$$

Коефіцієнт очищення газів для фракції більше 250 мкм:

$$\eta_{>250} = 1 - e^{-105.48 \cdot 25,32} = 1.$$

Дані розрахунку зводимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Дані розрахунку електрофільтру

Розмір часток, мкм	0-3	3-60	60-250	Більше 250
Середній радіус часток, 10^{-6} м	0,75	15,75	77,5	125
Коефіцієнт очищення	0,992	1	1	1

Загальний коефіцієнт очищення без врахування віднесення пилу при струшуванні електродів:

$$\eta' = \sum \frac{\eta_{фр} \cdot \Phi_{фр}}{100} = \frac{0,9995 \cdot 65 + 1 \cdot 7 + 1 \cdot 9 + 1 \cdot 19}{100} = 0,9997$$

де $Ф_{фр}$ – вміст часток фракцій %:

Ф<3=65; Ф3-60=7; Ф60-250=9; Ф>250 =19.

Загальний коефіцієнт очищення з врахуванням віднесення пилу при струшуванні електродів ($К_{ун}$=0,9):

$$\eta'' = 1 - exp K_{ун} \cdot 2{,}3 \cdot \lg(1 - \eta') = 1 - exp\, 0{,}9 \cdot 2{,}3 \cdot \lg(1 - 0{,}9997) = 0{,}9993.$$

Запилена газу після електрофільтру:

$$Z_2 = Z_1 \cdot (1 - \eta'') = 28 \cdot (1 - 0{,}9993) = 0.0191 \ \frac{г}{м^3}.$$

2.2.2 Розрахунок агрегатів живлення

Вибір апарату проводять по необхідній силі випрямленого струму:

$$I = L \cdot i_o, \tag{2.19}$$

де L – сумарна активна довжина коронуючих електродів, що живляться від одного агрегату, м;

i_o – лінейна щільність струму, А/м

$$L = n_n \cdot \frac{l_n}{S_o} \cdot l_e, \tag{2.20}$$

де n_n – кількість проходів, 30 шт.;

l_n – довжина одного поля, 6,0 м;

l_e – номінальна висота електродів, 7,5 м.

$$L = 30 \cdot \frac{6.00}{0{,}18} \cdot 7{,}5 = 7500 \quad м$$

$$I = 0.603 \cdot 10^{-3} \cdot 7500 = 4{,}5 \quad \text{А}$$

Обираємо агрегат живлення АТФ-1600 в кількості 2 шт на одну секцію. Характеристик АТФ-1600 агрегат живлення наведена у табл.2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики агрегату живлення АТФ-1600

Параметри	Значення
Випрямляюче устаткування	КВОМ-96/50
Шафа керування	ПРТ-1600
Споживана потужність, кВА, не більш ніж	160
Номінальний первинний струм, А	389
Номінальний випрямлений струм (середнє значення), мА	1600
Номінальний випрямлений струм (діюче значення), мА	2130
Максимальні втрати випрямляючого устаткування КВОМ, кВт	5,8

Повна потужність, яку споживає електрофільтр:

$$P = \frac{U_m \cdot I_\phi \cdot K_\phi \cdot \cos\varphi}{1{,}41 \cdot \eta}, \qquad (2.21)$$

де U_m – амплітудна напруга, кВ;

I_ϕ – середня сила струму корони, А;

K_ϕ – коефіцієнт форми випрямленого струму;

$\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності;

η – к.к.д. агрегату, частка.

$$P = \frac{80000 \cdot 0.986 \cdot 1.3 \cdot 0.83}{1{,}41 \cdot 0.9} = 67.06 \quad \text{кВ}$$

2.2.3 Аналіз впливу геометричних розмірів електрофільтру на швидкість дрейфу часток та ефективність роботи

Оскільки геометричні розміри електрофільтрів напряму впливають на капітальні вкладення на впровадження системи газоочищення,то встановлюємо можливість використання електрофільтру меншого розміру. Для цього розраховуємо фракційну ступінь очищення при зміні площі осадження електрофільтру.

Визначаємо питому площа поверхні осадження, що доводиться на 1 $м^3/с$ газів, що очищаються, $м^2 \cdot с/м^3$ для наступних загальних площ поверхонь осадження, при збереженні продуктивності фільтру:

Fe_1 = 3780 $м^2$ (ЕГА1-30-7,5-6-2);

Fe_2 = 3543 $м^2$ (ЕГА1-30-7,5-4-3);

Fe_3 = 4728 $м^2$ (ЕГА1-30-7,5-6-4);

Fe_4 = 4235 $м^2$ (ЕГА1-30-9-6-2);

Fe_5 = 6356 $м^2$ (ЕГА1-30-9-6-3);

Fe_6 = 5317 $м^2$ (ЕГА1-30-7,5-6-3).

Результати розрахунку заносимо до таблиці 2.3.

Фракційні коефіцієнти очищення газів від пилу визначаємо для фракцій 0-3 (65%); 3-60 (7%); 60-250 (9%); 250 мкм (19%). Результати розрахунку заносимо до таблиці 2.3.

Встановлюємо загальний коефіцієнт очищення без та з врахування віднесення пилу при струшуванні електродів. Результати розрахунку заносимо до табл.2.3.

Таблиця 2.3 – Вплив загальної площі поверхонь осадження на ступінь очищення

№	Fe, $м^2$	f, $м^2 \cdot с/м^3$	0-3, мкм	3-60, мкм	60-250, мкм	250, мкм	η , частка	$\eta_{вин}$, частка	Z_2, $г/м^3$
1	3780	47.01493	0.967681	1	1	1	0,97899	0.9687	0.875024
2	3543	44.06716	0.959921	1	1	1	0,97394	0.9621	1.061368
3	4728	58.80597	0.986334	1	1	1	0,99112	0.9856	0.404238
4	4235	52.67413	0.978618	1	1	1	0,98610	0.97842	0.604019
5	6356	79.05473	0.996883	1	1	1	0,99797	0.9962	0.107321
6	5317	66.13184	0.992025	1	1	1	0,99481	0,9912	0.2464

Таким чином, за результатами розрахунків (рис.2.6) встановленно, що збільшення активної площі осадження призводить до збільшення сумарного ступеню очищення. Лише при досягненні площі осадження 8478 $м^2$ виконується вимога до залишку пилу в газі (50 $мг/м^3$). Подальше збільшення активної площі осадження призведе до здороження капітальних вкладень на очищення.

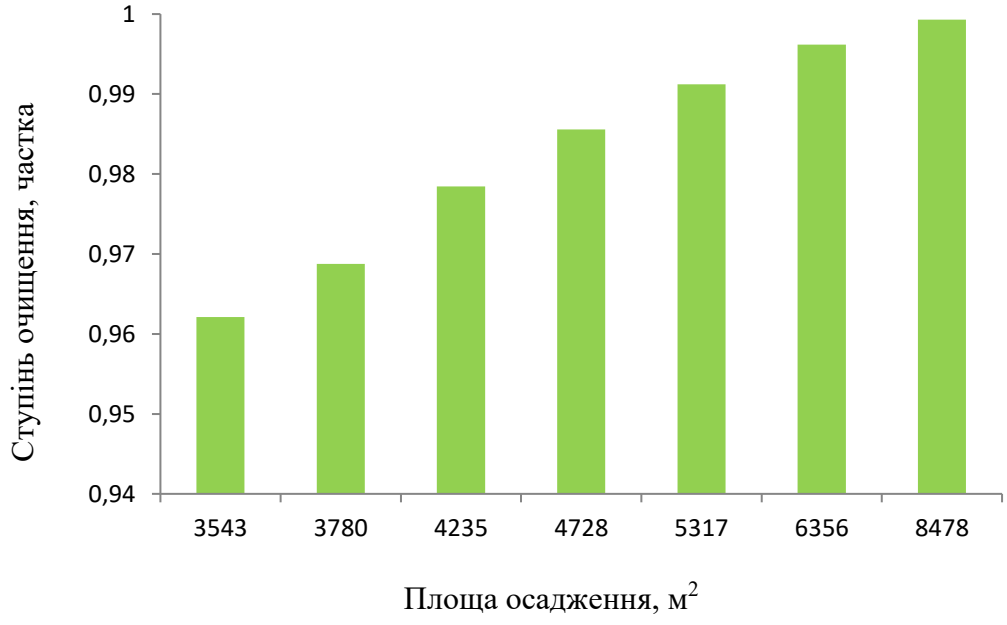


Рисунок 2.6 – Залежність сумарного ступеню очищення від активної площі осадження електрофільтру

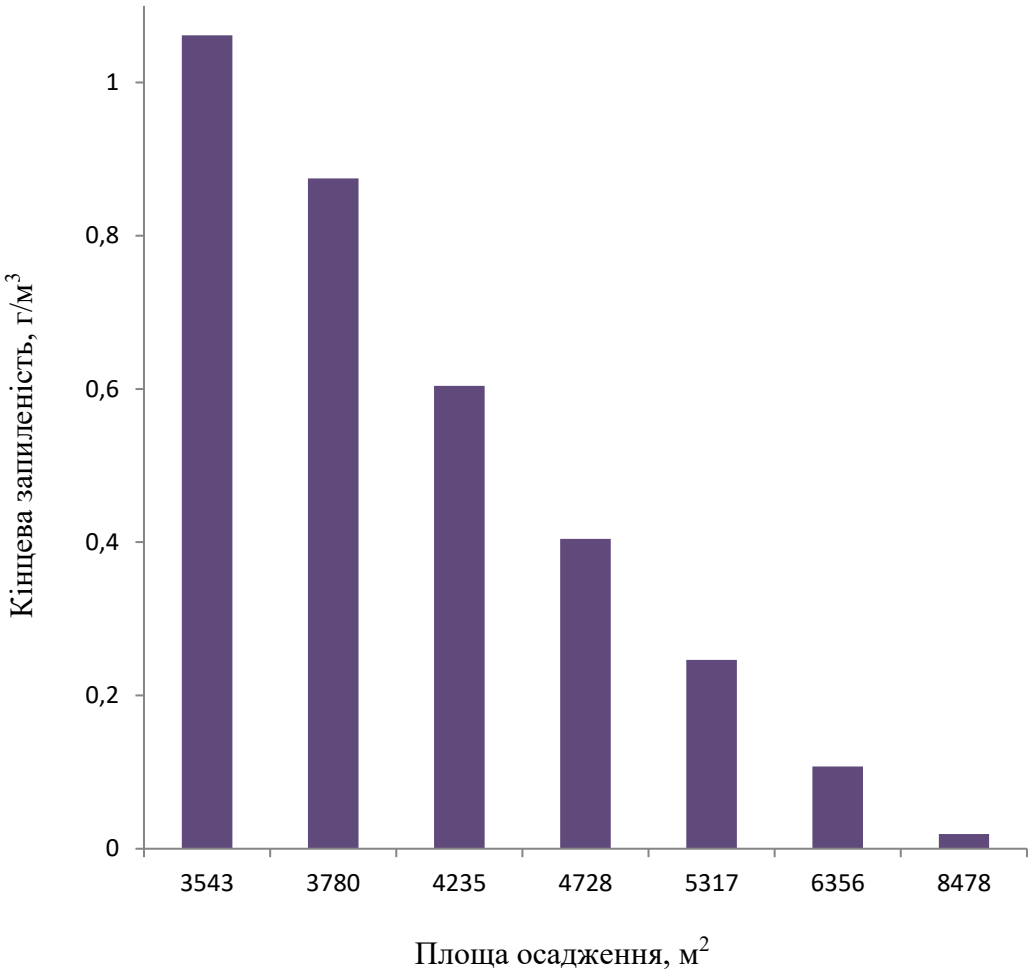


Рисунок 2.7 – Залежність кінцевої запиленості від активної площі осадження електрофільтру

2.2.4 Аеродинамічний розрахунок газового тракту системи газоочистки киснево-конвертерних газів

Умовно розділимо газовий тракт на наступні ділянки (рис. 2.8)

- ділянка I – котел – утилізатор – скрубер (вхід в тhубу, секційне коліно);
- ділянка II - скрубер-електрофільтр (2 секційних коліна, дифузор);
- ділянка III – електрофільтр-трійник (2 секційних коліна, конфузор -вихід з електрофільтра),
- ділянка IV трійник розділення потоків димотяг (трійник, дифузор)
- ділянка V – димотяг-димова труба (конфузор, вхід в трубу, 1 секційне коліно)

Втрати тиску (енергії 1 м^3 газу) $\Delta P_{заг}$ складаються з втрат тиску на тертя ΔP_l і втрат тиску на місцевих опорах $\Delta P_м$:

$$\Delta P_{заг} = \Delta P_1 + \Delta P_м., \quad (2.22)$$

Втрати тиску на тертя, Па:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \cdot l_i \cdot \rho_{p_i} \cdot W_i^2 / \left(d_{e_i} \cdot 2\right), \quad (2.23)$$

де λ і – коефіцієнт гідравлічного опору і–го ділянки, приймаємо рівним 0.025;

li – довжина і–ої ділянки, м;

dei - еквівалентний діаметр газоходу і–ої ділянки, м

pi – щільність газу на і–ій ділянці, кг/м^3;

wi - середня по перетину і довжині газоходу швидкість потоку на і-ій ділянці, м/с.

Густина газу за робочих умов:

$$\rho_t = \rho_0 \left(\frac{273}{273 + t_Г}\right) \cdot \left(\frac{B - P_Г}{101,3}\right), \quad (2.24)$$

Ділянка I

Температура газу після котла-утилізатора tг = 780 °С.

Густина газової суміші за робочих умов:

$\rho_t = 0,382$ кг/м^3

Витрата газу за робочих умов:

$Q = 135.11$ м^3/с

Діаметр газопроводу визначається по наступній формулі:

$$d = 1.13\sqrt{\frac{Q}{W}}, \text{ м} \quad (2.25)$$

Приймаємо швидкість газу рівною 22 м/с, тоді:

$$d = 1.13\sqrt{\frac{135.171}{22}} = 2.8 \text{ м}$$

Відомо, що рух газів в газоході відбувається у області «гідравлічно шорстких» труб (автомодельна чи область зона квадратичної залежності) за умови $Re_i \times \frac{k_{ei}}{d_{ei}} > 500$, тоді для визначення коефіцієнту гідравлічного тертя використовують наступну формулу:

$$\lambda_i = 0{,}11 \times \left(\frac{k_{ei}}{d_{ei}}\right)^{0{,}25} . \qquad (2.26)$$

Визначимо втрати тиску по довжині для ділянки I:

$\Delta Pl = 0{,}025 \cdot (200/\ 2{,}8) \cdot 0{,}382 \cdot (22^2/2) = 165{,}07$ Па.

Місцеві опори на ділянці I: вхід в газохід (вхід в канал розташований далеко від стінки) ξ=0,5; секційне коліно 90°, 3 шт ξ = 0,39; дифузор ξ = 0,05, секційне коліно 60°, ξ =0,24

$$\sum \xi_I = 0{,}5 + 0{,}39 \cdot 3 + 0.24 + 0.05 = 1.96$$

Визначимо втрати тиску на місцевих опорах, Па:

$\Delta P_м = 1{,}96 \cdot 22^2/2 \cdot 0{,}382 = 181{,}19$ Па

$\Delta P_I = 181{,}19 + 165{,}07 = 346{,}26$ Па

Приймаємо ΔP_I =346,26 Па

Аналогічним чином проводимо розрахунки опору газового тракту на останніх ділянках (рис. 2.8).

Отримані результати заносимо в табл. 2.4.

Аеродинамічний розрахунок димової труби

Очищені гази після газоочистки розсіюються в атмосфері через димову трубу, H = 80 м. Діаметр гирла труби, Dг = 2,2 м.

Гідравлічний опір димаря визначається за формулою:

$$\Delta Pmp = \lambda \frac{H}{D_г} \cdot \frac{w^2}{2} \rho_Г, \text{Па} \qquad (2.27)$$

де λ - коефіцієнт тертя, для бетонних труб $\lambda = 0{,}05$ [8];

ρг – щільність газу перед димарем;

Dг- діаметр гирла димаря, м.

Qр – витрата газу за робочих умов, м^3/с, 80,4 м^3/с

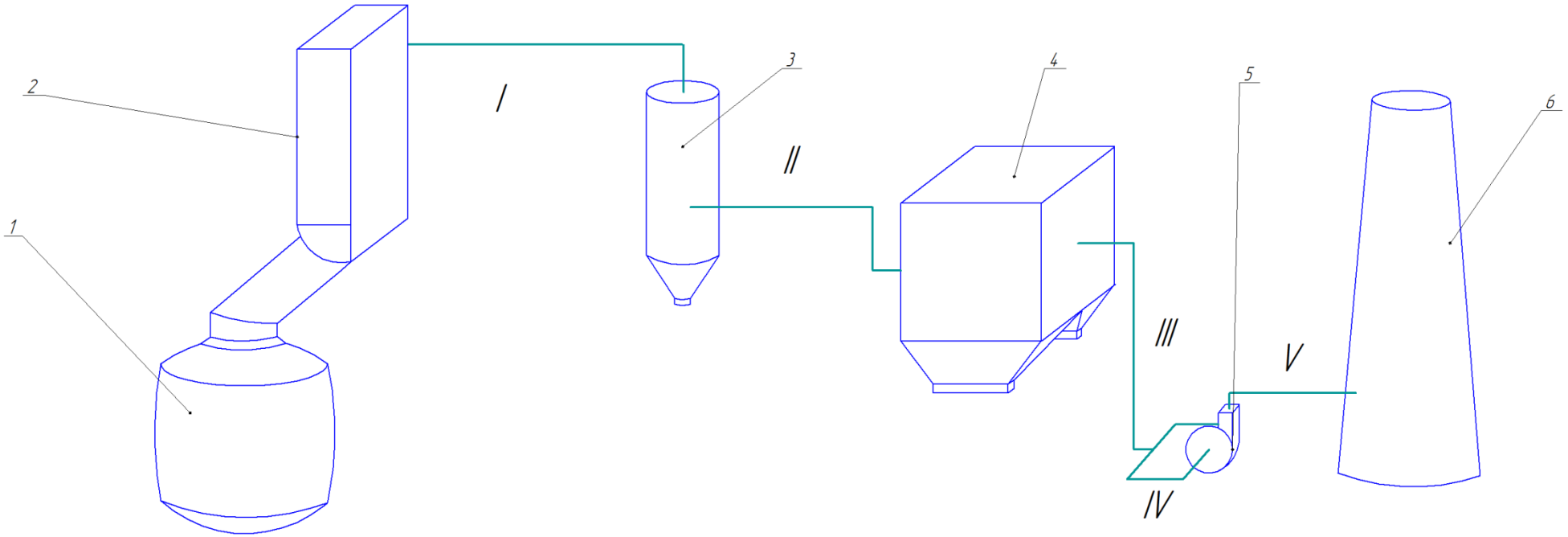
Таблиця 2.4 – Результати аеродинамічного розрахунку

№ ділянки	Q, м^3/с	ρ, кг/м^3	t, °С	$w_ф$, м/с	d, м	l, м	ΔPl, Па	ξ	$\Delta P_м$, Па	$\sum P$, Па
I	135,17	0,382	780	22,0	2,8	200	165,07	1,96	181,19	346,26
II	80,4	0,675	200	23,3	2,1	37	80,71	1,28	234,52	315.23
III	80,40	0,675	190	23,3	2,1	50	109,1	1,87	342,63	451.73
IV	40,20	0.675	190	23,6	1.4	16	36,9	0,91	166,73	201.63
V	80,40	0,675	190	23,3	2,1	17,0	30,95	1,05	200,73	231,
Котел-утилізатор										300
Скрубер										900
Електрофільтр										500
$\sum Pзаг$										3004,83

Швидкість газів в гирлі димової труби:

$$W_{гр} = \frac{n \cdot Q_p}{S_г} = \frac{4Q_p}{\pi D_г^2}, \text{ м/с} \qquad (2.28)$$

$$W_{гр} = \frac{80.40}{3{,}14 \cdot 2.2^2} = 5.29 \text{ м/с}$$



1 – кисневий конвертер; 2 – котел-утилізатор ОКГ; 3 – випарний скрубер;4 – електрофільтр; 5 – димотяг; 6 – димова труба

Рисунок 2.8 – Газовий тракт системи очистки киснево-конвертерного виробництва з повним допалюванням

$$\Delta P_{тр} = 0,05\frac{80}{2.2}\cdot\frac{5.29^2}{2}0,675 = 17,17 \text{ Па}$$

Динамічний тиск:

$$\Delta P_{дин} = \frac{W^2}{2}\cdot\rho = \frac{5,29^2}{2}0,675 = 9,44 \text{ Па}$$

Опір виходу газу в атмосферу:

$$\Delta Pвих = \varsigma_{вих}\frac{w^2}{2}\cdot\rho_г, \quad (2.29)$$

$$\Delta Pвих = 1,15\frac{5,29^2}{2}\cdot 0,675 = 10,86$$

Сумарний гідравлічний тиск:

$$\sum P = 17,17 + 9,44 + 10,86 = 37,47 \text{ Па}$$

Тяга, що створюється димовою трубою:

$$P_{\sum} = (\rho_п - \rho_г)\cdot g\cdot H = (1.189 - 0.675)\cdot 9.81\cdot 80 = 403,39 \text{ Па}$$

де $\rho п$ –густина атмосферного повітря при 24°С , $\rho п$ =1,189 кг/м^3.

Потреба в додатковому тиску:

$$\Delta Pдод = 37,47 - 403,39 = -365,92 \text{ Па}$$

Вибір димотяга

Димосос вибирають на основі аеродинамічного розрахунку газовідвідного тракту [11].

Продуктивність димососу:

$$Qд = \frac{1.1\cdot Q_р\cdot 101,3}{101.3}, \quad (2.30)$$

$$Qд = \frac{1.1\cdot 80.40\cdot 101,3}{101.3} = 88,44 \text{ м}^3/\text{с} = 318384 \text{ м}^3/\text{год}$$

Коефіцієнт перерахунку:

$$К = \frac{(273+t)101,3\cdot\rho_{Г}}{(273+Т)\cdot В\cdot\rho_{В}} = \frac{(273+190)101,3\cdot 0,675}{(273+30)\cdot 100\cdot 1,293} = 0,8$$

де t – температура газу перед димососом, °С;

Т – температура по каталогу °С.

Створюваний димососом тиск:

$$\Delta P_{д} = 1,2\cdot K\cdot\Delta P_{\sum} \qquad (2.31)$$

де 1,2 – коефіцієнт запасу [9];

$\Delta P_{\sum}$ – сумарний опір тракту, що газовідводить, з урахуванням запасу розрідження, що створюється димовою трубою Па;

К – коефіцієнт перерахунку.

$\Delta P_{д} = 1,2\cdot 0,8\cdot 3004,83 = 2884,63$ Па

На підставі розрахованих параметрів застосовуємо до установки вентилятор типу ДН-24х2 [14], відповідно до робочої характеристики (рис. 2.9).

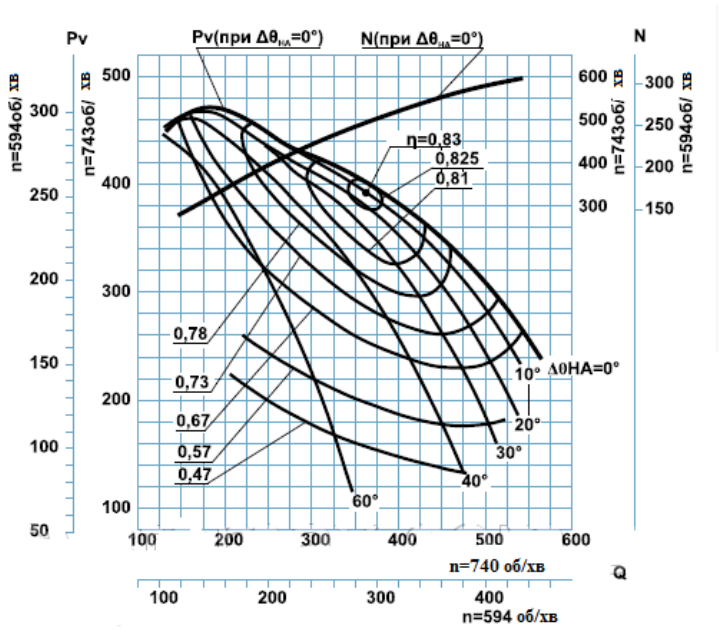


Рисунок 2.9 – Характеристика вентилятора ДН-24х2

Тоді потужність, яку витрачає двигун димотяга:

$$N = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta} = \frac{88{,}44 \cdot 3210}{0{,}81 \cdot 1000} = 341{,}88 \text{ кВт}$$

2.3 Вибір та розрахунок апаратів по утилізації конвертерного пилу

У кваліфікаційному проєкті пропонується використовувати вловлений пил як сировину для процесів прямого відновлення залізорудної сировини, що подається в конвертер.

Експлуатація систем очищення газів із застосуванням сухих горизонтальних електрофільтрів дозволила отримати необхідний ступінь очищення газів від пилу (залишкова запиленість газів становить близько 0,003 г /м^3, що свідчить про перспективність будівництва таких систем).

Кількість вловленого пилу, т/год.:

$$M = \frac{(z_1 - z_2) \cdot V}{10^6} = \frac{(28 - 0.0336) \cdot 80.40 \cdot 3600}{10^6} = 8.09 \qquad (2.32)$$

Уловлений в електрофільтрі пил збирається у спеціальних приймальних бункерах, розташованих під фільтром. Для його транспортування використовується система пилоподачі, що складається з чотирьох незалежних ліній, які функціонують поперемінно, кожна з яких активується на 15 хвилин. Кожна з цих ліній включає: десять шлюзових живильників типу Ш5-30 РНУ-01, два скребкові транспортери КПС(М)-200Т, проміжний бункер для пилу, а також камерний насос ТА-23А.

Пил із бункерів електрофільтра подається за допомогою скребкових транспортерів у проміжний резервуар, звідки самопливом надходить у камерний насос. Далі через систему пневмотранспорту пил переміщується у збірний накопичувальний бункер.

На верхній частині цього бункера встановлено циклон ЦН-15 з діаметром 500 мм, який призначений для очищення повітря, що виходить із бункера.

Визначаємо масу накопиченого пилу в бункері електрофільтру за формулою, т/доб.:

$$M_{доб.} = G_{сух} \cdot 24, \quad (2.33)$$

де $G_{сух}$ – маса сухого пилу, т/год.

$M_{доб.} = 8,09 \cdot 24 = 194,16$ т/доб.;

Знаходимо загальний об'єм бункера – накопичувача пилу,м^3:

$$V_{б.п.} = \frac{M_{доб.}}{\gamma_{нас.}}. \quad (2.34)$$

де $\gamma_{нас.}$ – насипна маса пилу, кг/м^3. Становить 1800…2000 кг/м^3 [7]. Приймаємо 1800 кг/м^3.

$$V_{б.п.} = \frac{194160}{1800} = 107,87 \text{ м}^3.$$

Приймаємо 4 збірних бункери $V_{б.п}$=30 м^3.

Технологічна схема утилізації пилу передбачає використання бункерів, які слугують проміжними резервуарами для накопичення пилу. Вони забезпечують безперервну та стабільну роботу обладнання, агрегатів і транспортних систем. Залежно від умов, застосовують бункери круглої або прямокутної форми. Щоб забезпечити ефективне вивантаження матеріалу, стінки бункера мають нахилятись до горизонту під кутом на 5–10° більшим за природний кут укосу конкретного матеріалу. Наприклад, для пилу він становить 20–30°, для дрібного коксу – 30–50°, для вапняку – 30–45°, а для брикетів – 37-45° [7].

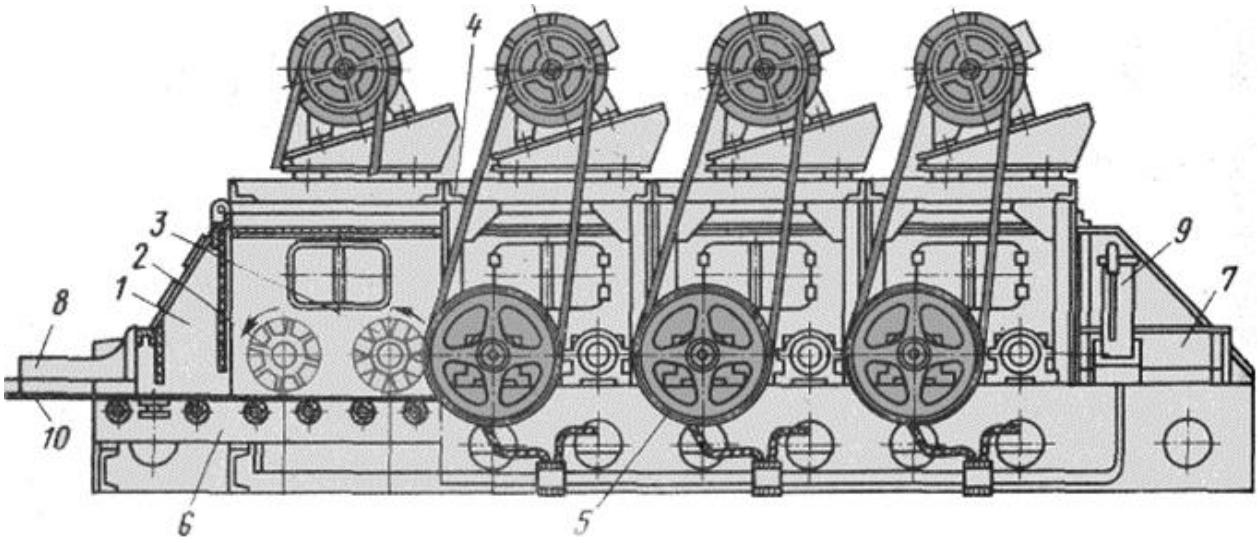
Залежно від розміру частинок, для подачі матеріалів із бункерів можуть застосовуватись стрічкові, тарілчасті або барабанні живильники [7].

Подальший етап – переробка вловленого пилу в окатиші. Цей процес включає кілька стадій:

Подрібнення вапна: Додавання вапна в шихту сприяє підвищенню механічної міцності сирих окатишів або брикетів. Це пов’язано з утворенням нових кристалів гідрату оксиду кальцію, які формують більш стабільну структуру гранул. Волога, пов’язана вапном, не випаровується так стрімко при нагріванні, як вільна, тому ризик розтріскування зменшується.

Дозування компонентів шихти (пил, вапно, кокс): Кокс відіграє роль відновника і використовується для металізації заліза, що міститься у шихті.

Змішування компонентів: Процес відбувається у роторному змішувачі (рис. 2.10). Такі змішувачі встановлюються на рамі над транспортерною стрічкою, куди з дозаторів подаються компоненти шихти. У змішувальній камері 1 відбувається їхнє інтенсивне перемішування за допомогою роторів: дисковий ротор 2 вирівнює потік шихти, а лопатеві ротори 3 перемішують суміш по всій ширині та висоті шару.



1 – камера; 2 – дисковий ротор; 3 – лопатевий ротор; 4 – П-подібний каркас; 5 – шківи; 6 – роликоопори; 7 – електродвигун; 8 – вали; 9 – привід; 10 – стрічка

Рисунок 2.10 – Схема роторного змішувача [10]

Дисковий ротор *2* являє собою трубчастий вал із привареним до нього дисками. Несуча конструкція змішувача складається з П-подібного каркаса 4 і роликоопори 6. На каркас встановлюються електродвигуни привода роторів. Обертання роторів здійснюється від електродвигунів змінного струму через

клиноремінну передачу. Кожна пара роторів одержує обертання від одного двигуна послідовно через шківи 5, установлені на кінцях валів роторів.

У роторних змішувачах, розташованих над транспортерною стрічкою, що рухається, рівень однорідності отриманої шихти, як правило, не перевищує 40–60 %.

З урахуванням виробничих умов доцільно застосувати роторний змішувач моделі СР-520х0,8-(2,3,4) [10].

Основні етапи формування окатишів включають:

- формування сирих окатишів — здійснюється в чашовому грануляторі;
- просіювання (грохочення) — виконують на роликовому гуркоті типу SR1234 [15], де проводиться відбір окатишів необхідної фракції;
- сушіння та попередній нагрів — відбувається на колосникових решітках, що забезпечує зменшення вологості гранул та знижує ризик їх розтріскування під час наступного термічного оброблення;
- обпалювання окатишів — виконується на стрічковій обпалювальній машині типу ОК-108.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів в киснево-конвертерному виробництві

У конвертерних цехах металургійних підприємств формуються несприятливі умови праці для персоналу, пов’язані з впливом ряду небезпечних і шкідливих чинників. Основними виробничими загрозами є інтенсивне теплове випромінювання, що надходить від технологічного обладнання (конвертерів, установок типу «піч-ківш», машин безперервного лиття заготовок) і відкритих джерел розплавленого металу та шлаку.

Серйозну небезпеку для здоров’я працівників становлять також газові викиди, які утворюються в процесі продування металу в конвертері, та пилове навантаження, що виникає при транспортуванні сипких матеріалів, зливі чавуну у конвертер, випуску сталі та шлаку.

До основних джерел виробничих ризиків у конвертерному відділенні належать:

- рухомі елементи технологічного обладнання;
- операції з підйому й переміщення важких вантажів;
- відкриті поверхні розплавленого металу і шлаку, що є потенційно травмонебезпечними;
- електрообладнання, яке функціонує під високою напругою.

Процес продування супроводжується значними викидами пилу та гарячих газів, що можуть містити оксиди вуглецю, сірки, азоту, а також мікроскопічні частинки оксидів металів. Потрапляння цих речовин у повітряне середовище цеху створює загрозу отруєння та розвитку професійних захворювань у працівників.

Джерелами теплового навантаження є не лише розплавлений метал, а й розігріті елементи технологічної оснастки – футеровані стінки конвертера, сталерозливні й шлакові ковші, гарячі поверхні обладнання. Особливо високе теплове опромінення спостерігається в зоні розливу металу в установках МБЛЗ.

Тут інтенсивність інфрачервоного випромінювання може сягати 300–9000 Вт/м², що перевищує гранично допустимі норми, визначені санітарним регламентом ДСН 3.3.6.042-99.

Найбільшому тепловому навантаженню піддаються працівники, які здійснюють відбір проб, вимірювання температури, технічний огляд або ремонт горловини конвертера. У цих зонах ризик перегрівання організму суттєво зростає.

Крім теплових та пилових факторів, значну небезпеку становлять токсичні гази, що виділяються під час продування та при термічній обробці футерованих елементів агрегатів. Зокрема, при сушінні відремонтованих конвертерів і ковшів в робоче повітря цеху можуть потрапляти шкідливі газоподібні сполуки у концентраціях, що перевищують допустимі санітарно-гігієнічні рівні.

У табл. 3.1 наводиться оцінка умов виробничої діяльності сталеварів, яка враховує інтенсивність шкідливих факторів, характер фізичного навантаження, рівень шуму, запиленості та температурні параметри робочої зони.

Таблиця 3.1 – Оцінка факторів виробничого процесу в киснево-конверторному цеху

Професія: сталевар
Цех: конвертерний

№	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення (ГДК, ГДУ)	Фактичне значення	III класс Шкідливі і небезпечні умови і характер праці			Тривалість дії фактора за зміну, %
				I ст.	II ст.	IIIст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3					-	100
						-	
	1 клас: хром	0,01	0,036	-	3,6р	-	
	нікель	0,05	0,125	-	2,5р	-	
	марганец	0,05	0,2	-	4р	-	
	бенз(а)пирен	0,00015	0,00026	1,7р	-	-	
	2 клас: мідь	1,0	1,15	1,15р	-	-	
	3-4 клас: CO	20,0	80	4р	-	-	
	SO_2	10,0	37,5	3,75р	-	-	
	NO	5,0	29,5		5,9р	-	
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м^3	4,0	143	-	-	35,8р	100
3	Вібрація (обща и локальная), дБ	-	-	-	-	-	

4	Шум, дБА	80	89	-	9	-	80
5	Інфразвук, дБ	-	-	-	-	-	
6	Ультразвук, дБ	-	-	-	-	-	
7	Мікроклімат в приміщення: температура повітря,°С теплий період холодний період	 16…27 15…21	 39 14	 - 1	 - -	 12 -	100
	Швидкість руху повітря, м/с теплий період холодний період	 <0,5 <0,4	 0,8 0,8	 1,6р 2р	 - -	 - -	
	Відносна вологість виробництва теплий період холодний період	 <70 <75	 50 55	 - -	 - -	 - -	
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	140	3000	-	-	3000	90

Умови праці в конвертерному цеху характеризуються як шкідливі та важкі, згідно з класифікацією умов праці – III клас, 3 ступінь за параметрами шуму та мікроклімату. Робоче місце класифікується з наявністю чотирьох факторів першого ступеня, двох – другого та ще двох – третього ступеня небезпечності. За сукупністю показників ці умови підпадають під визначення особливо шкідливих і важких, які відповідають критеріям, зазначеним у Списку №1 для пільгового пенсійного забезпечення.

Особливо небезпечним є майданчик над діючим конвертером, де розташовані пальники котла-утилізатора – у цій зоні фіксуються найвищі концентрації оксиду вуглецю (CO) та сірчистого газу (SO_2).

У середньому, конвертерний газ містить від 50 до 300 г/м³ твердих частинок пилу. Основу пилу становлять оксиди заліза, з вмістом Fe на рівні 60–65 %, а також сполуки Mn (2–6 %), кремнезему (SiO_2), вапна (CaO), глинозему (Al_2O_3) та інші мінеральні включення. Більше 80 % часток пилу мають надзвичайно малі розміри – до 0,5 мкм, що сприяє їхньому довготривалому перебуванню в повітрі і розповсюдженню далеко від джерела утворення. Частки пилу більші за 1 мкм становлять лише 5–15 % від загального обсягу.

Інтенсивне пиловиділення відбувається також під час транспортування шихтових матеріалів, руйнування вогнетривкої кладки конвертерів і сталерозливних ковшів у процесі ремонту. У міксерних відділеннях формування запиленості й газовиділення спостерігається під час заливання чавуну в міксери та його зливу. За статистичними даними, при проходженні одного метра кубічного чавуну через міксер виділяється приблизно 60 г пилу і 370 г оксиду вуглецю через вентиляційні ліхтарі.

Додатковим чинником погіршення умов праці є надмірний шум, що виникає внаслідок функціонування обладнання. Основні джерела шуму — це робота конвертерів, електромостових кранів, транспортувальних механізмів, газових магістралей, машин завалювання та іншого устаткування. Рівень шумового навантаження на робочому місці сталевара перевищує допустимі санітарні норми. Зокрема, згідно з вимогами ДСН 3.3.6.037-99, норма не повинна перевищувати 80 дБА, тоді як фактичні значення сягають перевищення на 9 дБА й більше, що сприяє розвитку професійної втоми, зниженню уваги і слуху, а також збільшує ризик аварійних ситуацій.

Для покращення умов праці необхідно передбачити комплекс заходів, зокрема:

- посилення вентиляції в місцях утворення пилу та газів;
- впровадження ефективних пилогазоочисних систем;
- організацію захищених робочих постів з кондиціонованим повітрям;
- використання індивідуальних засобів захисту органів дихання та слуху;
- обмеження часу перебування персоналу в особливо небезпечних зонах.

3.2 Заходи з поліпшення умов праці

Пил, що утворюється в процесі виробництва, є одним із основних шкідливих факторів на металургійних підприємствах. Він негативно впливає на здоров’я людини, подразнюючи шкірні покриви, слизові оболонки очей,

носоглотки, вух, а також при вдиханні потрапляє в легені, що може спричинити розвиток професійних захворювань, таких як силікоз, силікатоз, антракоз та інші форми пневмоконіозів [12].

З метою зниження запиленості та концентрації шкідливих газів у повітрі виробничих приміщень конвертери обладнують сучасними пилогазоочисними установками та ефективною припливно-витяжною вентиляцією. Особливу увагу приділяють герметизації процесів, пов’язаних із переміщенням, просіюванням і змішуванням сипких матеріалів, а також забезпечують аспірацію пилу безпосередньо у зонах його утворення.

Тривалий вплив шуму на організм людини може викликати порушення слуху, аж до повної глухоти, а також негативно впливати на серцево-судинну систему та функціонування центральної нервової системи. Для захисту персоналу від надмірного шумового навантаження у виробничих цехах передбачаються шумоізольовані кабіни – пости керування, кімнати відпочинку тощо. Для зменшення шуму, що генерується технологічним обладнанням (двигунами, насосами), використовуються спеціальні шумоізолюючі кожухи, виготовлені зі сталевих листів товщиною 2–3 мм. Вони встановлюються як на окремі вузли, так і на цілі агрегати. Внутрішню поверхню кожуха облицьовують звукопоглинальними матеріалами (мінеральна вата, скловолокно). Додатково застосовуються глушники на повітряних та газових каналах для зниження шумового навантаження.

Ще одним шкідливим чинником є перегрів організму через вплив високих температур, які виникають у зоні роботи з розплавленим металом. Надмірне теплове навантаження викликає перенапруження терморегуляторних механізмів організму та може призвести до теплових ударів. Для боротьби з цим явищем у цеху реалізується система природної аерації: на покрівлі встановлюють два аераційні ліхтарі типу КТИС, які забезпечують ефективне відведення гарячого повітря. Додатково в зонах підвищеного теплового впливу організовують повітряні душі, що забезпечують локальне охолодження працівників.

Щоб створити безпечніші та комфортніші умови праці для сталеварів, на їхніх робочих місцях передбачено встановлення постів керування з термо- та шумоізоляцією. Для забезпечення належного мікроклімату у таких кабінах подається очищене та кондиціоноване повітря. Стіни поста мають двошарову конструкцію: внутрішній шар виконується з вогнетривкої червоної цегли, зовнішній — з теплоізоляційного матеріалу, зокрема скловолокна, що забезпечує надійний захист від теплового і акустичного впливу.

Такі заходи комплексного технічного й організаційного характеру дозволяють суттєво знизити рівень професійних ризиків і підвищити рівень охорони праці на конвертерному виробництві.

3.3 Виробнича санітарія

Система опалення будівлі конвертерного цеху відіграє важливу роль не лише у забезпеченні комфортної температури для працівників, а й у збереженні самої конструкції споруди. Недостатнє опалення призводить до підвищеної вологості всередині приміщень, що сприяє утворенню конденсату, появі грибка та поступовому руйнуванню будівельних матеріалів.

Температурний режим у конвертерному цеху формується переважно за рахунок внутрішніх джерел тепла – розжареного металу, розплавленого шлаку, нагрітих ковшів, виливниць, а також тепловіддачі від обладнання (зокрема самих конвертерів) і додатково впливає температура зовнішніх конструкцій (стін, даху) та інсоляція – надходження сонячної енергії.

З огляду на інтенсивне тепловиділення, утворення великої кількості пилу та газів (особливо дрібнодисперсних фракцій, що довго утримуються в повітрі), надзвичайно важливу роль у створенні безпечних і допустимих умов праці відіграє правильно організована система повітрообміну. Основним засобом боротьби з такими виробничими чинниками виступає природна вентиляція – аерація.

Аераційна система функціонує на основі двох природних факторів: різниці температур між повітрям усередині приміщення і зовні (тепловий напір) та тиску вітрових потоків (вітровий напір). Ефективною аерація вважається тоді, коли у теплий період року температура повітря в цеху не перевищує зовнішню більш ніж на 5 °С. У холодний сезон вентиляція повинна запобігати різкому надходженню великих обсягів холодного повітря в зону перебування персоналу, що є критично важливим для збереження теплового комфорту робітників.

Керування режимом природної вентиляції здійснюється за допомогою фрамуг, які відкриваються і розміщені по периметру зовнішніх стін, а також через аераційні ліхтарі, розташовані на даху виробничої будівлі. У разі правильної експлуатації та налаштування таких систем забезпечується безперервний повітрообмін, що значно зменшує концентрацію шкідливих речовин у робочій зоні.

Крім того, для підвищення ефективності повітрообміну у гарячих цехах іноді впроваджують комбіновані схеми вентиляції – природну з елементами механічної, особливо в районах, де недостатньо тяги або погані кліматичні умови. Це дозволяє точніше регулювати температуру, вологість і швидкість руху повітря в критичних зонах.

Усі параметри мікроклімату, допустимі для робочої зони в конвертерному цеху, визначені у відповідності до санітарно-гігієнічних норм – згідно з таблицею 4.2 ДСН 3.3.6.042-99.

Таблиця 2.2 – Значення допустимих параметрів повітряного середовища в робочій зоні виробничих приміщень конвертерного цеху

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
		Верхня межа		Нижня межа			
		Постій.	Непостій.	Постій.	Непостій.		
Холодний	Важка	19	20	13	12	75	< 0,5
Теплий	Важка	26	28	15	13	65	0,2...0,6

Рівень здоров’я працівників та безпечність умов праці у конвертерних цехах безпосередньо залежать від ефективної організації освітлення як усього цехового простору, так і окремих робочих зон. Забезпечення належного світлового режиму відбувається шляхом поєднання природного освітлення з використанням штучних джерел світла.

Оптимальні умови природного освітлення створюються за допомогою бічних віконних отворів, а також світлових ліхтарів, змонтованих у дахових конструкціях. Прозорість скла вікон і ліхтарів має вирішальне значення – забруднення поверхонь скління пилом, сажею або снігом суттєво знижує інтенсивність проникнення денного світла. З цієї причини необхідно регулярно здійснювати очищення скла, особливо в опалювальний сезон.

Показники природного освітлення в конвертерних цехах нормуються відповідно до коефіцієнта природної освітленості (КПО) – співвідношення освітлення в конкретній точці приміщення до рівня зовнішньої освітленості на відкритому просторі при однакових умовах розсіяного денного світла.

Природне освітлення буває верхнім (через дахові ліхтарі) або комбінованим, коли поєднується як верхнє, так і бічне світло. Однак у зв’язку з високою запиленістю та технологічними особливостями виробництва в більшості випадків виникає необхідність у використанні додаткового штучного освітлення.

Штучне освітлення в цехах поділяється на три основні типи:

- загальне – рівномірне освітлення всього приміщення;
- місцеве – підсвічування окремих ділянок, де здійснюються технологічні операції;
- комбіноване – поєднання загального і місцевого.

На випадок аварійного вимкнення основного живлення передбачається аварійне освітлення**,** що живиться від незалежних джерел енергії. Це дозволяє забезпечити мінімальний рівень видимості для безпечного евакуації персоналу або продовження роботи в критичних умовах.

Окрему роль у покращенні освітленості відіграє забарвлення внутрішніх поверхонь цеху – стін, перекриттів і виробничого обладнання. Для підвищення світловідбивної здатності рекомендується використовувати світлі тони, зокрема білий або світло-сірий. Наприклад, коефіцієнт відбиття світла для білих поверхонь становить 0,85–0,9, а для сірого або жовтого кольору – лише 0,4. Саме тому поверхні періодично піддаються побілці або фарбуванню світлими фарбами, що сприяє кращому розсіюванню світла по приміщенню.

Освітлювальні прилади мають відповідати вимогам безпеки праці та санітарним нормам. Наприклад, використання відкритих джерел світла (ламп розжарювання або люмінесцентних ламп із прозорими колбами) без захисної арматури заборонено. Також недопустимо встановлювати світильники з непрозорими відбивачами, які мають недостатній захисний кут – менше 15° без розсіювачів.

Перевага надається сучасним джерелам світла – зокрема, газорозрядним лампам, у тому числі дуговим люмінесцентним з покращеною колірною температурою, що дозволяють досягати кращої візуалізації процесів.

Світильники місцевого освітлення, незалежно від типу ламп, повинні бути оснащені непрозорими відбивачами з захисним кутом не менше 30°. Якщо джерело світла розташоване нижче рівня очей працівника, кут має становити не менше 10°, аби уникнути засліплення.

Для ручного пересувного освітлення, що застосовується у важкодоступних місцях, використовуються лампи зниженої напруги – у межах 12–36 В, що значно знижує ризик ураження електричним струмом. Конкретна напруга вибирається залежно від електробезпеки відповідного виробничого середовища.

3.4 Заходи з електробезпеки

Електротехнічне оснащення конвертерного цеху характеризується значним розмаїттям обладнання. До його складу входять синхронні та

асинхронні двигуни змінного струму, як високовольтні (понад 1000 В), так і низьковольтні (до 1000 В), а також апарати управління, енергетичні установки, внутрішньоцехові електромережі, силові щити, електрообладнання мостових і підвісних кранів, системи освітлення та електрифікований технологічний транспорт.

Ключовими елементами електрообладнання, пов’язаними з функціонуванням конвертера, є пічні трансформатори, вимикачі автоматичного типу, короткозамкнена електромережа, регулятори автоматизованого керування кисневою фурмою та інше спеціалізоване обладнання, необхідне для забезпечення безперервного циклу плавки.

Через значну кількість електроустановок, наявність електропровідного пилу, високий рівень температури в робочій зоні та підвищену вологість, киснево-конвертерний цех відноситься до категорії особливо небезпечних приміщень за класифікацією електробезпеки. Додаткову небезпеку становить можливість одночасного контакту персоналу з металевими елементами конструкцій і відкритими струмопровідними частинами електроустановок.

Джерелами потенційної загрози ураження електричним струмом є широкий спектр обладнання: електроприводи (разом із пусковою та регулювальною апаратурою), кранові системи, пересувні механізми, зварювальні установки, освітлювальні прилади, а також електричний ручний інструмент. Особливу увагу слід приділяти переносним електродвигунам, які використовуються у складі електроінструменту. У разі, якщо корпус такого двигуна випадково опиняється під напругою, через великий контактний майданчик створюється високий ризик тяжкого ураження електрострумом.

Нерідко небезпека виникає через відкриті клемні коробки електродвигунів із замкнутим корпусом. Якщо клеми, що з’єднують струмопровідні жили, не мають надійного захисту, то навіть випадкове доторкання до них може спричинити електротравму.

У конвертерному цеху з номінальною напругою до 1000 В використовується чотирипровідна система електропостачання з

глухозаземленою нейтраллю, яка забезпечує розподіл трифазного струму 380/220 В. Для мереж із напругою понад 1000 В застосовується трьохпровідна схема з ізольованою нейтраллю, що зменшує ймовірність замикання на землю.

Для гарантування електробезпеки впроваджується ціла низка технічних заходів і використовується захисне оснащення:

- ізолювальні штанги – призначені для виконання робіт під напругою з високовольтними роз’єднувачами;
- ізолювальні кліщі – використовуються при заміні плавких запобіжників;
- діелектричні килимки – виготовляються з спеціальної гуми: товщиною 3–5 мм для систем до 1000 В та 7–8 мм – для обладнання з напругою понад 1000 В.

З метою посилення загальної безпеки рекомендовано впроваджувати автоматичні системи відключення у разі короткого замикання, а також регулярно проводити профілактичні огляди електроустановок та навчання персоналу правилам безпечної експлуатації електроустаткування.

3.3 Заходи з пожежної та техногенної безпеки

Згідно з класифікацією за вибухо- та пожежонебезпечністю, кисневий конвертер, а також проліт розливання сталі належать до категорії А – найбільш небезпечної щодо ймовірності виникнення та розвитку пожеж або вибухів. До категорії Б відносяться об'єкти, де також існує підвищена пожежна небезпека, але з меншим рівнем вибуховості: сюди входить газоочисна установка конвертерного газу, міксерне відділення та зона завантаження. Відділення підготовки шихти класифікується як категорія Г, оскільки тут зберігаються горючі речовини в незначних кількостях, але основний процес не супроводжується активним горінням.

Вибухонебезпечні ситуації в цеху можуть виникати переважно через контакт розплавленого металу або шлаку з водою чи вологими твердими матеріалами. Також причиною стають інтенсивні хімічні реакції в процесі

продування конвертера, розкислення металу та під час розливання. Особливу небезпеку становлять вибухи у кисневих фурмах, при яких пошкоджується склепіння конвертера, а крізь отвори під тиском викидаються гарячий кокс та газоподібні продукти, що запалюються на повітрі, утворюючи факели полум'я.

Щоб запобігти поширенню вогню, у конструкції цеху використовуються негорючі будівельні матеріали. У точках входу газопроводів до підвальних рівнів обладнуються дренажні пристрої, які блокують проникнення газу до підземних приміщень.

Відстань до найближчої пожежної частини становить приблизно 4 км. У середині цеху передбачено протипожежні конструктивні бар'єри:

- стіни з межею вогнестійкості 2,5 години,
- перекриття з вогнестійкістю не менше 1 години,
- двері, люки, вікна і ворота – з вогнестійкістю 1 година.

Для своєчасного виявлення пожеж у зоні ризику встановлюються автоматичні пожежні сповіщувачі. У приміщеннях передбачено монтаж теплових і димових датчиків серії С2000-СМК. Біля евакуаційних виходів встановлюються ручні кнопкові сповіщувачі марки Болід ІПР-513-3А. Система сигналізації автоматично передає інформацію на пульт чергового персоналу і активує звукові й світлові сигнали оповіщення.

Для гасіння загорянь у місцях із електрообладнанням застосовуються автоматичні модульні установки аерозольного та порошкового пожежогасіння (АУП). Вони виявляють джерело загоряння, надсилають сигнал тривоги та автоматично подають вогнегасячий склад без втручання людини, ліквідовуючи пожежу на ранньому етапі.

Особливе значення має протипожежний захист кабельних трас – тунелів, колекторів і підвалів. Тут встановлюються:

- автоматичні системи пожежної сигналізації,
- вогнетривкі перегородки та блокуючі бар'єри,
- сенсорні теплові та димові сповіщувачі,
- захисна електропроводка та герметичні вводи.

Системи пожежогасіння в кабельних приміщеннях можуть бути газовими (із застосуванням інертних газів) або водяного туману, залежно від типу об’єкта і пожежної навантаженості.

Засоби пожежогасіння

Для оперативного реагування на загоряння використовуються такі типи вогнегасників:

Вуглекислотні вогнегасники:

ВВК-2 (аналог ВВ-2),

ВВК-5,

ВВК-8,

ВВК-25 (пересувний),

ВВК-80 (пересувний).

Пінні хімічні вогнегасники: ОХП-10 (застосовується для гасіння органічних речовин, мазуту, мастил та інших легкозаймистих рідин).

ВИСНОВКИ

1. У результаті проведеного аналізу сучасних технологій очищення конвертерних газів було розроблено й спроєктовано високоефективну систему газоочистки. До її складу входять: система газовідведення з повним допалюванням чадного газу до вуглекислого, випарний скрубер типу АКРП, горизонтальний електрофільтр моделі ЕГА, димосос і димова труба. За розрахунковими даними, ступінь очищення цієї системи становить 99,93 %**,** при остаточній концентрації пилу 19 мг/м³**.**

2. Розрахунки показали, що зростання площі осадження електрофільтра позитивно впливає на загальну ефективність уловлювання пилу. Оптимального рівня очищення (залишкова запиленість не перевищує 50 мг/м³) вдається досягти при активній площі осадження 8478 м²**.** Оскільки у проєкті передбачене повне допалювання конвертерного газу перед фільтрацією, отримана запиленість задовольняє нормативним вимогам. Подальше збільшення площі осадження підвищить вартість обладнання і капітальні витрати на будівництво системи.

3. Для підвищення енергоефективності процесу передбачено утилізацію теплоти конвертерних газів у котлах-утилізаторах типу ОКГ-250, що дозволяє отримувати водяну пару з продуктивністю 250 т/год**.** Уловлений пил із електрофільтра транспортується скребковими конвеєрами з бункерів фільтра в проміжний бункер. Далі пил надходить до камерного насоса, звідки за допомогою пневмотранспорту переміщується в загальний бункер-накопичувач. Надалі пил проходить цикл переробки: підготовка сировини (подрібнення), дозування та змішування компонентів, формування сирих окатишів, їхнє грохочення, сушіння, попередній нагрів і випал. Обсяг утилізованого пилу, враховуючи технологічні втрати, складає 26, 9 тис. т/рік**.**

4. У розділі, присвяченому охороні праці та техногенній безпеці, здійснено аналіз технології конвертерного виробництва з позиції впливу небезпечних та шкідливих чинників на персонал.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ВИКОРИСТАННЯ

1. Машини і агрегати киснево-конвертерних і електро-сталеплавильних цехів. URL: https://vukladach.pp.ua/MyWeb/manual/pidruchnuku13122023/Mahunu_i_agregatu_ztaleplavelnuh_cehiv/2_2/2_2.htm#%D0%BF2216 (дата звернення 02.05.2025).

2. Металургія : проблеми, теорія, технологія, якість : підручник / П. С., Харлаки, Г. С. Єршов, В. П. Тарасов [та ін.]. Донецьк : Норд-комп'ютер, 2005. 724 с.

3. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підруч. для металург. спец. вищ. навч. закл. /Д. Ф. Чернега [та ін.]. Київ : Вища шк., 2006. 503 с.

4. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія виплавки сталі» (розд. «Конвертерні процеси») для студентів спеціальності 6.050400 «Металургія чорних металів» (усіх форм навчання) / Полєтаєв В. В. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2012. 104 с.

5. Верховлюк А. М., Нарівський А. В., Могилатенко В. Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посіб. / за ред. В. Л. Найдека. Київ : Вініченко, 2016. 224 с.

6. Воденніков С. А., Тарасов В. К., Воденнікова О. С. Конструкції агрегатів чорної металургії : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 192 с.

7. Каталог продукції ТОВ «Беленергомаш-БЗЕМ»: веб-сайт. URL: www.truboprovody.com/upload/iblock/06a/util.pdf (дата звернення 03.12.2018).

8. Павлюк Ю.С. Повітродувні та насосні станції: Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи для студ. ЗДІА спец. 7.090401 спец. "Екологіч. аудит та охорона навколиш. середовища" всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2007. 30 с.

9. Кожемякін Г.Б. Теоретичні основи та техніка захисту повітряного басейну: метод. вказівки до виконання курсового проекту та лабораторних робіт

для студ. ЗДІА напряму 6.040106 "Екологія, охорона навкол. середовища та збалансоване природокористування".Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 115 с.

10. Державні санітарні норми. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку/ М-во охорони здоров`я України. Головне сан.-епідем. упр. Київ, 1999. 34 с.

11. Державні санітарні норми. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень/ М-во охорони здоров`я України. Головне сан.-епідем. упр, офіційне видання. Київ, 1999. 15 с.