

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 )

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної бакалаврської роботи

рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ *перший (бакалаврський) рівень* \_\_\_\_\_

на тему Реконструкція системи очищення технологічних газів киснево-конверторного цеху

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1830-з

Шестопалова А.А.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

183 Технології захисту навколишнього середовища

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

Технології захисту навколишнього середовища

(шифр і назва)

Керівник Кожемякін Г.Б.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя - 2024 року

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти перший бакалаврський рівень  
перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища  
(шифр і назва)

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МТЕТБ  
Ю.О. Белоконь

“\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2024 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ**

Шестопаловій Анастасії Андріївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Реконструкція системи очищення технологічних газів киснево-конверторного цеху

керівник роботи (проекту) доц., к.т.н. Кожемякін Геннадій Борисович  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “26” 12 2023 року № 2212-с

2. Строк подання студентом роботи (проекта) 23.06.2024

3. Вихідні дані до роботи (проекта) Витрата технологічних газів - 65 тис нм<sup>3</sup>/год, Початковий вміст пилу - 165,0 г/м<sup>3</sup>, Температура газів- 1700°С,

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Технологія плавки сталі в конверторі. Джерела утворення технологічних викидів. Аналіз існуючих схем очистки технологічних газів. Обґрунтування способу очистки технологічних газів. Розрахунок споруджень систем очистки технологічних газів. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення, презентаційний матеріал: План та розріз киснево-конверторного цеху. Кисневий конвертор. Технологічна схема очистки газу. Основні апарати схеми очистки газів. Охорона праці.

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>Розділ 1</i>	<i>Кожемякін Г.Б., доцент</i>	
<i>Розділ 2</i>	<i>Кожемякін Г.Б., доцент</i>	
<i>Розділ 3</i>	<i>Кожемякін Г.Б., доцент</i>	
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Белоконь Ю.О. зав.каф.</i>	

7. Дата видачі завдання 02.02.2024**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Загальна частина</i>	<i>02.2024-03.2024</i>	
2	<i>Спеціальна частина</i>	<i>03.2024-04.2024</i>	
3	<i>Охорона праці</i>	<i>05.2024</i>	
4	<i>Креслення</i>	<i>05.2024</i>	

Студент \_\_\_\_\_ А.А. Шестопалова  
 ( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_ Г.Б. Кожемякін

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційний проект для здобуття ступеня вищої освіти бакалавр: 93 с., 11 табл., 17 рис., 29 джерел.

АЕРОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК, ВИПАРНИЙ СКРУБЕР, КИСНЕВИЙ КОНВЕРТЕР, КИСНЕВО-КОНВЕРТОРНЕ ВИРОБНИЦТВО, КОТЕЛ-УТИЛІЗАТОР, РУКАВНИЙ ФІЛЬТР, СУХЕ ОЧИЩЕННЯ, СХЕМА ГАЗООЧИЩЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА

Об'єкти дослідження – ділянка газоочищення конверторних газів;

Предмет дослідження – система очищення конвертерного газу;

Мета роботи – на основі вивчення апаратурно-технологічних схем газоочисних установок, які експлуатуються у промисловому виробництві, переробці та утилізації відходів виробництва, проаналізувати умови і причини виникнення промислових викидів, технологічні процеси по локалізації викидів та розробити технологію очищення газів з метою запобігання забруднення технологічними газами навколишнього середовища, провести розрахунок обладнання, що використовується в процесі очистки, а також аеродинамічний розрахунок газового тракту.

Проаналізовані джерела викидів конвертерного виробництва, наведено їх фізичні та хімічні властивості. Виконаний аналіз існуючих технологій очищення газів киснево-конвертерного виробництва. Проведено розрахунки, за результатом яких було підібрано технологічне обладнання – апарати для очищення технологічного газу, а саме : котел-утилізатор ОКГ-180, випарний скруббер АКРП-3,8, рукавний фільтр ФРІР 850х2. Виконано розрахунок аеродинамічного тракту, було підібрано тягодуттєвий пристрій (ДН-26Ф). Обрано апарати для утилізації газу та вловленого пилу.

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	8
1.1 Будова та характеристика конвертерного цеху	8
1.2 Технологія конверторного виробництва	14
1.2.1 Шихтові матеріали	16
1.2.2 Завантаження шихтових матеріалів до конвертерів	17
1.2.3 Хід плавки	20
1.3 Конструкція кисневого конвертера	26
1.4 Кількісні та якісні характеристики газових викидів	31
1.5 Технології очищення газових викидів конверторного виробництва	36
1.5.1 Схеми газовідвідних трактів	36
1.5.2 Способи відведення газів від конвертера	38
1.5.3 Схеми очищення конвертерних газів	43
1.6 Обґрунтування та вибір очистки газу	50
2 ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ	52
2.1 Вибір утилізатора тепла конверторних газів	52
2.2 Розрахунок випарного скрубера типу АКРП	53
2.3 Розрахунок рукавного фільтру	60
2.4 Вибір обладнання для вивантаження вловленого пилу	65
2.5 Аеродинамічний розрахунок газовідвідного тракту	67
2.6 Вибір тягодуттєвого обладнання	72
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	75
3.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища	75
3.2 Заходи щодо поліпшення умов праці	78
3.3 Виробнича санітарія і гігієна	81
3.3.1 Мікроклімат виробничих приміщень	81
3.3.2 Опалення та вентиляція	82
3.3.3 Освітлення	83

3.3.4 Санітарно-побутові приміщення	84
3.4 Об'ємно-планувальні рішення будівель і споруджень цеху	85
3.5 Електробезпека в конвертерному виробництві	86
3.6 Заходи щодо пожежної безпеки	87
ВИСНОВКИ	90
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ВИКОРИСТАННЯ	91

## ВСТУП

Промисловими, енергетичними та сільськогосподарськими комплексами щороку викидається понад мільярд тонн зважених і газоподібних домішок, що завдають екологічних збитків довкіллю та економічних втрат суспільству. За останні 100 років в атмосферу потрапило 1 млн. т кремнію; 1,5 млн. т миш'яку; 0,9 млн. т кобальту та багато інших шкідливих речовин. Зараз в атмосфері знаходиться майже 20 млн. т зважених частинок. При спалюванні палива звільняється значна кількість теплоти, яка розсіюється в навколишньому середовищі і суттєво змінює температурний режим та динаміку процесів, що протікають в атмосфері. Значна забрудненість атмосфери призводить до збільшення захворювань людей та зниження біологічної активності флори й фауни [1].

Металургійна галузь є однією з найзабруднювальних галузей господарства, викиди якої від стаціонарних джерел забруднення досягають 38 % загальної кількості забруднювальних речовин. На підприємства чорної металургії припадає близько 15 % всіх промислових викидів в атмосферу пилу, 8-10 % – викидів діоксиду сірки, 10-15 % – загального обсягу споживання води [2].

Тому перед вченими, конструкторами, будівельниками, працівниками, які експлуатують металургійне обладнання, тобто перед усіма учасниками конвеєра «наука - виробництво» стоїть завдання так організувати нове виробництво або реконструювати старі підприємства, щоб вони не виділяли відходів і не наносили шкоди навколишньому середовищу.

В даній роботі проаналізовані механізми охолодження та очищення технологічних газів при виробництві сталі киснево-конверторним способом в сталеплавильних цехах.

## 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

### 1.1 Будова та характеристика конвертерного цеху

Кислородно-конвертений цех це досить складна система пов'язаних між собою будівель і споруд, у якому зберігаються запаси шихтових матеріалів, здійснюється їх подання і загрузка в конвертер, виплавка та розливка сталі, прибирання продуктів плавки. Цех складається з основних виробничих приміщень та допоміжних, які можуть розташовуватись як в різних приміщеннях, так і в одному прольоті будівлі.

Розглянемо конвертерний цех з двома конвертерами місткістю 300-350 т. До складу такого цеху входять головний (конвертерний) корпус та ряд відділень, що тісно пов'язані з ним єдиним технологічним процесом і розташовані в окремих будівлях. До них відносяться відділення: перелив чавуну, металошихтове, розливне, шлакове, димососне.

До допоміжних приміщень цього цеху відносяться: розливання злитків, охолодження, чищення та змащення виливниць, підготовки складів.

Рідкий чавун надходить до конвертерного цеху в пересувних міксерах місткістю 420 і 150 т. Перші служать для доставки чавуну по внутрішньозаводських коліях з доменного цеху до конвертерного, другі — по залізничній магістралі із сусіднього заводу. У відділенні переливу чавун із міксерів зливається у заливні ковші, які самохідними чавуновозами вантажопідйомністю 350 т по чавуновозній траншеї подаються до головного корпусу. Також тут виконуються допоміжні операції зважування металу на платформних вагах, взяття проб та замір температури рідкого чавуну. Відділення обладнане системами видалення газів та графіту. Крім спеціалізованого відділення, у головному корпусі передбачена ділянка переливу чавуну з пересувних міксерів у заливні ковші.

Шихтове відділення магнітних матеріалів призначене для прийому та зберігання запасу брухту на 6 діб, заповнення совків, їх зважування та встановлення на скраповоз. Лом доставляють залізничним транспортом та розвантажують у п'ять приймальних бункерах. Розвантажувальні та вантажні операції виконують чотирма магніто-



грейферними кранами вантажопідйомністю 15/15 т, переміщення совків краном вантажопідйомністю 180/50 т, розворот порожніх і завантажених совків краном з поворотним візком вантажопідйомністю 190 т. Шихтове відділення пов'язане з головним корпусом скраповозною естакадою закритого типу, якою скраповоз доставляє навантажені совки безпосередньо на робочий майданчик конвертерів.

Відділення сипких матеріалів є приймально-завантажувальною станцією конвеєрного тракту подачі шлакоутворювальних матеріалів на головний корпус. Матеріали доставляють у відділення автосамоскидами та розвантажують у вісім приймальних бункерів місткістю 116 м<sup>3</sup> кожний. Похилий конвеєрний тракт, яким матеріали надходять із шихтового відділення у видаткові бункери головного корпусу, утворених двома паралельними стрічковими конвеєрами завдовжки по 48 м, поміщеними у закриту галерею. Для зменшення виділення пилу при транспортуванні вапна передбачено попереднє відсівання. Відділення забезпечене системою видалення пилу та збирання пилу в окремий бункер з їх відвантаженням цементовозом.

План та розріз головного корпусу цеху з двома конвертерами місткістю 300-350 т наведено на рисунок 1.1.

Корпус розділений на сім прольотів: конвертерний I, завантажувальний II, шлаковий III, підготовки ковшів IV, сипучих матеріалів V, котлів-охолоджувачів VI та енергетичний VII. У конвертерному прольоті виділено технологічну ділянку IX підготовки феросплавів, а у завантажувальному прольоті чавуну, ділянку VIII переливу.

Самохідні чавуновози 16 переміщуються двома паралельними шляхами чавуновозної траншеї, що йде з відділення переливу чавуну в завантажувальний проліт II головного корпусу.

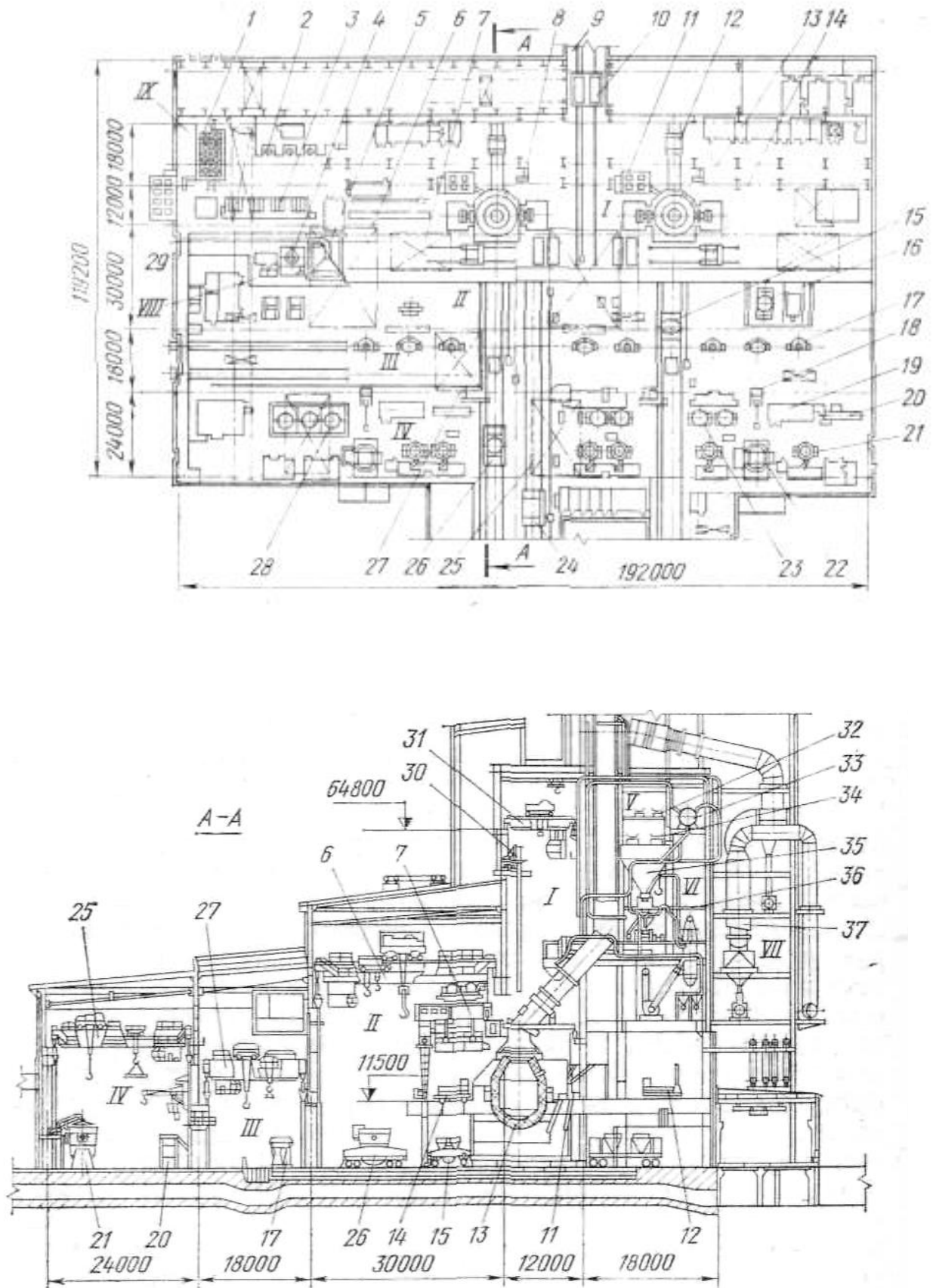


Рисунок 1.1 - План (а) та розріз (б) киснево-конвертерного цеху з двома конвертерами місткістю 300-350 т

Подачу заливальних ковшів місткістю 350 т і злив чавуну в конвертер 13 здійснюють заливальними кранами 6 вантажопідйомністю 400 + 100/20 т. Переливати з пересувного міксера в заливний ківш можна безпосередньо в завантажувальному прольоті на ділянці VIII шлях 29, стенд 4 для заливного ковша і пересувний витяжний зонд 5.

План та розріз головного корпусу цеху з двома конвертерами місткістю 300-350 т наведено на рисунку 1.1.

Скраповоз 10 переміщається по рейковому шляху, прокладеному по скраповозній естакаді 9 і по робочому майданчику конвертерного прольоту 1. Зняття навантажених совків зі скраповоза, їх установку на стелаж, переміщення і завантаження брухту в конвертер виконують завантажувальними машинами 7 напівпортального типу, які захоплюють два совки одночасно, місткість яких по 50 м<sup>3</sup> кожен. Вантажопідйомність машини становить 2×130 т.

Сипучі матеріали подаються з шихтового відділення у верхню частину прольоту V двома похилими конвеєрами 32 і розподіляються по видатковим бункерам 35 двома пересувними реверсивними конвеєрами 34. Система дозування і завантаження 36 забезпечує подачу зважених порцій різних шлакоутворювальних матеріалів. Кисень подається в конвертер за допомогою машини 30, з двома кисневими фурмами. При ремонтних роботах використовується мостовий кран 31.

Плавки з конвертерів видаються в сталерозливні ковші, встановлені на сталевозах 26, які по коліях, покладених у сталевозних траншеях, переміщуються в відділення розливу. Шлак з конвертера зливається в ковші самохідних чавуновозів 15 і передається в шлаковий проліт III, в якому ковші зі шлаком переставляються на збиральні шлаковози, що подаються локомотивом до шлакового відділення. Для заміни самохідних чавуновозів та сталевозів передбачено передавальний візок 24. Основне обладнання шлакового прольоту — крани 27 ливарного типу вантажопідйомністю 180/50 т і стенди 17 для встановлення шлакових ковшів.

Технологією виробництва передбачено подання в сталерозливні ковші феросплавів у твердому нагрітому та рідкому станах. Феросплави готують на спеціалізованій ділянці IX.

У головний корпус феросплави певної кускуватості подають автомобільним транспортом в контейнерах, що саморозвантажуються. Мостовим краном через вікно у робочому майданчику контейнери піднімають і розвантажують у видаткові бункери 1, попарно забезпечені ваговими дозаторами. Розплавляють феросплави у трьох індукційних печах 2. Рідкі феросплави випускають із печі в ківш візки, з ваговимірювальним пристроєм. транспортують до конвертера і зливають по футерованій течці в сталерозливний ківш. Тверді феросплави нагрівають у восьми нагрівальних печах 3 місткістю 3 т кожна і транспортують автонавантажувачем до ваг-дозаторів. Вагову порцію феросплавів направляють у сталерозливний ківш системою течок 11.

Для розплавлення алюмінію, що подається в сталерозливний ківш, використовують індукційні печі 8. Для обслуговування сталевипускного отвору та взяття проб металу з конвертера служать самохідні майданчики 12 і 14, що переміщуються рейковими коліями на робочому майданчику.

У прольоті підготовки ковшів ремонтують футеровку сталевих ковшів. Основне обладнання прольоту механізовані стенди 22 для повороту ковшів, машини 18 для ломки футеровки, тримісний стенд 28 для ремонту і кладки футерування, стенди 23 і 17 для установки сталерозливних, заливальних і шлакових ковшів, стенди 21 для сушіння сталі стелаж 19 для набір стопорів і сушило 20. Проліт обслуговують крани 25 ливарного типу вантажопідйомністю 125/30 т.

У прольоті VI розташовані котли-охолоджувачі конвертерних газів 33, що відходять, з системою трубопроводів, в енергетичному прольоті VII — обладнання для очищення газів 37 і панелі систем управління електроприводами.

Будівля розливного відділення розділена на два однотипні розливні прольоти, в яких сталь розливають у виливниці, встановлені на візках. Подачу сталерозливних ковшів зі сталлю на сталевозах з конвертерного корпусу здійснюють по двох сталевих траншеях, прокладених перпендикулярно прольотів. Для ведення розливу вздовж кожного прольоту влаштовані розливні майданчики, обладнані пересувними консольно-поворотними кранами У кожному прольоті встановлено по два розливні крани вантажопідйомністю 450 + 100/20 т. Для подачі та відправлення складів з виливницями

вздовж прольотів прокладено рейкові колії з торцевими та центральними в'їздами до будівлі. Допоміжне обладнання складається із стендів для встановлення шлакових та сталерозливних ковшів, установок для розігріву та охолодження ковшів.

У шлаковому відділенні здійснюють первинну переробку конвертерного шлаку. Склад чавуновозів подають локомотивом на естакаду і кантуванням ковшів шлак виливають на відкриті майданчики. Після охолодження водою шлак розробляють розпушувачами та бульдозерами на базі гусеничних тракторів. Для вантажу та транспортування шлаку у відвал використовують екскаватори та автосамоскиди.

У цеху з конвертерами місткістю 300-350 т у системі подачі чавуну застосовуються пересувні міксери та самохідні чавуновози, широко використовується автомобільний транспорт для транспортування сипучих матеріалів, феросплавів та застосовуються автоматизовані системи управління технологічним процесом та виробництвом.

Для киснево-конверторних цехів, існуючих нині, не знайдено загальновизнаних рішень з проектування, характерне різноманіття компоновки відділень, розташування основних вантажопотоків, улаштування головної будівлі, організації робіт та устаткування, що використовується [3].

## 1.2 Технологія конверторного виробництва

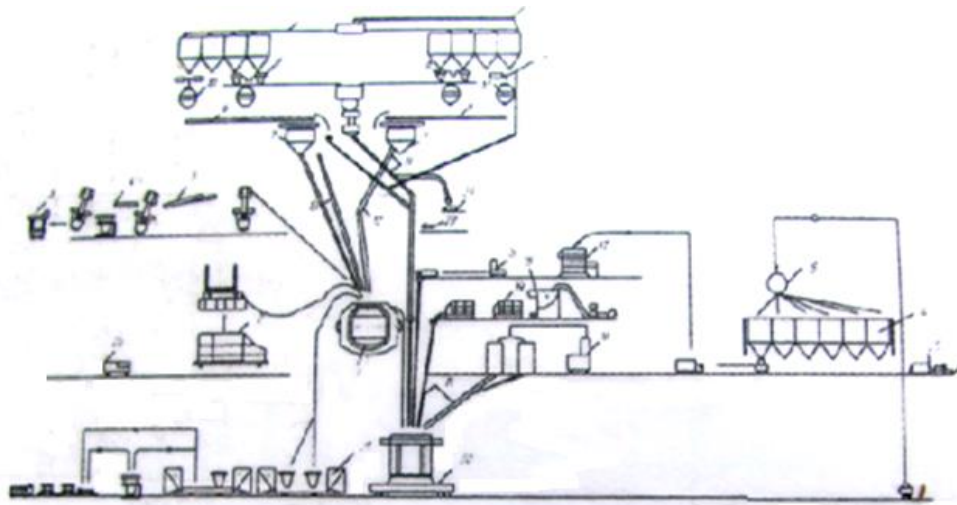
Киснево-конвертерний процес є одним з видів переділу рідкого чавуну в сталь без витрати пального шляхом продування чавуну в конвертері технічно чистим киснем. Широке поширення конвертерне виробництво із застосуванням кисню набуло лише після розробки процесу продування зверху, через водоохолоджувану фурму.

Процес займає основну роль серед існуючих засобів масового виробництва стали. Такий успіх киснево-конвертерного процесу пояснюється можливістю переробки чавунів практично будь-якого складу, використанням скрапу від 10 до 30%, можливістю виплавки широкого сортаменту сталей, включаючи леговані, високою продуктивністю, малими витратами на будівництво, великою гнучкістю та високою якістю продукції [4]. Совки зі бруктом із спеціального скрапного прольоту передають у завантажувальний проліт на скраповозах. Завантаження брухту в конвертер здійснюється кранами. При цьому можливі два основні способи використання кранів:

1. для завалки брухту приймають крани, що переміщуються загальним підкрановим шляхам з кранами для заливки чавуну;
2. завалку брухту виробляють напівпортальними кранами, що працюють незалежно від кранів заливки.

Чавун із доменного цеху подається у звичайних ковшах з подальшим переливом у стаціонарний міксер або ковшах міксерного типу. При використанні стаціонарних міксерів ківш із чавуном подають на установку для завантаження шлаку краном. Після видалення шлаку чавун зливають у міксер із міксера чавун випускається в ківш. Доставка чавуну конвертером можлива з використанням і без використання чавуновозу. У першому випадку ківш при випуску чавуну встановлений на чавуновозі, що знаходиться на терезах.

Схема виробництва та характеристика технологічних операцій  
конвертерного виробництва:



- 1 - конвеєр, 2 - совок з брухтом, 3 - чавуновозний ківш, 4 - машина для скачування шлаку, 5 - пристрій для вимірювання температури чавуну;  
6 - конвеєр для подачі сипких матеріалів у конвеєр, 12 та 13 - киснева та вимірювальна фурми, 14 - бункер для феросплавів, 15 - контейнер завантаження бункерів для феросплавів, 16 - навантажувач; 17 - піч для нагрівання феросплавів, 18 - електропіч для розплавлення алюмінію,  
19 - машина для транспортування феросплавів, 20 - сталевоз, 21 - шлаковоз, 22 - машина для відсічення шлаку, 23 - цементовоз для вапняного пилу,  
24 - промисловий збиральна машина.

Рисунок 1.2 - Технологічна схема роботи конвертерного цеху

У другому випадку ківш при випуску чавуну знаходиться або на крані, який оснащений терезами, або встановлений краном на ваги під носом міксера.

З бункерів матеріали через віброживильники у ваги – дозатори завантажуються у конвертер. У деяких цехах поряд з віброживителями застосовують віброгрохоти, що забезпечують відсівання дрібниць (повістки) перед присадкою її в конвертер. Феросплави надходять у цех конвеєрним транспортом або в контейнерах, що саморозвантажуються. Видають феросплави з бункерів аналогічно сипучим – через віброживильники та ваги. Зважені феросплави подаються прямо в ківш під час випуску плавки. Продування киснем та нейтральними газами в сучасних цехах обов'язкове. Над кожним конвертером розміщують зазвичай дві кисневі фурми: робочу та резервну. У

більшості сучасних цехів інтенсивність продування 3-4 м<sup>3</sup>/хв·т. Газовідвідний тракт призначений для уловлювання охолодження та очищення газів.

### 1.2.1 Шихтові матеріали

Шихтові матеріали киснево-конвертерного процесу складаються з чавуну та скрапу (сталевого брухту), флюсів (вапняку, вапна, бокситу, плавикового шпату), охолоджувачів (залізної руди, окалини тощо), легуючих та розкислювачів. Крім зазначених матеріалів, іноді застосовують агломерат, рудо-вапняні брикети, марганцеву руду. Частка чавуну в металевій частині шихти коливається від 70 до 100%. Зазвичай застосовують чавун наступного складу: 3,9-4,3% С; 0,5-1,0% Si; 0,7-1,7% Mn; 0,03-0,06% S; 0,015-0,15% P.

Склад чавуну значною мірою впливає на перебіг процесу, якість сталі, стійкість футерування та техніко-економічні показники роботи.

Значне підвищення кремнію в чавуні викликає збільшення витрати охолоджувачів та флюсуючих. При цьому підвищується кількість шлаку та вміст SiO<sub>2</sub> у ньому, збільшуються втрати заліза зі шлаком та викидами. Відповідно знижується вихід придатного та стійкість футерування. Під час продування чавуну з високим вмістом кремнію погіршуються умови для видалення сірки та фосфору. Разом з тим не можна допускати занадто низьку

концентрацію кремнію в чавуні, оскільки сповільнюється розчинення вапна, подовжується безшлаковий період на початку плавки. Це призводить до металізації та прогарів фурми та погіршує процес видалення сірки у зв'язку з малою кількістю шлаку. Оптимальним вмістом кремнію в чавуні слід вважати 0,3-0,5% (за деякими даними, 0,4-0,8%) при використанні як охолоджувач залізної руди. При охолодженні скрап вміст кремнію в чавуні може бути збільшено, так як загальний вміст кремнію в металі знижується внаслідок розведення чавуну брухтом.

Кількість марганцю в чавуні вибирають в залежності від вмісту сірки в шихтових матеріалах і сортаменту сталі, що виплавляється. Зі збільшенням кількості марганцю в



чавуні дещо знижується вміст сірки в готовій сталі, покращуються умови шлакоутворення. Однак при цьому збільшується чад металу і знижується вихід придатного. Чавун для кисневих конвертерів повинен містити марганець у межах 0,7-1,1%. Кількість сірки в чавуні не бажано мати в межах 0,04-0,05%, але не більше 0,07%. Зміст фосфору в чавуні має перевищувати 0,15%. Збільшення фосфору ускладнює технологію переділу.

Скрап, що застосовується в кисневому конвертері, повинен бути малогабаритним, містити мінімальну кількість шкідливих домішок і іржі. Великі шматки брухту небажані, оскільки можуть пошкодити футерування при завантаженні. Легковісний скрап збільшує тривалість завалки. Найкращим брухтом вважаються відходи прокатних цехів.

Вапно застосовують для формування рідкорухливого шлака. Якість її значною мірою визначає хід шлакоутворення, ступінь дефосфорації та десульфурзації та основні показники киснево-конвертерної плавки. Вапно повинно бути свіжообпаленим і мати рівномірний склад з розміром шматків 10-60 мм.

Кількість вологи вапна має бути мінімальною, вміст сірки не більше 0,1-0,2%, кремнезему не більше 2,5-3%. Дотримання перерахованих вимог сприяє прискоренню процесу шлакоутворення, зменшенню виносу вапна під час продування і дозволяє отримувати сталь з низьким вмістом сірки та фосфору. Боксит і плавиковий шпат використовують як розріджувачі шлаку.

Боксит містить 37-50%  $Al_2O_3$ , 10-20%  $SiO_2$  і 12-25%  $Fe_2O_3$ . Його застосовують вкрай рідко, в основному при дефіциті або відсутності плавикового шпату. Високий вміст  $SiO_2$  викликає зниження основності шлаку і стійкості футерування. Більш ефективним розріджувачем є плавиковий шпат. Він містить 5%  $SiO_2$ , 1-2%  $CaCO_3$ , решта  $CaF_2$  [5].

### **1.2.2 Завантаження шихтових матеріалів до конвертерів**

Система подачі матеріалів до конвертерів включає ємкості для прийому матеріалів, з яких вони транспортуються в бункери, встановлені над конвертерами.

Матеріали доставляються до ємкостей автомашинами. Металобрухт за допомогою кранів у совках переноситься до конвертерів зі скрапного двору. Рідкий чавун надходить із міксера в заливальний ківш у якому попередньо піддається десульфурації.

Схема подачі матеріалів у конвертер включає систему підведення кисню й азоту до цапф конвертера, устаткування для подачі палива, бункера з порошковим вапном та іншими матеріалами. Наповнення бункерів, їх спорожнювання, дозування вапна та інших матеріалів, що вводяться в конвертер зі струменем кисню або азоту, виконується автоматично. Система подачі палива складається з резервуара з паливом, насоса і розподільника палива по фурмах. Основні показники конвертерних процесів із донною і верхньою кисневою продувкою у порівнянні наведені в табл. 1.1. У порівнянні з конвертерами верхньої продувки частка брухту в металевій шихті конвертерів з донним дуттям дещо менша, а частка чавуну більш висока. Це обумовлено незначними кількостями окисленого заліза і ступенем допалювання CO до CO<sub>2</sub>. Розрахунок матеріального балансу, наведений в Табл. 2, проводили для чавунів складом: 4,2% C; 0,8% Si; 0,8% Mn і 0,15% P. Розрахунок виконаний у ЦНДІЧМ на основі показників 10-тонного конвертера верхнього і донного дуття. Матеріальний баланс свідчить про більш високий вихід металу при донній продувці набагато менших втратах заліза з газами, що відходять [6].

Таблиця 1.1 – Основні показники киснево-конвертерних процесів з верхньою і донною продувкою в 250-тонних конвертерах.

Показники на 1 т сталі	Конвертер	
	Верхнього дуття	Донного дуття
Витрати, кг		
чавуну	830,9	830
брухту	298,2	268
метлошихти	1129,1	1098
кускового вапна	108	-
порошкового вапна	-	89,3
плавикового шпату	1,2	-
Витрат, м <sup>3</sup>		
кисню	56	52,8
азоту	-	20
природного газу	-	4,3
(Fe <sub>2</sub> O), %	13,2	5,0
Кількість шлаку, кг	166,6	121,5
[C] в кінці продувки, %	0,1	0,1
викиди, кг	15	112
кількість заліза у викидах, %	60	60
кількість металу в каміні, кг	16,9	13,3
кількість пилу в газах, що відходять, кг	14,6	4,5
вміст заліза у пилу, %	75,1	84
вихід придатного металу	88,6	91,1

### 1.2.3 Хід плавки

Завантаження конвертера починається із завалки сталевого брухту. Його завантажують у нахилений конвертер через горловину за допомогою завалочних машин лоткового типу. Далі заливають рідкий чавун, конвертер встановлюють у вертикальне положення, вводять фурму та включають подачу кисню з чистотою не менше 99,5%. Одночасно з початком продування завантажують першу порцію шлакоутворювальної та залізної руди (40-60% від загальної кількості).

Решту цих матеріалів подають у конвертер у процесі продування однією або декількома порціями, найчастіше через 5-7 хв після початку продування. На процес рафінування значний вплив мають положення фурми (відстань від кінця фурми до поверхні ванни) і тиск кисню, що подається. Зазвичай висота фурми підтримується в межах 1,0-3,0 м, тиск кисню 0,9-1,4 МПа. Оптимальне положення фурми встановлюють експериментально. При цьому необхідна висока швидкість обезуглерожування та шлакоутворення та ведення продування без викидів. Правильно організований режим продування забезпечує хорошу циркуляцію металу та його перемішування зі шлаком. Останнє у свою чергу сприяє підвищенню швидкості окислення вуглецю, кремнію, марганцю, фосфору, що містяться в чавуні. На процес шлакоутворення та швидкість окислення домішок впливає глибина проникнення кисневого струменя в метал, який залежить від тиску та витрати кисню, що подається через фурму. З багатьох досліджень відомо, що, змінюючи глибину проникнення, можна керувати розподілом кисню між металом і шлаком. Так, збільшення глибини проникнення (підвищення тиску кисню та зниження відстані між торцем фурми та ванною) сприяє збільшенню кількості кисню, що засвоюється металом. Це призводить до прискорення процесу окиснення домішок. Водночас зменшується надходження кисню до шлаку, що негативно впливає на розчинення вапна, ускладнює шлакоутворення.

Зниження глибини проникнення сприяє збільшенню поверхні контакту кисню зі шлаком, покращенню умов шлакоутворення, але знижує швидкість окиснення вуглецю та інших елементів.

Зазвичай на початку продування фурму розміщують високо над ванною, а розподіл кисню між металом і шлаком регулюють тиском кисню, що подається.

Всередині плавки фурму опускають можливо ближче до поверхні ванни.

Важливим моментом у технології киснево-конвертерного процесу є шлакоутворення. Шлакоутворення значною мірою визначає хід видалення фосфору, сірки та інших домішок, впливає на якість сталі, що виплавляється, вихід придатного та стійкість футерування. Основна мета цієї стадії плавки полягає в швидкому формуванні шлаку з необхідними властивостями (основністю, рідкорухливістю і т. д.). Складність виконання цього завдання пов'язана з високою швидкістю процесу (тривалість продування 14-24 хв). Формування шлаку необхідної основності та із заданими властивостями залежить від швидкості розчинення вапна в шлаку.

Склад первинного шлаку значною мірою впливає швидкість розчинення вапна. Розчинення вапна прискорюється зі збільшенням вмісту оксидів заліза (іноді марганцю) у шлаку. Присутність оксидів заліза сприяє покращенню умов змочування вапна шлаком (зменшується крайовий кут  $\theta$ , посилюється проникнення шлаку в пори та тріщини шматочків вапна) та утворення легкоплавких розчинів та феритів кальцію. Для отримання шлаку підвищеної окисленості в конвертер присаджують залізну руду (іноді марганцеву) і застосовують описаний вище спосіб продування при підвищеному положенні фурми.

При високому вмісті кремнію в чавунах і відповідно в первинних шлаках на поверхні шматків вапна утворюється щільна оболонка ортосилікату кальцію  $(\text{CaO})_2\text{-SiO}_2$  з температурою плавлення  $\sim 2130^\circ\text{C}$ , яка перешкоджає подальшому розчиненню вапна.

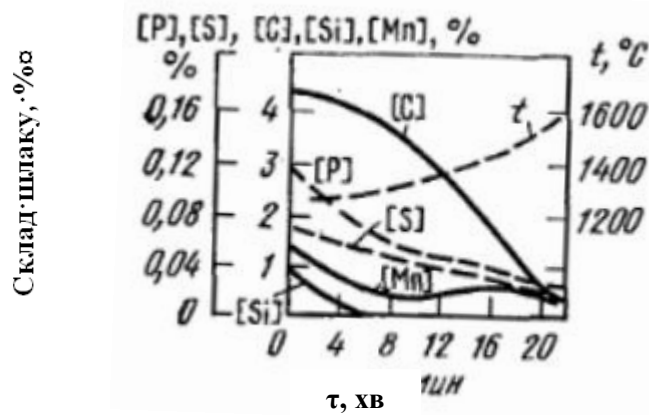


Рисунок 1.3 - Зміна складу металу в процесі плавки в кисневому конвертері

Для розчинення цієї оболонки необхідно додавати руду та флюси (плавиковий шпат або боксит).

Ранньому формуванню основного шлаку сприяє наявність первинної реакційної зони (поверхня дотику струменя кисню з металом) з температурою до 2500°C. У цій зоні вапно піддається одночасному впливу високої температури та шлаку з підвищеним вмістом оксидів заліза. Кількість введеної на плавку вапна визначається розрахунком і залежить від складу чавуну і вмісту  $\text{SiO}_2$  в руді, бокситі, вапні та ін. шпату 0,15-1,0%. Характер зміни складу шлаку в процесі продування в кисневому конвертері ілюструється на рисунку 1.3.

Основність кінцевого шлаку  $\text{CaO/SiO}_2$  має бути не менше 2,5. Склад кінцевого шлаку залежить від складу чавуну та вмісту вуглецю в готовій сталі та інших факторів і знаходиться в межах: 6-12% FeO; 14-22%  $\text{SiO}_2$ ; 43-50% CaO; 7-14% MnO; 4-8% MgO; 2,5-4,0%  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Через низьку окисленість шлаку (менше 5% FeO) протягом майже всієї продування умови для видалення фосфору не сприятливі. Лише в кінці продування при вмісті вуглецю близько 0,05% окиснення шлаку посилюється (зміст FeO у шлаку досягає 15-18%) і фосфор починає інтенсивно переходити в шлак. У зв'язку з цим для одержання сталі з низьким вмістом фосфору необхідно окислювати вуглець до низьких значень; при виплавці середньо-і високовуглеродистих сталей потрібно науглерожування металу після продування [7].

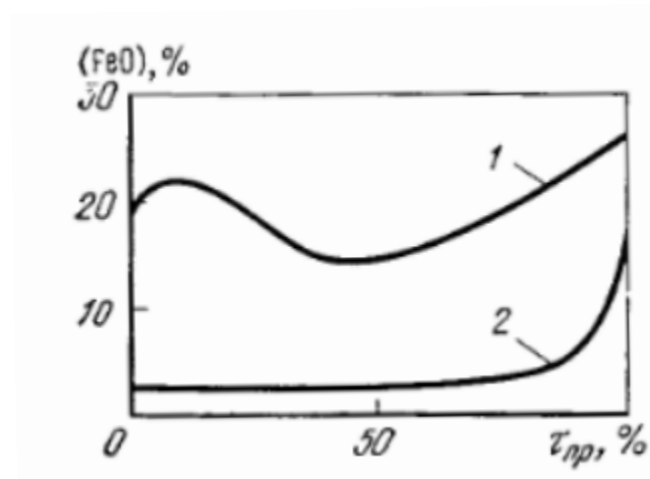


Рисунок 1.4 - Залежність окисленості шлаку (змісту FeO) при верхній (1) і донній (2) продуванні від тривалості продування при верхній (1) і донній (2) продуванні

Окислення домішок у кисневому конвертері може відбуватися безпосередньо газоподібним киснем або киснем, розчиненим у металі та шлаку. На ділянках з великою швидкістю газу-окислювача процес окислення лімітується перенесенням домішок з об'єму ванни до поверхні, відбувається повне окислення поверхневих шарів металу. Оскільки домішки не встигають надходити до зони реакції, то окислення металу відбувається з утворенням переважно оксидів заліза, оскільки вміст заліза в металевій ванні близько 100%.

Окислення металу здійснюється через шлакову фазу. Спочатку окислюється залізо  $2 [\text{Fe}] + \{\text{O}_2\} = 2 (\text{FeO})$ .

FeO, що утворюється в результаті циркуляції, переноситься в шлак. Процес збагачення металу киснем можна записати як  $(\text{FeO}) = [\text{Fe}] + [\text{O}]$ .

Розчинений у металі кисень витрачається на окислення домішок чавуну:  $[\text{Si}] + 2[\text{O}] = (\text{SiO}_2)$ ;  $[\text{Mn}] + [\text{O}] = (\text{MnO})$ ;  $[\text{C}] + [\text{O}] = \{\text{CO}\}$ . FeO шлаку витрачається на окислення домішок на кордоні метал – шлак за реакціями  $[\text{Si}] + 2 (\text{FeO}) = (\text{SiO}_2) + 2 [\text{Fe}]$ ;  $[\text{Mn}] + (\text{FeO}) = (\text{MnO}) + [\text{Fe}]$ ;  $[\text{C}] + (\text{FeO}) = \{\text{CO}\} + [\text{Fe}]$ .

На ділянках, де швидкості руху газу-окислювача (кінцева частина струменів, бульбашки) незначні, може відбуватися пряме окислення вуглецю та інших домішок:  $[C] + 1/2 \{O_2\} = \{CO\}$ .

Поведінка складових чавуну протягом плавки наведено на рисунку 4, з якого випливає, що окислення всіх домішок чавуну починається з самого початку продувки. При цьому найбільш інтенсивно на початку продувки окислюються кремній та марганець. Це пояснюється високою спорідненістю цих елементів до кисню при порівняно низьких температурах (1450-1500°C і менше).

Як правило, окислення (і перехід у шлак) кремнію закінчується через 3-5 хв після початку продування. Таке положення пояснюється вмістом у шлаку вапна, що обумовлює перебіг реакції  $(SiO_2) + 2(CaO) = (CaO)_2SiO_2$ . Утворення міцного силікату оксиду кальцію призводить до різкого зниження

активності кремнезему в шлаку і робить наведену необоротною реакцію. Це сприяє повному окисленню кремнію. Зміст марганцю в металі після 3-6 хв продування наближається до рівноважного зі шлаком і надалі змінюється в залежності від умов процесу: температури, складу шлаку. Так, у другій половині плавки внаслідок підвищення температури металу, збільшення основності шлаку та зниження ступеня його окисленості відбувається деяке відновлення марганцю. Наприкінці плавки у зв'язку зі збільшенням ступеня окиснення металу та шлаку марганець знову окислюється. Киснево-конвертерний процес характеризується підвищеним (0,25-0,6%) вмістом залишкового марганцю.

Окислення вуглецю в киснево-конвертерному процесі має важливе значення, оскільки впливає на температурний режим плавки, процес шлакоутворення та рафінування металу від фосфору, сірки, газів та неметалевих включень.

Характерною особливістю киснево-конвертерного виробництва є нерівномірність окиснення вуглецю як за обсягом ванни, так і протягом продування. З найбільшою інтенсивністю окислюється вуглець на поверхні газового факелу, що впроваджується. На початку продування швидкість окислення вуглецю невелика (0,10-0,15% / хв). Це пояснюється порівняно низькою температурою ванни та інтенсивним окисненням кремнію та марганцю. Далі при зниженні вмісту кремнію та марганцю в металі та



підвищенні температури зона кипіння збільшується та поширюється на весь об'єм ванни, швидкість окиснення вуглецю зростає.

Максимальна швидкість окиснення вуглецю 0,3-0,5%/хв. досягається в середині плавки. На цей час температура металу становить 1400-1450°C. До кінця продувки швидкість окиснення вуглецю знову знижується внаслідок зменшення вмісту вуглецю в металі. Більше рівномірне окиснення вуглецю і газовиділення досягаються застосуванням розосередженого дуття, а саме застосуванням багатоструминних фурм.

З перших хвилин продування одночасно з окисненням вуглецю починається процес дефосфорації. Найбільш інтенсивне видалення фосфору відбувається в першій половині продування при порівняно низькій температурі металу, високому вмісті FeO; основність шлаку та його кількість швидко збільшуються. Киснево-конвертерний процес дозволяє отримати < 0,02 % P у готовій сталі. Умови видалення сірки при киснево-конвертерному процесі не можна вважати такими ж сприятливими, як видалення фосфору. Причина полягає в тому, що шлак містить значну кількість FeO і висока основність шлаку (2,5) досягається лише у другій половині продування. Ступінь десульфурзації при киснево-конвертерному процесі знаходиться в межах 30-50%, і вміст сірки готової сталі становить 0,02-0,04%.

Після досягнення заданого вмісту вуглецю дуття відключають, фурму піднімають, конвертер нахилиють і метал через лютку (для зменшення перемішування металу та шлаку) виливають у ківш. Розкислення та легування сталі проводять у ковші [7].

### 1.3 Конструкція кисневого конвертера

Незважаючи на широке поширення киснево-конвертерного процесу, досі відсутня суворая теорія розрахунку профілів конвертерів. При виборі форми конвертера необхідно враховувати ряд параметрів, починаючи від аеро- та гідродинамічних явищ, що проходять у порожнині конвертера під час продування, і закінчуючи питаннями обслуговування та ремонту.

Більшість наявних конвертерів має грушевидну форму з концентричною горловиною. Це забезпечує кращі умови для введення в порожнину конвертера кисневої фурми, відведення газів, заливки чавуну та завалки брухту та шлакоутворювальних матеріалів. На рисунку 1.5 показаний конвертер з відокремленим днищем. При відокремленому днищі полегшується ремонт конвертера. У такому разі днище може бути заздалегідь підготовлене на спеціальному стенді. Днище з корпусом конвертера кріплять за допомогою клинових з'єднань. Для ущільнення стику днища та корпусу наносять шар вогнетривкої маси. У конвертерах ємністю  $> 100$  т днище виконують невід'ємним для надання жорсткості всьому корпусу.

Кожух конвертера виконують звареним із листів товщиною від 20 до 110 мм. До центральної частини корпусу конвертера кріплять цапфи, що з'єднуються з пристроєм для нахилу. У місцях кріплення цапф до корпусу конвертера передбачені різні пристосування для запобігання тепловому впливу, наприклад, використовують подвійні стінки або систему водяного охолодження цапф зсередини.

Горловина конвертера найбільше схильна до високотемпературної пластичної деформації внаслідок тепловипромінювання металу та газів у період плавки. Тому для збільшення терміну служби горловини застосовують водяне охолодження або іноді горловину виконують знімною.

Механізм повороту конвертера складається із системи передач (рисунок 1.6), що зв'язують цапфи з приводом.

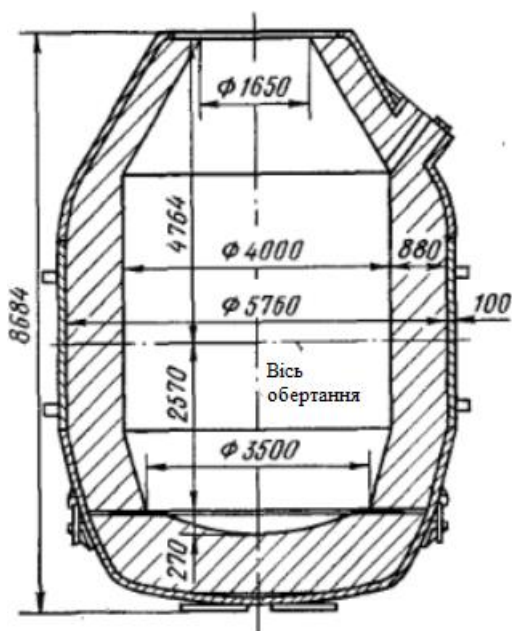


Рисунок 1.5 - Кисневий 100 –т конвертер з від’ємним днищем

Конвертер може обертатися навколо горизонтальної осі на  $360^\circ$  зі швидкістю від 0,01 до 2 об/хв. Для конвертерів малої та середньої ємності використовують односторонній привід. Привід здійснюється від двох або декількох електродвигунів. Для великовантажних конвертерів місткістю 200 т застосовують двосторонній привід, наприклад, чотири двигуни по два на кожну цапфу.

У шоломі конвертера є лютка для випуску сталі. Випуск сталі через лютку дозволяє зменшити змішування металу та шлаку. Лютка закривається вогнестійкою глиною, змішаною на воді. Запорукою успішної роботи конвертера є правильно обрана конфігурація його профілю. Основними параметрами для розрахунку профілю конвертера є: висота  $H$  та діаметр  $D$  робочого простору; питомий обсяг - обсяг, що припадає на одиницю чавуну, що продувається; глибина ванни; діаметр горловини  $a$  та ін.

Співвідношення між цими величинами для конвертерів різної місткості наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Характеристика кисневих конвертерів

Місткість конвертера, т	$H, м$	$D, м$	$H/D$	$V_y, м^3/т$	$l, м$	$d, м$
30	5,85	2,78	2,10	1,00	0,85	1,40
40	5,50	3,00	1,83	0,81	1,00	1,50
100	7,65	4,00	1,90	0,80	1,50	1,65
135	8,50	5,55	1,53	1,10	1,34	2,60
180	9,35	5,52	1,69	0,93	1,71	2,85
200	9,50	5,95	1,60	1,03	1,78	3,10
250	8,46	6,08	1,39	0,76	1,50	3,66
300	9,00	6,70	1,34	0,67	1,72	

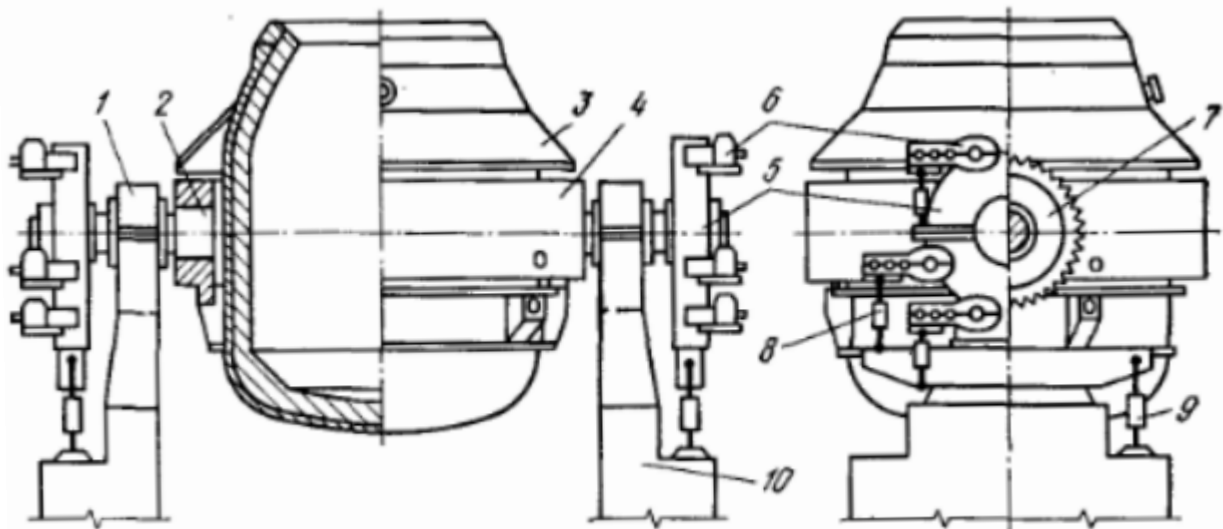
Питома кількість існуючих конвертерів місткістю до 100 т коливається від 0,8 до 1,1 м<sup>3</sup>/т; для конвертерів місткістю 270, 300 т і більше - до 0,70-0,79 м<sup>3</sup>/т. Значне збільшення, так само як і зменшення питомого обсягу, небажане. У першому випадку це призводить до збільшення розмірів конвертера та цеху, підвищує витрату вогнетривів. У другому випадку збільшення викидів металу ускладнює нормальне ведення плавки. Відношення висоти робочого простору  $H$  до його внутрішнього діаметра  $D$  для існуючих конвертерів знаходиться в межах 2,1-1,17, знижуючись для конвертерів більшою місткістю. Оптимальною цю величину слід вважати для конвертерів місткістю >300 т у межах 1,35-1,3 та 1,9-2,0 — для малих конвертерів (до 80 т).

Співвідношення між місткістю, внутрішнім діаметром  $D$  та глибиною ванни  $l$  конвертера наведені нижче:

Місткість	100	150	200	300
$D, м$	4 – 4,4	4,89 – 5,5	5,5 – 5,94	6,7
$l, м$	1,4-1,5	1,54 – 1,61	1,85 – 1,9	1,99 – 2,05

Діаметр горловини конвертера приймають, виходячи з певної витрати брухту на плавку. Горловина більших розмірів дозволяє робити завалку сталевому брухту в один

прийом, що скорочує тривалість плавки. При цьому підвищується також стійкість футерування горловини (послаблюється вплив потоку гарячих газів, що відходять). Але надто великий діаметр горловини може стати причиною помітного підсмоктування в конвертер атмосферного повітря та призвести до підвищення концентрації азоту в сталі. Діаметр горловини в конвертерах, що діють, становить  $0,4-0,6 D$  і знаходиться в межах  $1,0-3,8$  м. Кут нахилу стінок горловини до вертикалі становить  $20-45^\circ$ .



- 1 – опорний підшипник; 2 - цапфа; 3 – захисний кожух; 4 - опорне кільце;  
 5 - корпус веденого колеса; 6 - навісний електродвигун із редуктором;  
 7 - ведене зубчасте колесо; 8 - демпфер навісного електродвигуна;  
 9 - демпфер корпусу веденого колеса; 10 - опорна станина

Рисунок 1.6 - Кисневий конвертер:

Футерування складається з арматурного шару, що прилягає до кожуха, проміжного та робочого шару, зверненого всередину конвертера.

Арматурний шар виконується з обпаленої магнезитової або магнезитохромітової цегли і має товщину  $110-250$  мм. Він тривалий час не потребує заміни.

Проміжний шар, що захищає основний арматурний шар, виконується з набивної смолодомітової маси, частіше зі смолодомітової цегли, що була у використанні.

Робочий шар виконують з безвипалового смолодомітової або доломітомагнезитової цегли.

Товщина робочого шару становить 380-750 мм для конвертерів різної місткості. Загальна товщина футерування конвертерів в залежності від місткості 700-1000 мм.

Умови експлуатації вогнетривів у кисневих конвертерах значно складніші, ніж за інших способів виробництва сталі. Це зумовлено такими причинами: 1) інтенсивним перемішуванням сталі під час продування киснем; 2) ударним впливом матеріалів, що завантажуються; 3) дією знакозмінних навантажень, що виникають при обертанні конвертера; 4) різкими коливаннями температури в період від однієї плавки до випуску сталі наступної плавки; 5) дією високих температур; 6) утворенням великої кількості пилу.

Таким чином, вогнетриви для кладки кисневого конвертера повинні мати високу хімічну стійкість, опірність розмиваючої дії потоків металу і шлаку і протиударну стійкість до завантаження шихти. Цим, а також економічним вимогам відповідає смолодомітова цегла. Її виготовляють із

обпаленого доломіту з добавкою кам'яновугільної смоли 4-9%. Склад обпаленого доломіту: 50-60% CaO; 32-39 % MgO; < 5-7 % SiO<sub>2</sub>; 8-12% усіх домішок, включаючи SiO<sub>2</sub>. Доломітову цеглу виготовляють пресуванням під тиском 30-40 МПа. Суттєвим недоліком смолодоміту є його схильність до гідратації, тобто здатність поглинати вологу з атмосфери. Внаслідок схильності до гідратації молодолітна цегла не витримує тривалого зберігання (цегла втрачає міцність і розсипається).

Тому при зберіганні та транспортуванні цегла повинна мати целофанову упаковку.

Хорошу опірність впливу шлаку, низьку сколюваність і меншу схильність до гідратації має смолодоломітомагнезитова цегла (45-55% MgO). Заміна ним смолодомітової цегли дозволяє збільшити стійкість футеровки.

Футерування конвертера виконують з необпаленої цегли. Випалення футерування здійснюється при 1100-1200°C за допомогою мазутних форсунок. При випаленні відбувається коксування смоли з утворенням міцного коксового залишку. Він надає міцності футеровці та зменшує ступінь взаємодії шлаку з нею. Днище конвертера викладають також із трьох шарів. До кожуха укладають шамотну або обпалену

магнезитову цеглу, потім магнезитову та шар із смолодомітової або доломітомагнезитової цегли.

Ефективним способом підвищення стійкості футерування є торкретування найбільш зношених ділянок кладки. Спосіб полягає в нанесенні на поверхню футерування маси з дрібнозернистої магнезитохромітової суміші в струмені стисненого повітря. Стійкість футерування сучасних кисневих конвертерів становить 500-800 плавов [8].

#### 1.4 Кількісні та якісні характеристики газових викидів

Сталеплавильний процес у конверторі супроводжується інтенсивним виділенням газу, що містить велику кількість дрібнодисперсного пилу. Кількість конверторних газів залежить в основному від витрати кисню, необхідного для вигорання вуглецю за плавку, від складу шлакоутворювальних добавок (вапна, вапняку), хімічного складу чавуну та одержуваної сталі та інших факторів. З 1 кг вуглецю утворюється 1,866 м<sup>3</sup> окису вуглецю або двоокису вуглецю. Тому обсяг конверторних газів за час плавки може бути виражений формулою

$$V = 18,66 (C_1 - C_2) G \text{ м}^3, \quad (1.1)$$

де  $C_1$  і  $C_2$  - вміст вуглецю в металі на початку і кінці продування, %;

$G$ -маса садки конвертора, т.

Для вигорання вуглецю та інших домішок кисень у конвертор подають у кількості, що перевищує теоретично необхідну. Практично максимальна кількість конверторних газів може бути прийнята за кількістю кисню, що витрачається, з наступних залежностей:

при односопловій фурмі

$$V = 2,38V_{O_2} \text{ м}^3/\text{хв}; \quad (1.2)$$

при трьохсопловій фурмі:

у разі подачі в конвертор як охолоджувач скрапу (брухту)

$$V = 2,02V_{O_2} \text{ м}^3/\text{хв}; \quad (1.3)$$

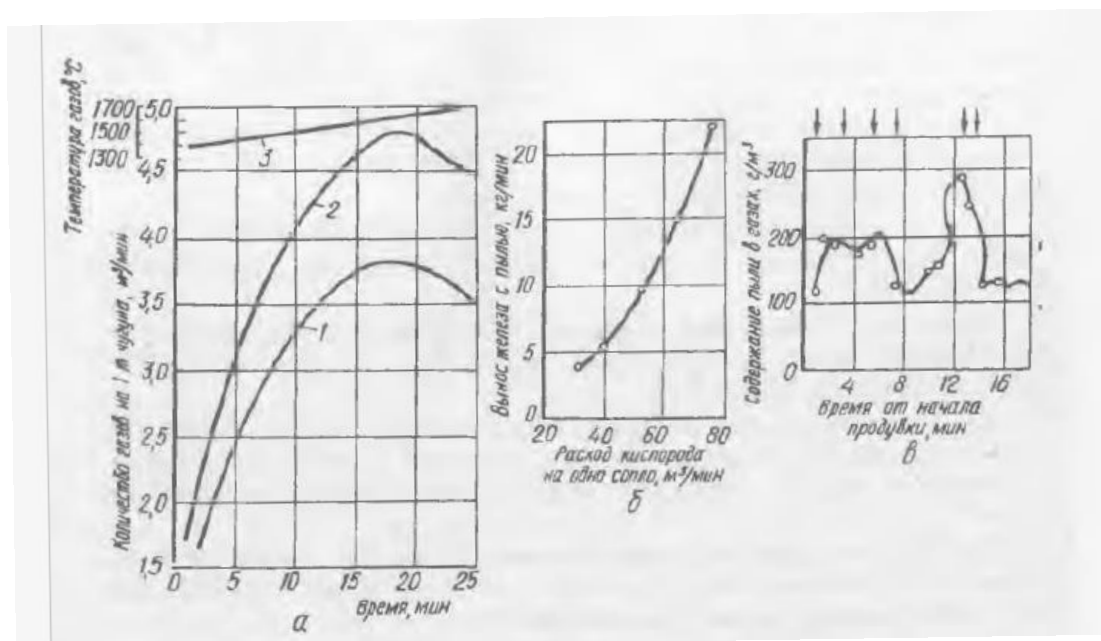
при подачі як охолоджувача руди

$$V = 2,2V_{O_2} \text{ м}^3/\text{хв}. \quad (1.4)$$

Конверторна плавка успішно здійснюється при витраті 55-60 м<sup>3</sup> кисню на 1 т чавуну. Тривалість продування чавуну киснем становить у середньому 18-25 хв.

Кількість конвертерних газів, що утворюються змінюється по ходу плавки (рисунок 1.7).

За періодами плавки викид пилу визначається нерівномірно (рисунок 1.7, в). Максимальні значення запиленості спостерігаються у момент завантаження в конвертер сипких матеріалів (вказані стрілками). Середня інтенсивність виносу заліза за продування залежить від кількості кисню, що подається через сопло, динамічних характеристик струменя кисню, кута нахилу його до поверхні ванни і визначається за практичними даними, представленим на кермі (рисунок 1.7, б).





1 - кількість газів під час роботи на руді; 2 – теж саме, на скрапі(10 - 25%);  
3 - температура газів.

Рисунок 1.7 - Зміна температури, кількості конвертерних газів та вміст пилу в них по ходу плавки (а), (в) та залежно від витрати кисню (б).

Хімічний склад сухих конверторних газів, наступний: 85% CO; 7-10 % CO<sub>2</sub>; 8-5% N<sub>2</sub>. У зоні зіткнення кисню з чавуном у конверторі розвивається температура 2500-3000 °С, за якої випаровуються оксиди заліза та інших домішок. Ці пари потрапляють у конверторний газ разом із виходять із конвертора. Одночасно газ виносить із конвертора дрібні частинки руди, вапна та інших добавок, що подаються в процесі плавки. Температура газу на виході з конвертора залежить від інтенсивності кисневого дуття і змінюється протягом плавки від 1400 до 1800 °С У середньому вона становить 1570-1650 °С і близька до температури металу в конверторі. Запилення конверторних газів на виході з конвертора становить близько 125 г/м<sup>3</sup> (п), а в деяких випадках може доходити до 220 г/м<sup>3</sup> (н). Найбільша кількість пилу міститься в конверторному газі приблизно в середині продування до початку шлакоутворення. У ході конверторної плавки змінюється і хімічний склад пилу. Вона складається в основному з оксидів заліза (до 70%), вапна, кремнію, фосфору, а за наявності в шихті сірки містить і окисли сірки. Кількість сірки, що виноситься в газову фазу за плавку, становить 7-8% від вмісту сірки в шихті. У газовідвідному тракті конверторний газ зрошують водою для його охолодження. При цьому більша частина пилу вловлюється з газу і у вигляді шламу виводиться в каналізацію.

У процесі охолодження газу ньому конденсуються пари оксидів заліза та інших домішок. В результаті в газі утворюються дрібні частинки пилу відгони, які становлять основну її масу.

Таблиця 1.3 - Хімічний склад пилу

Елементи та з'єднання	Маса, %
Залізо загальне	63,45
Залізо приведенне	61,5
	72,33

Оксид заліза (III)	16,56
Оксид заліза (II)	3,30
Оксид кальцію	2,28
Оксид кремнію	0,31
Оксид алюмінію	0,29
Оксид магнію	0,16
Оксид калію	0,20
Оксид натрію	2,78
Ппп	0,04
Оксид титану (IV)	1,21
Марганець	0,036
Фосфор	0,018
Оксид хрому	0,007
Оксид ванадію	0,067
Сірка загальна	-
Оксид сірки (VI)	-
Сірка сульфідна	0,03
Оксид барію	0,004
Нікель	0,01
Мідь	0,05
Цинк	0,03
Свинець	менше 0,002
Молібден	0,01
Сурма	0,003
Миш'як	1,11
Вуглець загальний	0,82
Вуглець твердий	0,26
Фтор	0,17

Хлор	-
------	---

Дисперсний склад конверторного пилу наведено нижче:

Розмір частин, мкм	<0,5	0,5-1	>1
Склад, % (за масою)	50	45	5

Залежно від способу відведення конверторних газів (з допалюванням або без допалювання окису вуглецю) запиленість газів, що надходять на очищення, різна. При відводі газу без доступу повітря конверторний газ, що надходить на очищення, містить до  $125 \text{ г/м}^3$  (н) пилу. При відведенні газу з допалюванням окису вуглецю кількість газу зростає, а запиленість його зменшується до  $50 \text{ г/м}^3$  (н). Також підвищується в цих умовах вміст дрібних фракцій у пилу, що знаходиться у газі у зваженому стані, внаслідок додаткового випаровування оксидів заліза в процесі горіння газу [9].

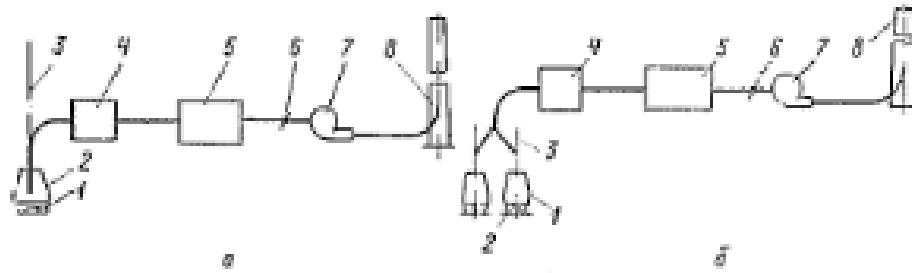
## **1.5 Технології очищення газових викидів конверторного виробництва**

Газ, що виділяється з конвертора, уловлюють, охолоджують та очищають від пилу. Якщо конверторний газ не використовують як паливо, то оксид вуглецю, що міститься в ньому, допалюють і після очищення газ викидають в атмосферу. При використанні конверторного газу його не допалюють і після очищення подають у спеціальні ємності - газгольдери.

Для уловлювання і відведення конверторних газів над горловиною конвертора розташовують ковпак - кесон, з'єднаний з газовідвідним газоходом - каміном. При відведенні газу з конвертора з допалюванням окису вуглецю в зазорі між горловиною конвертора і газовідвідним газоходом за допомогою димососа створюють розрідження, яке забезпечує уловлювання газів, що виділяються з конвертора. При цьому по периметру газового струменя, що надходить у газохід, підсмоктується зовнішнє повітря, що призводить до згоряння окису вуглецю. Таким чином, у систему газоочищення надходять продукти згоряння конверторних газів. Так як у газах відсутній окис вуглецю, то забезпечується безпечна робота всього газового тракту [9].

### **1.5.1 Схеми газовідвідних трактів**

Усі кисневі конвертери повинні бути обладнані системами, що забезпечують охолодження та очищення конвертерних газів або їх продуктів згоряння. Ці системи об'єднують під загальною назвою газовідвідний тракт кисневого конвертера. Газовідвідний тракт складається з наступних основних елементів: охолоджувача конвертерних газів, що включає (якщо це необхідно) пристрій, що закриває або ущільнює проміжок між конвертом і власне охолоджувачем; пристрої для очищення газів; димо або газопроводи з арматурою між елементами тракту; екстаустера (димососа); димових труб для викиду продуктів згоряння в атмосферу або допалювального пристрою для спалювання конвертерного газу перед скиданням в атмосферу; клапана для подачі в газгольдер, бустер, фільтри газу.



1 – конвертер; 2 – метало шихта; 3 - киснева фурма; 4 – охолоджувач;  
5 -газоочищення; 6 - заслінки; 7 - димосос (ексгаустер); 8 – труба.

Рисунок 1.8 - Схема газовідвідного тракту одного кисневого конвертера (а) та двох конвертерів (б), що працюють на один тракт

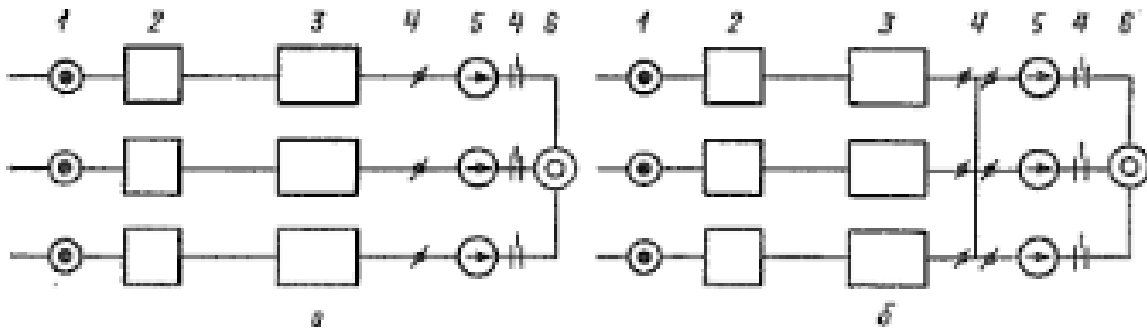
Принципова схема газовідвідного тракту для кожного кисневого конвертера представлена на рисунку 1.8, а.

У перший період киснево-конвертерні цехи, особливо за кордоном, мали тільки два конвертери, з яких у роботі знаходився один. Для таких цехів іноді виконували один газовідвідний тракт на два конвертери (рисунок 1.8, б). Спільними були основна частина охолоджувача, система газоочищення, димосос, димова труба.

У багатьох цехах, де в якості ексгаустерів застосовують агломераційні нагнітачі, що розташовуються на нульовій позначці, використовують схему, зображена на рисунку 1.9, а. Кожен конвертер обладнаний індивідуальним охолоджувачем, системою газоочищення, димососом.

Однак після димососів є загальний борів і загальна димова труба, через які продукти згоряння викидаються в атмосферу.

В деяких цехах використовується схема (рисунок 1.9, б), яка відрізняється від схеми на рисунку 1.8, а установкою перемички після системи газоочищення, що дозволяє у разі потреби відсмоктувати гази від одного конвертера декількома ексгаустерами [9].



1 - конвертер; 2 – охолоджувач; 3 - система газоочищення; 4 – заслінки;  
5 – димосос; 6- димова труба

Рисунок 1.9 - Схема газовідвідних трактів конвекторів цеху із загальною димовою трубою (а) та із загальною перемичкою після газоочищення (б)

### 1.5.2 Способи відведення газів від конвертера

Гази відводять від конвертерів різними способами, які відрізняються в основному величиною коефіцієнта надлишку повітря на виході з охолоджувача:

- 1)  $\alpha \geq 1,0$  - з доступом повітря та повним спалюванням конвертерних газів;
- 2)  $1 > \alpha > 0,75$  з доступом повітря, але з недопалом газів;
- 3)  $0,6 > \alpha > 0,3$  з доступом повітря та з частковим спалюванням газів;
- 4)  $0,15 > \alpha > 0$  без доступу повітря та без спалювання газів.

Принципова відмінність способу відведення з недопалом від способу з частковим спалюванням полягає в тому, що в першому випадку в газовідвідному тракті знаходиться негорючий газ, а в другому газ вибухонебезпечний. Більшість конвертерів працювали за схемою з доступом повітря та повним допалюванням.

Відведення газу без допалювання окису вуглецю здійснюється без доступу повітря до газового тракту. Для цього між горловиною конвертора і газовідвідним газоходом встановлюють ущільнювальну камеру або створюють газову завісу, що запобігає підсмоктуванню навколишнього повітря в газохід. Одночасно герметизують і газовий тракт, щоб унеможливити підсмоктування в нього повітря. У системах без допалювання СО склад конверторного газу наступний: 75%; 14% CO<sub>2</sub>; 10% N<sub>2</sub>; 0,3% O<sub>2</sub>; 0,7% H<sub>2</sub>. Крім того, є сліди C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> та інших сполук.

Між конвертером і охолоджувачем завжди є зазор для забезпечення повороту конвертера при завантаженні скрапу, заливці чавуну, випуск сталі і зливі шлаків. Залежно від прийнятого способу відведення газів у зазорі між конвертером та охолоджувачем підтримується або розрідження, або тиск, або нульовий тиск.

При розрідженні в зазорі забезпечується відведення в охолоджувач всіх газів, що виходять із конвертера; при цьому неминуче по периметру газового струменя підсмоктується навколишнє повітря. Оскільки температура газового струменя висока, його периферійні шари згорають негайно. Практично всі гази згорають на шляху, що дорівнює десятикратному діаметру горловини, якщо розрідження настільки глибоке, що забезпечує підсмоктування більшої кількості повітря, ніж це необхідно для стехіометричного співвідношення ( $\alpha > 1$ ). Якщо ж розрідження невелике і повітря підсмоктується менше ( $1 > \alpha > 0,75$ ), то відбувається недопал або часткове спалювання газів ( $0,6 > \alpha > 0,3$ ), при незначному розрідженні або невеликому тиску процес характеризується величиною  $0,15 > \alpha > 0$ .

При підтримці над конвертером тиску підсмоктування повітря виключається. Якщо тиск у зазорі між конвертером та охолоджувачем незначний, то періодично з'являються невеликі язички полум'я, або газ всмоктується всередину охолоджувача. Ці коливання відповідають коливанням газового струменя, що виходить із конвертера.

При тиску над горловиною виникає неминучий викид газів, що спричиняє забруднення цеху. Тому прагнуть виключити тиск у зазорі, підтримуючи зазор, мінімальне розрідження. На початку і в кінці кисневої продування в зазорі між конвертером і охолоджувачем підтримують розрідження, а в основний період продування - нульовий тиск. Відповідно через газовідвідний тракт проходять або продукти згорання, або гази, що частково згоріли, або практично конвертерні гази.

Кількість тепла, що виноситься газами з конвертера ( $Q$ ) і виділяється в межах газовідвідного тракту, дорівнює

$$Q_p = Q_\phi + \alpha Q_n^p + Q_n \text{ ккал/м}^3 \quad (1.5)$$

де  $Q_\phi$  - фізичне тепло конвертерних газів,

$Q_H^p$  - теплота згоряння;

$\alpha$  - коефіцієнт надлишку повітря в охолоджувачі, при  $\alpha \geq 1$  у вказану формулу підставляють величину  $\alpha = 1$ ;

$Q_{II}$  - ентальпія пилу, що дорівнює приблизно  $0,05Q_{\phi}$ ; при розрахунку схем з  $\alpha > 0,2$  цією величиною нехтують; її враховують лише при розрахунку схем із величинами  $\alpha = 0 \div 0,15$ .

Результати розрахунку за цією формулою з урахуванням теплоти згоряння чистого окису вуглецю  $3028 \text{ ккал/м}^3$  та наявності в конвертерних газах 90% представлені на рисунку 1.10. На цьому ж малюнку відмічені прикладні діапазони величини  $\alpha$ , що відповідає перерахованим способам відведення конвертерних газів:

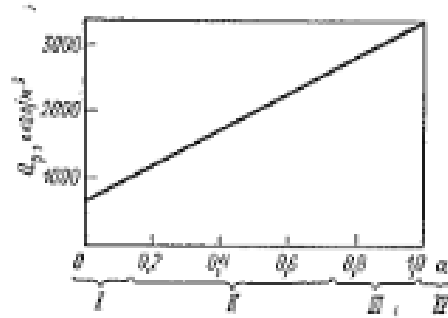
Повне спалювання	$\alpha \geq 1$
Недопал	$1 > \alpha > 0,75$
Часткове спалювання	$0,6 > \alpha > 0,3$
Середнє значення	$\alpha \approx 0,45$
Без допалювання:	
теоретично	$\alpha = 0$
практично	$(0,15 > \alpha > 0,0)$
середня	$\alpha \approx 0,07$

Для найбільш характерних коефіцієнтів надлишку повітря при зазначених способах відведення газів виділяється така кількість тепла (у межах газовідвідного тракту маються на увазі нормальні умови):

$\alpha$	1,0	0,75	0,45	0,07
Тепло, ккал/м <sup>3</sup>	3350	2650	1900	900

З цих даних випливає, що в міру зменшення коефіцієнта надлишку повітря при горінні з конвертерних газів виділяється менша кількість тепла. Кількість тепла, яке можуть сприйняти поверхні охолоджувача та вода в системі мокрого газоочищення за різних режимів, коливається незначно (визначається в основному коефіцієнтом теплоотдачі газу). Отже, при переході від способу відведення с  $\alpha > 1,0$  до способів, при яких  $\alpha < 1,0$ , той самий газовідвідний тракт може пропускати більшу кількість конвертерних газів (табл. 4).





1 – без допалювання; II - часткове спалювання; III – недопалення в межах вибухонебезпеки; IV - повне спалювання.

Рисунок 1.10 - Залежність кількості тепла, що виділяється конвертерними газами в охолоджувачі від коефіцієнта надлишку повітря

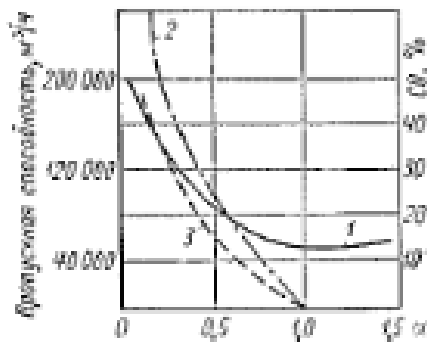


Рисунок 1.11 - Залежність пропускної здатності тракту від коефіцієнта надлишку повітря за охолоджувачем.

Таблиця 1.4 - Пропускна здатність газовідвідного тракту залежно від коефіцієнта надлишку повітря у газах, що відводяться

Показники	Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha$			
	1,0	0,75	0,45	0,07
Тепло, що виділяється газами в межах тракту, ккал/м <sup>3</sup>	3350	2650	1900	900
Тепло, що сприймається газовідвідним трактом (мокра газоочищення) при пропуску 1000 м <sup>3</sup> , Гкал/год.	3,2	3,2	3,2	3,2

Кількість конвертерних газів, що пропускаються, м <sup>3</sup> /год.	1000	1200	1700	3600
Теж саме, %	100	120	170	360

Результати розрахунків, зведені у табл. 1.5, зображені також на рисунку 1.11. Крива 1 вказує на пропускну здатність одного і того ж газовідвідного тракту в залежності від коефіцієнта надлишку повітря на виході з охолоджувача. Вже зазначалося, що з  $\alpha < 1$  пропускну здатність тракту зростає. Швидкість руху газів залишається приблизно однаковою. При  $\alpha > 1$  також спостерігається тенденція до збільшення пропускну здатності, яку можна пояснити тим, що зростає кількість тепла, що виноситься в атмосферу; при цьому зростають і швидкість газів, і ерозійне зношування. Тому небажана робота з великим надлишком повітря. Криві 2 та 3 характеризують вміст окису вуглецю в газах за охолоджувачем та перед димососом відповідно [9].

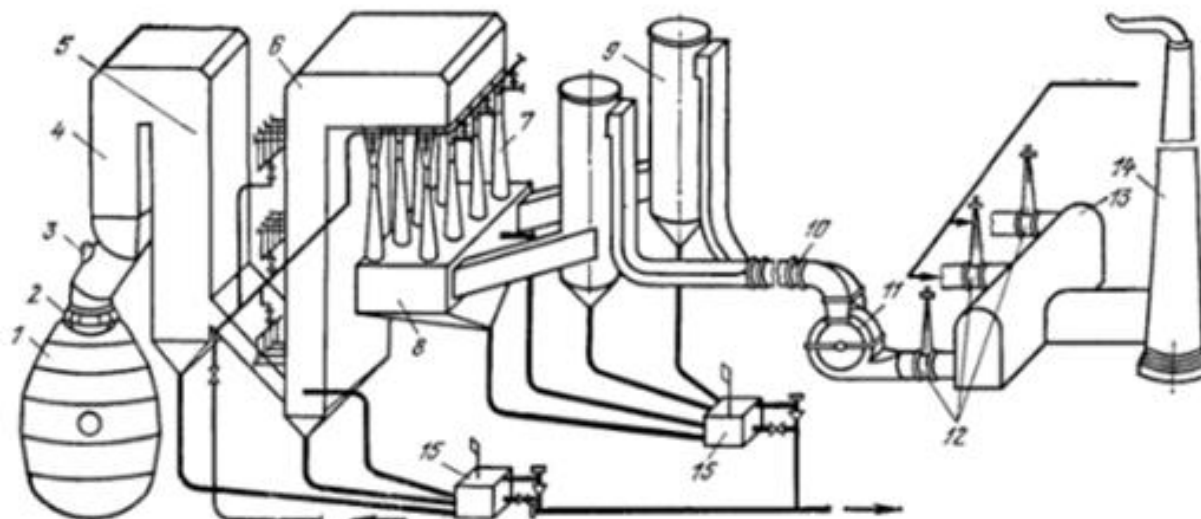
### 1.5.3 Схеми очищення конвертерних газів

Системи пиловловлення, встановлені за конвертерами, повинні забезпечити очищення газу до концентрації не більше  $10 \text{ мг/м}^3$  при його використанні як палива, або не більше  $50 \text{ мг/м}^3$  при викиді в атмосферу. Зважаючи на високі температури відхідних конвертерних газів (температура газу на виході з конвертера становить  $1300\text{-}1800^\circ\text{C}$ ) і наявності в них значних кількостей оксиду вуглецю отримали переважне поширення системи мокрого очищення газів з використанням в якості основного пиловловлювача скрубєрів Вентурі.

Обсяг конвертерних газів залежить в основному від витрати кисню, необхідного для вигорання вуглецю, складу шлакоутворюючих добавок (вапна, вапняку), хімічного складу чавуну та одержуваної сталі та інших факторів. Газ, що виділяється з конвертера, уловлюють, відводять, охолоджують та очищають від пилу. У процесі охолодження в ньому конденсуються пари оксидів заліза та інших домішок. У результаті газі утворюються дрібні частки пилу - відгони, які становлять основну її масу.

Між конвертером і газовідвідним трактом завжди є зазор, що дає можливість повертати конвертер при завантаженні скрапу, заливці чавуну, випуску сталі і зливі шлаку. Газів, що виділяються із конвертера. По периметру газового струменя, що надходить у газохід, підсмоктується зовнішнє повітря, що призводить до згорання окису вуглецю. Таким чином, у систему газоочищення надходять продукти згорання конвертерних газів. Так як в газах відсутня окис вуглецю, то забезпечується безпечна робота всього газового тракту.

Об'єм конвертерного газу після допалювання окису вуглецю важить від ємкості конвертера, марки сталі, що виплавляється, і технологічного процесу плавки. Хімічний склад конвертерного газу при повному допалюванні CO та інтенсивності продування киснем  $10 \text{ м}^3/\text{с}$  становить, % (об'ємн.):  $31\text{CO}_2$ ;  $60\text{N}_2$ ;  $9\text{O}_2$ . Крім того, у газі міститься,  $\text{мг/м}^3$ : до  $50\text{SO}_2$ ;  $100\text{F}$  та  $10\text{Cl}$ . Запилення газу на виході з конвертера - до  $200\text{-}250 \text{ г/м}^3$ . Частина пилу осаджується в газовідвідному тракті та котлі-утилізаторі і перед газоочищенням її концентрація не перевищує  $50 \text{ г/м}^3$ .



1- конвертер; 2 – кесон; 3 - отвір для фурми; 4 - підйомний газохід з радіаційними поверхнями котла утилізатора; 5 - опускний газохід з конвективними поверхнями та екомайзером; 6 – скруббер; 7 – блок труб Вентурі; 8 - інерційний водовіддільник; 9 - відцентрові скрубери; 10 - дросельний клапан; 11 – димосос; 12 – засувки; 13 – борів; 14 – димова труба; 15 – гідрозатвор.

Рисунок 1.12 - Схема відводу та очищення конвертерного газу з опалюванням окису вуглецю та утилізацією тепла в системі з круглими трубами Вентурі.

Пил складається в основному з оксидів заліза; в ній присутні також оксиди кремнію, алюмінію, кальцію, магнію, марганцю. Основна маса частинок пилу (80%) має розміри менше 1 мкм; щільність пилу 4-5 г/см<sup>3</sup>.

Для очищення конвертерних газів з допалюванням оксиду вуглецю застосовують швидкісні пиловловлювачі з високонапірними трубами Вентурі круглого або прямокутного перерізу. За кордоном також використовують сухі та мокрі електрофільтри та тканинні фільтри. На Рисунок 1.12 показана схема очищення конвертерних газів. Конвертерні гази піддають охолодженню в котлі-утилізаторі, вбудованому в підйомно-опускний газохід, і в скруббері прямокутного перерізу, а потім їх направляють у блок з восьми труб Вентурі з круглим перерізом горловини, встановленими на інерційний водовіддільник. Остаточне очищення газу здійснюють у двох паралельно розташованих відцентрових скруберах. Така установка забезпечує очищення газу до кінцевого вмісту пилу 70 мг/м<sup>3</sup>. Знепилення конвертерних газів у тканинних фільтрах, що застосовується у Франції, показано на Рисунок 1.13. За цією

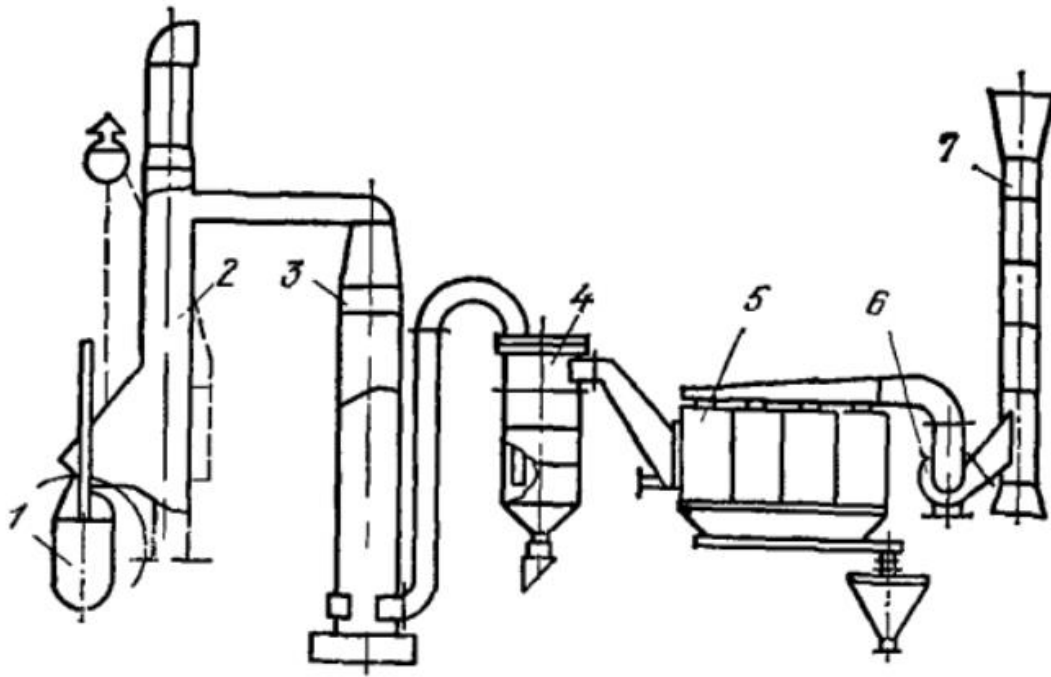
схемою тепло газів, що відводяться, утилізують для нагрівання поверхонь повітрянагрівача. Охолодження газу перед його подачею до тканинного фільтра здійснюється у випарному скрубєрі. Залишкова запиленість газу за такої схеми становить 4-7 мг/м<sup>3</sup>.

У сухих електрофільтрах газ очищають за схемою, наведеною на Рисунок 1.14. У котлі утилізаторі газ охолоджується до температури 600°C.

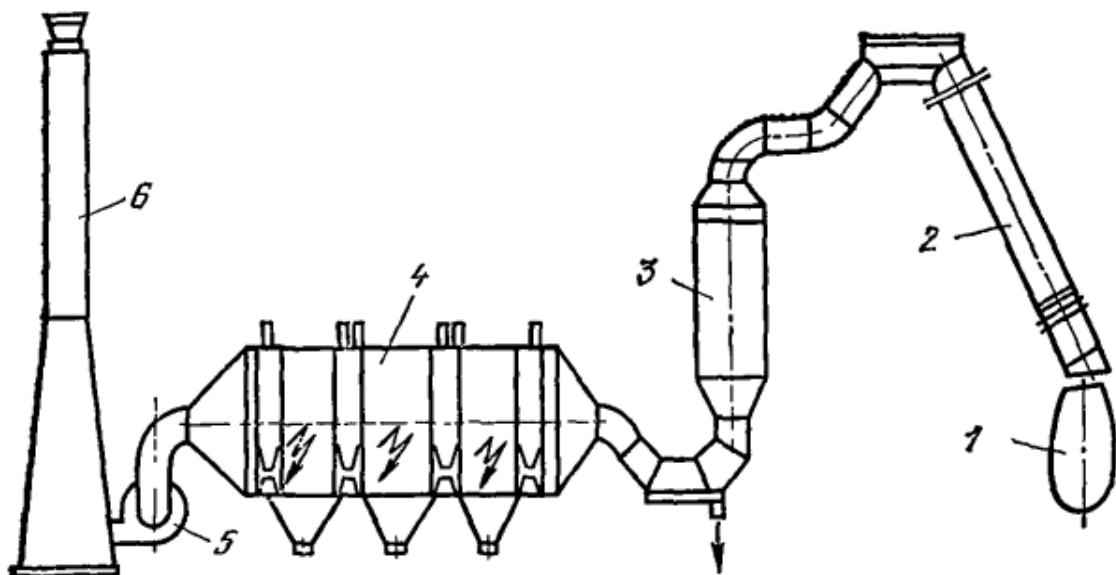
Перед очищенням у сухому горизонтальному електрофільтрі газ охолоджують до температури 200 °С у підлозі випарному скрубєрі. На Рисунок 1.15 показано схему установки для очищення конвертерних газів з допалюванням СО та охолодженням газу у прямокутних трубах Вентурі. Великий пил і краплі шламу осідають у бункерах, на яких встановлені труби Вентурі, а укрупнений пил у центробіжному скрубєрі.

Очищення конвертерних газів без допалювання окису вуглецю здійснюють без доступу повітря до газового тракту. Тому на газоочиску надходять лише конвертерні гази, а не продукти їх згоряння. Кількість утворених у процесі плавки газів залежить від методу проведення кисневого продування, режиму плавки і типу присадок, конструкції фурми та її положення, виду чавунів, що переробляються, інтенсивності продування і, за практичними даними, становить 70-90 м<sup>3</sup> на кожну топку ємності.

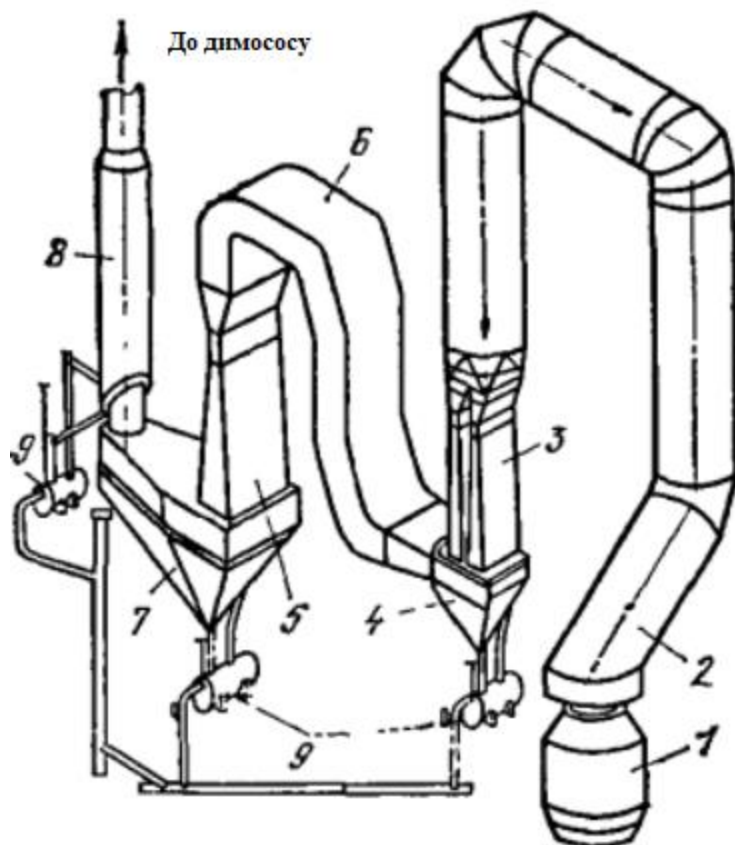
Хімічний склад конвертерного газу без опалювання окису вуглецю, % (об'ємн.): 17CO<sub>2</sub> 16N<sub>2</sub>: 67 СО. Крім того, газ містить, мг/м<sup>3</sup>: до 70SO<sub>2</sub>; 30H<sub>2</sub>S; 200 F і 20 Cl. Запилення газу на виході з конвертера доходить до 200 г/м<sup>3</sup>.



1 – конвертер; 2 - водоохолоджуваний камін; 3 – акумулятор;  
 4 - випарний скруббер; 5 – тканинний фільтр; 6 - димосос; 7 - димова труба  
 Рисунок 1.13 - Схема очищення димових конвертерних газів у тканинних фільтрах



1 – конвертер; 2 - котел-утилізатор; 3 - порожнистий випарний скруббер;  
 4 - сухий пластинчастий електрофільтр; 5 - димосос; 6 – труба.  
 Рисунок 1.14 - Схема очищення конвертерних газів у сухих електрофільтрах



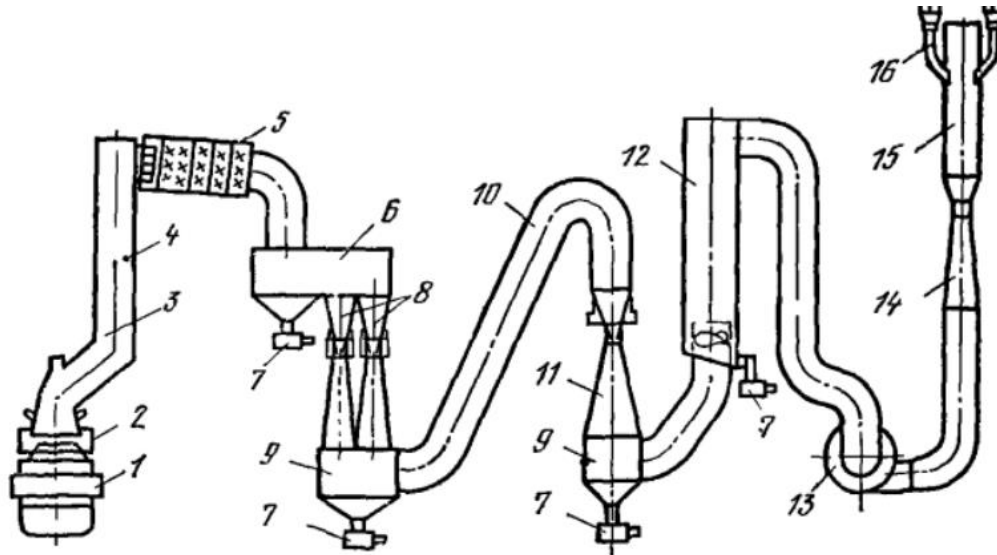
1 – конвертер; 2 – газовідвідний тракт; 3 – низконапорна труба Вентурі,  
 4 – бункер-каплеуловлювач; 5 – високонапірна труба Вентурі; 6 – газохід;  
 7 – інерційний пило- і бризкоуловлювач; 8 – відцентровий пилоуловлювач;  
 9 – гідрозатвор

Рисунок 1.15 - Очищення конвертерного газу з допалюванням окису вуглецю та охолодженням газу у прямокутних трубах Вентурі.

Зважаючи на те, що кількість конвертерних газів у кілька разів менша за продукти їх згорання, системи газоочищення виходять меншими за розміром, а їх вартість та експлуатаційні витрати нижчі, ніж при відводі та очищенні газу з допалюванням оксиду вуглецю. Відведення конвертерного газу без допалювання оксиду вуглецю здійснюють в основному за схемою з котлом-утилізатором, а очищення газів від пилу за умовою вибухобезпеки провадять в апаратах мокрого типу (рисунок 1.16).

Система відведення газу складається з кесона, що переходить у камін, в який вбудований котел-утилізатор. В останньому газ охолоджують до 800 - 900°C; доохолодження його здійснюють спочатку в горизонтальному газоході за рахунок подачі дрібнорозпиленої води, а потім в низькоконфорних трубах Вентурі з

регульованим перерізом горловини. Коагуляція дрібнодисперсного пилу відбувається у високо напірній трубі Вентурі з регульованим перерізом горловини та зрошенням у межах 1,4-1,7 л/м<sup>3</sup>.



1 – конвертер; 2 – рухома водоохолоджувальна муфта; 3 – киснева фурма;  
 4 – котел-утилізатор; 5 – зрошуваний газохід; 6 — колектор запиленого газу; 7 – гідрозатвор; 8 – низьконапірні труби Вентурі-охолоджувачі газу;  
 9 – інерційний пило- та бризкоуловлювач; 10 – газохід, 11 – високонапірна труба-коагулятор; 12 – відцентровий скрублер з завихрювачем газу; 13 – димосос; 14 – Вентурн труба для вимірювання кількості газу; 15 – димова труба; 16 – допалюючий пристрій

Рисунок 1.16 - Схема відведення та очищення конвертерного газу без допалювання окису вуглецю.

Очищення газу від великих крапель шламу здійснюють в інерційних пило- та бризкоуловлювачах, на яких встановлені труби Вентурі; остаточне очищення газу від укрупненого пилу проходить у центробежному скрублері.

За проектом Гіпрогазоочищення на заводі Дунай-Вашмю (ВНР) за конвертерами садочком 130 т, що працюють з витратою кисню на продувку до 400 м<sup>3</sup>/хв, після допалювання оксиду вуглецю встановлена система газоочищення, що включає трубу Вентурі з регульованим перерізом горловини. Очищення газів провадиться у дві стадії. Грубе очищення та охолодження газу здійснюються в скрублері з конфузориальним введенням газу, що має два ступені зрошення і жалюзійний краплеуловлювач. Тонке



очищення проводиться в трубі Вентурі, в якій змонтовано третій ступінь зрошення. Перетин горловини труби регулюється за допомогою обтічника, що переміщається по осі, який може входити в пережим труби. Уловлювання крапельної вологи здійснюється у двох краплеуловлювачах, що працюють паралельно. Очищенні від пилу та крапельної вологи пил транспортується до димососу продуктивністю 240000 м<sup>3</sup>/год вологих газів. Необхідна концентрація пилу на виході з системи 100 мг/м<sup>3</sup> забезпечується на всіх режимах роботи конвертера при гідравлічному опорі скрубера Вентурі 14 кПа.

Удосконалюються системи, що експлуатуються в цехах, з метою збільшення пропускної спроможності газовідвідного тракту та підвищення ефективності очищення. Так, трестом «Укренергочермет» удосконалено систему мокрого очищення за конвертером ємністю 50 т на Криворізькому металургійному комбінаті.

Газовідвідний тракт до модернізації був виконаний за схемою: конвертер–кессон–висхідний газохід–низхідний зрошуваний газохід–скруббер–охолоджувач–труба Вентурі–циклон–каплеуловлювач–нагнітач–димова труба. Зі схеми виключено циклон–каплеуловлювач, труба Вентурі з діаметром горловини 650 мм була замінена на блок з чотирьох труб з діаметром горловини 400 мм кожна, а скруббер–охолоджувач переобладнаний в каплеуловлювач. Це дозволило збільшити обсяг газів, що пропускаються через газовідвідний тракт, з 170 до 200 тис. м<sup>3</sup>/год, зменшити витрату оборотної води на 260 м<sup>3</sup>/год, збільшити гідравлічний опір скрубера Вентурі з 4,9 до 9,4 кПа. Концентрація пилу в очищеному газі знизилася з 0,8 до 0,14 г/м<sup>3</sup>.

Проводяться роботи, спрямовані на скорочення пиловиділення з конвертерів технологічними засобами в період продування металеві ванни киснем. ВНИИЧерметенергоочисткою розроблено конструкції чотирьох та п'ятисоплових кисневих фурм з кутом нахилу сопел 15-20°, що дає утворення розосередженої реакційної зони. Більш рівномірний розподіл тепла екзотермічних реакцій при взаємодії кисню з ванною дозволяє знизити втрати заліза з 17,7 до 10,8 кг/т.

Поряд із розосередженням подачі кисню рекомендовано змінити технологію ведення плавки: знижувати витрату кисню в період подачі сипких присадок у конвертер, подаючи максимально можливу частину сипучих до початку продування або в початковий період, коли швидкість газу в горловині невелика.

Враховуючи тенденції розвитку конвертерного виробництва, пов'язані з інтенсифікацією продувки та нарощуванням одиничних потужностей агрегатів, що призводить до збільшення обсягу газів, що очищаються, перспективними схемами очищення слід вважати системи відведення газу без допалювання оксиду вуглецю та використання електрофільтру в якості основного пилоочисного апарату [9, 10].

## 1.6 Обґрунтування та вибір очистки газу

Ефективність існуючих способів очищення приблизно однакова: всіма методами можна понизити концентрацію пилу в газах до  $50 \text{ мг/м}^3$ , що відповідає екологічним вимогам, тобто ступень очищення складає 98-99 %.

Але існує ряд недоліків при використанні мокрої схеми очищення в скруберах Вентурі:

- великі енерговитрати (опір скрубера Вентурі більше  $7 \text{ кПа}$ );
- громіздке шламове господарство;
- важкі умови роботи вентиляторів: вологий газ, що проходить через лопатки сприяє налипанню на них пилу, що і ускладнює роботу, а також веде до виходу устаткування з строю;
- газовий тракт піддається корозії.

Суха схема очищення для даного виробництва передбачає застосування електрофільтру або рукавного фільтру. Беручи до уваги те, що газовий потік є вибухонебезпечним через наявність  $\text{CO}$ , а також те, що електрофільтр має низку недоліків, зокрема необхідність спеціального обладнання, яке забезпечує високу напругу, висока металоємність, великі габарити, особливі заходи електробезпеки, необхідність забезпечення спеціального пристрою для видалення пилу з внутрішньої поверхні корпусу фільтра. Але найбільш вагомою причиною відмови від застосування електрофільтру в технологічній схемі є той факт, що електрофільтр не може використовуватися для уловлення вибухонебезпечних газових викидів, в т.ч і такі, що можуть набути такої властивості в процесі обробки.

Для очищення газових викидів для даного виробництва було прийняте рішення застосувати рукавний фільтр, оскільки даний агрегат має значні переваги, зокрема економічність в роботі, менші габарити при тій же продуктивності, простота конструктивного оформлення (закріплення рукавів проводиться з одного боку у верхній частині фільтру, що гранично спрощує заміну рукавів), підвищена ремонтпридатність фільтру, ефективність імпульсної регенерації, що здійснюється за допомогою клапанів з підвищеною швидкістю, розміщення на відкритому повітрі з укриттям тільки верхньої частини фільтру.

При виборі схеми газоочистки враховані тенденції розвитку конвертерного виробництва, які пов'язані з інтенсифікацією вловлювання пилу, де перспективними схемами очищення слід вважати системи відведення газу з повним допалювання CO і використання рукавного фільтру в якості основного газоочисного апарату.

## 2 ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ

Вихідні дані для проектування обладнання системи газоочистки киснево-конвертерного виробництва наведені в завданні до бакалаврського проекту. Проектується система очищення конвертерного газу без допалювання CO.

Температура конвертерного газу попереду котла-охолоджувача складає  $t_{гк}=1700\text{ }^{\circ}\text{C}$

Витрата газу за нормальних умов  $65\ 000\ \text{м}^3/\text{год} = 18,05\ \text{м}^3/\text{с}$ .

Згідно проведеному теоретичному аналізу (п.2.1), газу, що відходять від конверторів мають склад, що наведений у табл. 2.1

Таблиця 2.1 - Хімічний склад конвертерного газу, що приймається до розрахунку

Складові газу	%
CO	85
CO <sub>2</sub>	11
N <sub>2</sub>	2
O <sub>2</sub>	2
Всього	100

Запиленість газу попереду котлу-утилізатору складає  $160\ \text{г}/\text{нм}^3$ .

Дисперсний склад пилу, прийнятий для розрахунку наведений в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Дисперсний склад пилу, що приймається до розрахунку

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

Відповідно до даних з табл. 2.2 медіанний діаметр становить  $d_m = 3\ \text{мкм}$ .

### 2.1 Вибір утилізатора тепла конверторних газів

Обираємо по початковій температурі і витраті газу охолоджувач конвертерних газів ОКГ-180, який має такі технічні характеристики:

- витрата конвертерних газів через охолоджувач – 65000 нм<sup>3</sup>/год;
- температура газів попереду котлу - 1700 °С ;
- температура газів за котлом - 420 °С;
- температура живильної води 104 °С;
- гідравлічний опір 300 Па;
- паропроодуктивність – до 138 т/год.

## 2.2 Розрахунок випарного скрубера типу АКРП

Температура газів попереду випарного скрубера - 420 °С;

Запиленість газів попереду випарного скрубера приймається з урахуванням того, що в котлі-утилізаторі осідає 15 % пилу - 136 г/нм<sup>3</sup>;

Приймаємо тиск води попереду форсунок  $P_p=0,4$  МПа;

Початкова температура води  $t_n=20$  °С;

Втрата тиску в скрубери (АКРП) 900 Па.

Густину газової суміші за нормальних умов розраховують за формулою (2.1), кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_0 = \frac{0,01}{22,4} \sum R_i O_j \cdot M_{R_i O_j} \quad (2.1)$$

де  $M$  - молекулярна маса компонента газової суміші, кг/моль.

$$\rho_0 = \frac{0,01}{22,4} \cdot (85 \cdot 28 + 11 \cdot 44 + 2 \cdot 28 + 2 \cdot 32) = 1,332 \text{ кг/м}^3$$

Визначаємо густину газів за робочих умов (перед випарним скрубери) за формулою (2.2), кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_t = \rho_0 \frac{273(B \pm P_r)}{101,3(273 + t_r)}, \quad (2.2)$$

де  $P_r$  – тиск газу попереду випарного скрубера, кПа;

$B$  - барометричний тиск, кПа;

$t_r$  – температура газу після котла-утилізатора, °С.

$$\rho_t = 1,332 \frac{273(100 - 0,25 - 0,3)}{101,3(273 + 420)} = 0,515 \text{ кг/м}^3$$

Секундна витрата газу за робочих умов визначаємо за формулою (2.3), м<sup>3</sup>/с:

$$Q_t = \frac{Q_0 \cdot \rho_0}{\rho_t} \quad (2.3)$$

$$Q_t = \frac{18,05 \cdot 1,332}{0,515} = 46,68 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Визначаємо ентальпію конвертерного газу на вході в випарний скрубер ( $t_1 = 420$  °С) за формулою (2.4), кДж/м<sup>3</sup>:

$$i_1 = 0,01 \sum_1^n i_i \cdot a_i \quad (2.4)$$

де  $i_i$  – ентальпія  $i$ -го компонента газової суміші, кДж/м<sup>3</sup>.

$$i_1 = 0,01 \sum_1^n i_i \cdot a_i$$

$$i_1 = 0,01(559,96 \cdot 85 + 816,98 \cdot 11 + 580,64 \cdot 2,0 + 554,18 \cdot 2,0) = 588,53 \text{ кДж/м}^3$$

Приймаємо, що на виході із скрубера газ має температуру  $t_r = 200$  °С.

Ентальпія газу при даній температурі складе:

$$i_2 = 0,01(261,5 \cdot 85 + 357,5 \cdot 11 + 260 \cdot 2,0 + 267,1 \cdot 2,0) = 272,142 \text{ кДж/м}^3$$

Кількість теплоти, що передається у скрубєрі від газу до води розрахуємо за формулою (2.5), кВт:

$$Q_m = Q_0(i_1 - i_2) \quad (2.5)$$

$$Q_m = 18,05(588,53 - 272,142) = 5710,803 \text{ кВт}$$

Приймаємо коефіцієнт випару в скрубєрі рівним 1, кінцева температура води  $t_2=100^\circ\text{C}$ , тобто відбувається повне випаровування.

Середня температура газу в скрубєрі розраховується за формулою (2.6),  $^\circ\text{C}$ :

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (2.6)$$

$$t_{cp} = \frac{420 + 200}{2} = 320 \text{ }^\circ\text{C}$$

Ентальпія насиченої пари при середній температурі газу в скрубєрі  $i_{II}=3090 \text{ кДж/кг}$  [11].

Ентальпія води при початковій температурі  $t_1=20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $i_H=83,9 \text{ кДж/кг}$ ; при кінцевій температурі  $t_2=100^\circ\text{C}$ ,  $i_K=419,1 \text{ кДж/кг}$  [11].

Витрату води в скрубєрі обчислимо за формулою (2.7), кг/с:

$$M_B = \frac{Q_m}{\varphi(i_{II} - i_H) + (1 - \varphi)(i_K - i_H)} \quad (2.7)$$

$$M_B = \frac{5710,803}{3090 - 83,9} = 1,9 \text{ кг/с.}$$

Питома витрата води на зрошування розраховується за формулою (2.8),  $\text{кг/м}^3$ :

$$m = \frac{M_B}{Q_t} \quad (2.8)$$

$$m = \frac{1,9}{46,68} = 0,041 \text{ кг/м}^3.$$

Вологість газу на виході зі скрубера за нормальних умов за формулою (2.9), г/м<sup>3</sup>:

$$f_{02} = f_{01} + \frac{\varphi \cdot M_B}{Q_0} \quad (2.9)$$

де  $f_{01}$  – вологість газу на вході в скруббер, г/ м<sup>3</sup>.

$$f_{02} = \frac{1,9 \cdot 10^3 \cdot 3600}{65000} = 105,23 \text{ г/м}^3$$

Витрата газу на виході із скрубера за робочих умов обчислюється за формулою (2.10), м<sup>3</sup>/с:

$$Q_{t2} = Q_0 \left(1 + \frac{f_0}{0,804}\right) \frac{101,3 \cdot T_r}{273 \cdot P_r} \quad (2.10)$$

$$Q_{t2} = 18,05 \left(1 + \frac{0,10523}{0,804}\right) \frac{101,3(273+200)}{273(100-0,25-0,3-0,9)} = 36,35 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Густина газу на виході зі скрубера обчислюється за формулою (2.11), кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_{r2} = \frac{\rho_0 + f_0}{1 + \frac{f_0}{0,804} \cdot 101,3 \cdot T_r} \quad (2.11)$$

$$\rho_{r2} = \frac{1,332 + 0,10523}{1 + \frac{0,10523}{0,804}} \cdot \frac{273 \cdot (100 - 0,25 - 0,3 - 0,9)}{101,3 \cdot (273 + 200)} = 0,714 \text{ кг/м}^3$$

Середня різниця температур між газом і водою в випарному скрубері розраховується за формулою (2.12), °С:



$$\Delta t = \frac{(t_1 - t_k) - (t_2 - t_H)}{\ln \frac{t_1 - t_k}{t_2 - t_H}} \quad (2.12)$$

$$\Delta t = \frac{(420 - 100) - (200 - 20)}{\ln \frac{420 - 100}{200 - 20}} = 69,52^\circ\text{C}$$

Об'єм скрубера обчислюється за формулою (2.13), м<sup>3</sup>:

$$V_K = \frac{1000 \cdot Q_m}{K_0 \cdot \Delta t} \quad (2.13)$$

де  $K_0$  – об'ємний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>3</sup>·°C)

Обчислюємо  $K_0$  за формулою (2.14):

$$K_0 = (17,4 + 115m \cdot U_r) \rho_{r2} \cdot U_r \quad (2.14)$$

де  $U_r$  – швидкість газу на виході із скрубера, приймаємо для АКРП  $U_r = 5$  м/с.

$$K_0 = (17,4 + 115 \cdot 0,041 \cdot 5) \cdot 0,714 \cdot 5 = 146,28$$

Обчислюємо об'єм скрубера:

$$V_K = \frac{1000 \cdot 5710,803}{146,28 \cdot 69,52} = 561,568 \text{ м}^3$$

Визначаємо діаметр скрубера визначається за формулою (2.15), м:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_r}{\pi \cdot U_r}} \quad (2.15)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 46,68}{3,14 \cdot 5}} = 3,44 \text{ м}$$

Обираємо стандартний скруббер типу АКРП діаметром 3,8 м (висота 19,6 м).

Проводимо перерахунок швидкості газу в скруббері для стандартного діаметру за формулою (2.16), м/с:

$$U_{\Gamma} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\Gamma}}{n \cdot \pi \cdot d^2}} \quad (2.16)$$

де  $n$  – кількість одиниць апаратів газоочищення, шт;

$d$  – стандартний діаметр скруббера, м.

$$U_{\Gamma} = \sqrt{\frac{4 \cdot 46,68}{3,14 \cdot 3,8^2}} = 4,12 \text{ м/с}$$

Проводимо перерахунок складу газу на виході зі скруббера з урахуванням абсолютної вологості газів за нормальних умов на виході зі скруббера,  $f_{02}=105,23\text{г/м}^3$  за формулою (2.17), %:

$$r_i = \frac{r_{ic}}{1 + \frac{f_{02}}{0,804}} \quad (2.17)$$

де  $r_{ic}$  – вміст компонента в сухому газі, %

$$r_{\text{CO}} = \frac{85}{1 + \frac{0,10523}{0,804}} = 75,16 \text{ \%};$$

$$r_{\text{CO}_2} = \frac{11}{1 + \frac{0,10523}{0,804}} = 9,73 \text{ \%};$$

$$r_{\text{N}_2} = \frac{2}{1 + \frac{0,10523}{0,804}} = 1,99 \text{ \%}, \text{ приймаємо } 2\text{\%};$$

$$r_{O_2} = \frac{2}{1 + \frac{0,10523}{0,804}} = 2,0 \%;$$

Кількість водяних парів у газі після випарного скрубера обчислюємо за формулою (2.18), %:

$$r_{H_2O} = 100 - \sum_1^n r_i \quad (2.18)$$

$$r_{H_2O} = 100 - (75,16 + 9,73 + 2,0 + 2,0) = 11,11 \%$$

Отже робимо перерахунок густини газової суміші за нормальних умов на виході після АКРП за формулою (2.1):

$$\rho_0 = \frac{0,01}{22,4} (75,16 \cdot 28 + 9,73 \cdot 44 + 2 \cdot 28 + 2 \cdot 32 + 11 \cdot 18) = 1,269 \text{ кг/м}^3$$

Запиленість перед рукавним фільтром при робочих умовах складає 76,5 г/м<sup>3</sup>.

### 2.3 Розрахунок рукавного фільтру

Розраховуємо густину газів за робочих умов, температура газу на вході в рукавний фільтр 200 °С за формулою (2.2):

$$\rho_t = 1,269 \frac{273(100-0,25-0,3-0,9)}{101,3(273+200)} = 0,714 \text{ кг/м}^3$$

Витрату газу на вході в рукавний фільтр за робочих умов розраховуємо за формулою (2.19), м<sup>3</sup>/год:

$$Q_t = \frac{Q_0 \cdot \rho_0}{\rho_t} \quad (2.19)$$

$$Q_t = \frac{18,05 \cdot 1,269}{0,713} = 32,13 \text{ м}^3/\text{с} = 115668 \text{ м}^3/\text{год}$$

Визначаємо необхідну площу фільтрування при питому газовому навантаженні  $q=1,1 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{хв}$  за формулою (2.20):

$$F_\phi = \frac{Q_t}{60 \cdot q} \quad (2.20)$$

$$F_\phi = \frac{115668}{60 \cdot 1,1} = 1752,5 \text{ м}^2$$

Обираємо найбільш підходящий за результатами розрахунків фільтр марки ФРІР-850х2, технічна характеристика якого наведена нижче у табл. 2.3.

Обчислимо фактичне газове навантаження на фільтр за формулою (2.21):

$$q_\phi = \frac{V}{F_\phi} \quad (2.21)$$

$$q_\phi = \frac{32,13}{1700} = 0,018 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с} = 1,08 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$$

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики ФРІР-850х2

Параметр	Значення
1. Продуктивність по газу, що очищається, тис.м <sup>3</sup> /год.	до 160000
2. Питоме газове навантаження, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> хв	0,7-1,8
3. Площа фільтрації, м <sup>2</sup>	1700
4. Гідравлічний опір фільтру, кПа не більше	2000

В якості фільтрувальної тканини обрано оксалон, параметри якого наведено у табл.2.4.

Таблиця 2.4 - Параметри фільтрувального матеріалу – оксалону

Фільтрувальний матеріал, артикул	4949 METEOR
Склад: волокно сітка	Оксалон Базальт
Вага	902-998 г/м <sup>2</sup>
Товщина	1,5-2,0 мм
Повітропроникність	119-166 л/дм <sup>2</sup> /хв
Розривний внутрішній тиск	6985 кПа
Температура: постійна короткочасна	250 °С 290 °С
Розривне зусилля: породільне поперечне	min 400 кг min 200 кг
Застосування	фільтрація газів

Регенерацію рукавів імпульсним продуванням здійснюється шляхом подачі імпульсів стислого повітря всередину рукава Але, оскільки газ, що очищується, є

вибухонебезпечним, тоді приймаємо, що регенерація фільтру відбувається шляхом подачі імпульсів стислого інертного газу (наприклад, азотом).

Визначаємо гідравлічний опір корпусу рукавного фільтру за формулою (2.22), Па:

$$\Delta P_K = \frac{\zeta \omega_{\text{вх}}^2 \cdot \rho_{\text{Г}}}{2} \quad (2.22)$$

де  $\zeta$ - коефіцієнт гідравлічного опору корпусу; для правильно конструйованих рукавних фільтрів зазвичай складає 1,5 – 2,0, приймаємо 1,5 [11];

$\rho_{\text{Г}}$ - густина газу за робочих умов, г/м<sup>3</sup>;

$\omega_{\text{вх}}$  - швидкість газу, що приймається, у вхідному патрубку фільтру;  $\omega_{\text{вх}} = 8$  м/с.

$$\Delta P_K = \frac{1,5 \cdot 8^2 \cdot 0,713}{2} = 34,224 \text{ Па}$$

Приймаємо гідравлічний опір рукавного фільтру  $\Delta P = 2000$  Па, після досягнення цього значення проводять регенерацію рукавів.

Опір фільтрувальної перегородки фільтру розраховуємо за формулою (2.23), Па:

$$\Delta P_{\phi} = \Delta P - \Delta P_K \quad (2.23)$$

$$\Delta P_{\phi} = 2000 - 34,224 = 1962,776 \text{ Па}$$

Визначаємо тривалість періоду між регенераціями за формулою (2.24)

$$t_{\phi} = \frac{\left(\frac{\Delta P_{\phi}}{\mu \omega_{\phi}}\right)^{-A}}{V \omega_{\phi} z_1} \quad (2.24)$$

де,  $\mu$  - динамічний коефіцієнт в'язкості газу, Па·с;

$\omega_{\phi}$  - швидкість фільтрування, м/с;

$z_1$  - початкова запиленість газу, кг/м<sup>3</sup>;

A і B – постійні фільтрування.

Розраховуємо постійні фільтрування A та B відповідно за формулами (2.25) та (3.26):

$$A = \frac{670 \cdot 10^{-6} \cdot (1 - \varepsilon_{\Pi})^2 \varepsilon_{TK}^3 h_0^{\frac{2}{3}}}{d_m^{1,175} \cdot \varepsilon_{\Pi}^3} \quad (2.25)$$

де  $\varepsilon_{\Pi}$  - пористість шару пилу, обчислюється за формулою (2.27);

$\varepsilon_{TK}$  - пористість тканини (оксалон (сітка – базальт)), долі од.;  $\varepsilon_{TK} = 0,55$ ;

$d_m$  – середній медіанний розмір частинок пилу, м;

$h_0 = 7,2 \cdot 10^5$ , Па [12].

$$\varepsilon_n = 1 - 79 \cdot d_m^{0,47} \quad (2.27)$$

$$\varepsilon_n = 1 - 79 \cdot (3,0 \cdot 10^{-6})^{0,47} = 0,8;$$

$$A = \frac{670 \cdot 10^{-6} \cdot (1 - 0,8)^2 \cdot 0,55^3 (7,2 \cdot 10^5)^{\frac{2}{3}}}{(3 \cdot 10^{-6})^{1,175} \cdot 0,8^3} = 2,16 \cdot 10^5;$$

$$B = 817 \cdot \frac{(1 - \varepsilon_{\Pi})}{d_m^2 \cdot \varepsilon_{\Pi}^3 \cdot \rho_{\Pi}} \quad (2.26)$$

$$B = 817 \cdot \frac{(1 - 0,8)}{(3 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 0,8^3 \cdot 2700} = 13,1 \cdot 10^9;$$

Розрахуємо динамічний коефіцієнт в'язкості газу за формулою (2.28):

$$\mu = \mu_0 \cdot \frac{273 + C}{T + C} \left( \frac{T}{273} \right)^{1,5} \quad (2.28)$$

де  $\mu_0$  - динамічний коефіцієнт в'язкості газу при нормальних умовах, Па·с [11];

$C'$ - постійна Сезерленда [11];

$T$  – абсолютна температура, К,  $T = 273 + t_r$ .

$$\mu_{\text{CO}_2} = 13,7 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 524}{273 + 200 + 254} \cdot \left( \frac{276 + 200}{273} \right)^{1,5} = 22,65 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_{\text{CO}} = 16,6 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 100}{273 + 200 + 100} \cdot \left( \frac{276 + 200}{273} \right)^{1,5} = 24,64 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 10,0 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 961}{273 + 200 + 961} \cdot \left( \frac{276 + 200}{273} \right)^{1,5} = 19,62 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_{\text{O}_2} = 20,3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 131}{273 + 200 + 131} \cdot \left( \frac{276 + 200}{273} \right)^{1,5} = 30,97 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_{\text{N}_2} = 17,0 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 114}{273 + 200 + 114} \cdot \left( \frac{276 + 200}{273} \right)^{1,5} = 25,56 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

Динамічний коефіцієнт в'язкості суміші газів обчислюється за формулою (2.29),  
Па·с:

$$\mu = 0,01 \sum_1^n \mu_i r_i, \quad (2.29)$$

де  $\mu_i$  - динамічні коефіцієнти в'язкості компонентів суміші, Па·с.

$$\begin{aligned} \mu &= 0,01 \cdot 10^{-6} (22,65 \cdot 9,73 + 24,64 \cdot 75,16 + 19,62 \cdot 11 + 30,97 \cdot 2 + 25,56 \cdot 2 \\ &= 24,01 \cdot 10^{-6}) \text{ Па} \cdot \text{с}. \end{aligned}$$

Тривалість періоду між регенераціями:



$$t_{\phi} = \frac{1962,776}{24,01 \cdot 10^{-6} \cdot 0,018} - 2,16 \cdot 10^5 = 251 \text{ с.}$$

## 2.4 Вибір обладнання для вивантаження вловленого пилу

Пил, який осідає в рукавному фільтрі після його регенерації надходить в бункер фільтру. Для вивантаження пилу з бункерів проектуємо систему пилотранспорту, що містить 10 шлюзових живильників Ш5-30 РНУ-01; два скребкових конвеєра КПС (М) - 200Т, бункер пилу, камерний насос ТА-23А.З бункерів рукавного фільтру пил за допомогою скребкових конвеєрів надходить в збірний бункер пилу. Наступним чином за допомогою камерного насосу пил по трубопроводах пневмотранспорту спрямовується в збірний бункер. Для видалення пилу з повітря на кришці цього бункеру розміщується циклон типу ЦН-15,  $d = 500$  мм.

Визначаємо масу накопиченого пилу в бункері рукавного фільтру за формулою (2.39), т/доб. [14]:

$$M_{\text{доб.}} = G_{\text{сух}} \cdot 24, \quad (2.39)$$

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

$$M_{\text{доб.}} = (76,5 - 0,03) \cdot 115668 \cdot 24 \cdot 10^{-6} = 212,3 \text{ т/доб.};$$

Розраховуємо загальний об'єм бункера за формулою (3.40), м<sup>3</sup>:

$$V_{\text{б.п.}} = \frac{M_{\text{доб.}}}{\gamma_{\text{нас}}} \quad (2.40)$$

де  $\gamma_{\text{нас.}}$  – насипна маса пилу, кг/м<sup>3</sup>. Становить 1800...2000 кг/м<sup>3</sup> [15]. Приймаємо 2000 кг/м<sup>3</sup>.

$$V_{б.п.} = \frac{212,3}{2000} = 106 \text{ м}^3$$

Приймаємо 2 збірних бункери  $V_{б.п.}=60 \text{ м}^3$ .

Технологічна схема утилізації пилу включає бункера для накопичення пилу. Призначенням бункерів є зберігання матеріалів в якості проміжних ємностей, що забезпечують стабільну роботу агрегатів, обладнання і транспорту. Використовуються прямокутні і круглі за формою бункера. Для уловленого пилу кут природного нахилу від  $20^\circ$  до  $30^\circ$  [15].

Вивантаження пилу з бункерів рукавного фільтру до бункерів-накопичувачів здійснюється двома гвинтовими конвеєрами типорозміру 2016М (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Характеристики гвинтового конвеєра типорозміру 2016М

Типорозміт конвеєра	Діаметр гвинта, мм	Шаг винта, мм	Частота обертання гвинта, об/хв	Продуктивність конвеєра, м <sup>3</sup> /год, при коефіцієнті заповнення			
				0,125	0,25	0,32	0,4
				2016М	200	160	60

## 2.5 Аеродинамічний розрахунок газовідвідного тракту

Розраховуємо повний опір газовідвідного тракту (рисунок 2.1) за формулою (2.30)

Па:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{кот.ут.}} + \Delta P_{\text{АКРП}} + \Delta P_{\text{рук.ф.}} + \Delta P_{\text{газів.}} \quad (2.30)$$

Де  $\Delta P_{\text{кот.ут.}}$  – опір котла-утилізатора, 300 Па;

$\Delta P_{\text{АКРП}}$  – опір порожнистого скрубера АКРП, 900 Па;

$\Delta P_{\text{рук.ф.}}$ , – опір рукавного фільтру, Па;

$\Delta P_{\text{газів.}}$  – опір з'єднувальних газоходів, Па.

Опір з'єднувальних газоходів обчислюється за формулою (2.31), Па:

$$\Delta p = \sum_{i=1}^m \Delta p_{\text{тп}i} + \sum_{i=1}^m \Delta p_{\text{мі}} \quad (2.31)$$

де  $i$  – номер розрахункової ділянки;

$m$  – кількість розрахункових ділянок.

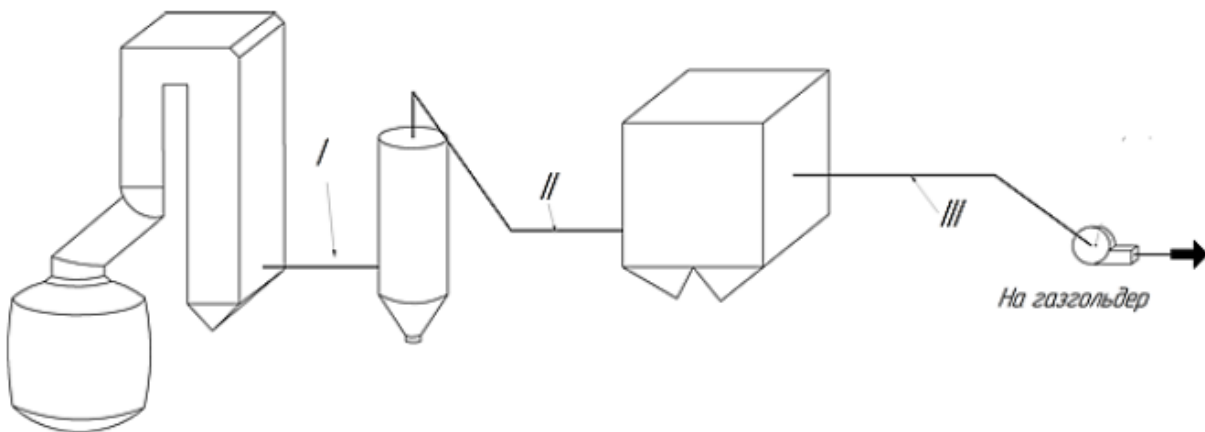


Рисунок 2.1 – Схема розрахунку аеродинаміки газовідвідного тракту

Умовно розділимо газовий тракт на наступні ділянки:

1. ділянка 1 - котел-утилізатор-порожнистий випарний скрубер;
2. ділянка 2 - порожнистий випарний скрубер-рукавний фільтр;

3. ділянка 3 - рукавний фільтр – газгольдер.

Визначаємо втрати тиску на тертя за формулою (2.32), Па:

$$\Delta p_{\text{тр} \cdot i} = \lambda_i \cdot \frac{l_i}{d_i} \cdot \rho_{\text{г}i} \cdot \frac{w^2}{2} \quad (2.32)$$

де  $\lambda_i$  – коефіцієнт гідравлічного тертя.

Для спрощення розрахунків приймаємо, що коефіцієнт гідравлічного тертя дорівнює 0,02.

Для розрахунку діаметрів газоходів швидкість і об'ємна витрата газів обрані таким чином, щоб на всіх ділянках і відгалуженнях газоходу вони були майже однаковими.

Діаметр газоходу визначається за формулою (2.33):

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{w\pi}} \quad (2.33)$$

де  $w$  – швидкість газів у газоході, м/с.

Втрати тиску на тертя в газоході, рівні сумі втрат на окремих розрахункових ділянках, розраховуються за формулою (2.34), Па:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \sum_{i=1}^m \Delta p_{\text{тр}i} \quad (2.34)$$

Втрати тиску на місцеві опори розраховуються за формулою (2.35):

$$\Delta p_{\text{мі}} = \zeta \cdot \rho_{\text{г}i} \cdot \frac{v_i^2}{2} \quad (2.35)$$

де  $\zeta_i$  – коефіцієнт місцевого опору, що залежить від його виду, форми трубопроводу, розмірів перешкод на шляху потоку. Значення коефіцієнту в подальших розрахунках приймалися за [13].

Подальші розрахунки діаметру, швидкості, втрат тиску по довжині та місцевих опорів проводяться за вищенаведеними формулами.

### Ділянка 1

Приймаємо швидкість газів у газопроводі рівною 18 м/с [13]. Наступним чином розраховуємо діаметр трубопроводу на ділянці 1:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 46,68}{18 \cdot 3,14}} = 1,818 \text{ м}$$

Приймаємо стандартний діаметр газопроводу 1,8 м.

Визначаємо дійсну швидкість на першій ділянці за формулою (2.36):

$$w = \frac{4Q}{\pi \cdot d^2} \quad (2.36)$$

$$w = \frac{4 \cdot 46,68}{3,14 \cdot 1,8^2} = 18,35 \text{ м/с}$$

Обчислюємо втрати тиску по довжині трубопроводу на першій ділянці ( $l_1 = 200 \text{ м}$ ):

$$\Delta P_{\text{тр}1} = 0,02 \cdot 0,515 \cdot \frac{200}{1,8} \cdot \frac{18,35^2}{2} = 192,66 \text{ Па}$$

Місцеві опори на ділянці 1:

- вхід в канал

- дифузор

Розраховуємо втрати тиску на місцеві опори на ділянці 1:

$$\Delta P_{\text{м}1} = 1,3 \cdot 0,515 \cdot \frac{18,35^2}{2} = 112,73 \text{ Па}$$

Загальні втрати тиску на першій ділянці:

$$\Delta P_1 = 192,66 + 112,73 = 305,39 \text{ Па}$$

### Ділянка 2

Температура газу на виході зі скрубера АКРП за попередніми розрахунками становить 200 °С. Витрата газів за робочих умов складає 32,13 м<sup>3</sup>/с.

Приймаємо швидкість газів у газопроводі рівною 18,5 м/с, тоді обчислюємо діаметр трубопроводу на ділянці 2:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4Q}{w\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 32,13}{18,5 \cdot 3,14}} = 1,50 \text{ м}$$

Втрати тиску по довжині трубопроводу на другій ділянці складають (l<sub>2</sub>=110м):

$$\Delta P_{\text{тр}2} = 0,02 \cdot 0,713 \frac{110}{1,5} \cdot \frac{18,35^2}{2} = 178,94 \text{ Па}$$

Місцеві опори на ділянці 2:

- конфузор
- поворот на 90° (секційне коліно), 3 шт

Втрати тиску на місцеві опори на другій ділянці складають:

$$\Delta P_{\text{м}2} = 1,37 \cdot 0,713 \cdot \frac{18,35^2}{2} = 167,12 \text{ Па}$$

Обчислюємо загальні втрати тиску на другій ділянці:

$$\Delta P_2 = 178,94 + 167,12 = 346,06 \text{ Па}$$

### Ділянка 3

Приймаємо, що температура газу після очищення в рукавному фільтрі становить 170°C.

Розрахуємо витрату газу за робочих умов:

$$Q_t = 18,05 \cdot \frac{(273 + 170)101,3}{(100 - 0,25 - 0,3 - 0,9 - 2,5 - 0,305 - 0,346)273} =$$

$$= 31,203 \text{ м}^3/\text{с} = 112330,8 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Приймаємо швидкість газів у газопроводі 18,5 м/с, аналогічним способом розраховуємо діаметр газоходу на третій ділянці складає:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4Q}{w\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 31,2}{18,5 \cdot 3,14}} = 1,47 \text{ м}$$

Приймаємо на третій ділянці діаметр газоходу таким як на ділянці 2 – 1,5 м, таким чином швидкість газу у трубопроводі буде дорівнювати:

$$w = \frac{4Q}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 31,2}{\pi \cdot 1,5^2} = 1,47 \text{ м/с}$$

Таким чином, втрати тиску по довжині трубопроводу на третій ділянці складають ( $l_2 = 22\text{м}$ ):

$$\Delta P_{\text{тр}2} = 0,02 \cdot 0,722 \frac{22}{1,5} \cdot \frac{17,67^2}{2} = 33,06 \text{ Па}$$

Місцеві опори на ділянці 3:

- поворот на 120°
- поворот на 90 °
- дифузор

Обчислюємо втрати тиску на місцеві опори на третій ділянці:

$$\Delta P_{m2} = 0,68 \cdot 0,722 \cdot \frac{17,67^2}{2} = 33,06 \text{ Па}$$

Розраховуємо загальні втрати тиску на третій ділянці:

$$\Delta P_2 = 76,65 + 33,06 = 109,71 \text{ Па}$$

Загальний опір системи газоочищення становить:

$$\Delta P = 0,25 + 0,3 + 0,9 + 2,0 + 0,305 + 0,346 + 0,1097 = 4,21 \text{ кПа}$$

## 2.6 Вибір тягодуттєвого обладнання

Тягодуттєве обладнання підбирають на основі аеродинамічного розрахунку газового тракту, що відводить.

Продуктивність димососу приймають з запасом 10% по відношенню до розрахованої кількості газів на вході в димосос с урахуванням присосу повітря по газовому тракту, що відводить, незалежно від температури газів, проте з поправкою на барометричний тиск.  $p_{бар} = 100 \text{ кПа}$ :

Обчислюємо продуктивність димососу за формулою (2.36), м<sup>3</sup>/год:

$$Q_d = 1,1 \cdot Q_p \cdot \frac{101,3}{P_{бар}} \quad (2.36)$$

$$Q_d = 1,1 \cdot 112330,8 \cdot \frac{101,3}{100} = 125170,21 \text{ м}^3/\text{год}$$



Розрідження, що створюється димососом приведенне до умов каталогу, по якому вибирається димсос  $\Delta p_{кат}$ , розраховується за формулою (2.37), Па:

$$\Delta p_{кат} = \beta_2 \cdot \Delta p_{заг} \cdot K_p \quad (2.37)$$

де  $\beta_2$  – коефіцієнт запасу тиску. Приймаємо коефіцієнт запасу тиску  $\beta_2=1,2$ ;

$\Delta p_{заг}$  – сумарний опір газовідвідного тракту, отриманий в результаті аеродинамічного розрахунку, Па.

$K_p$ – коефіцієнт перерахунку.

Коефіцієнт  $K_p$  розраховується за формулою (2.38):

$$K_p = \frac{T_{гi}}{T_x} \cdot \frac{101,3}{p_{бар}} \cdot \frac{\rho_{0гi}}{\rho_{0в}} \quad (2.38)$$

де  $T_x$ – температура, для якої складена характеристика вентилятора (димососу), К,  $T_x=100+273=373$  К;

$T_{гi}$ – середня температура газу на останній розрахунковій ділянці газоходу, К.  $T_{гi}=(170+273)=393$  К;

$\rho_{0гi}$ – густина газу за нормальних умов на останній розрахунковій ділянці, кг/м<sup>3</sup>;

$p_{бар}$ – атмосферний тиск, кПа;

$\rho_{0в}$ – густина повітря за нормальних умов, кг/м<sup>3</sup>.

$$K_p = \frac{393101,3}{373100,0} \cdot \frac{1,269}{1,293} = 1,05$$

Обчислюємо розрідження, що створюється димотягом:

$$\Delta p_{кат} = 1,2 \cdot 4210 \cdot 1,05 = 5304,6 \text{ Па}$$

Потужність, яка споживається димососом визначаємо за формулою

$$N = \frac{V_{\text{кат}} \Delta p_{\text{кат}} \cdot 10^{-3}}{\eta_{\text{кат}} K} \quad (2.39)$$

де  $\eta_{\text{кат}}$  та  $N_{\text{кат}}$  – каталожні значення відповідно к.к.д. і потужності.

$$N = \frac{125170,21 \cdot 5304,6 \cdot 10^{-3}}{0,942 \cdot 1,05} = 671,3 \text{ кВт}$$

На підставі розрахованих параметрів застосовуємо до установки димосос типу ДН №26Ф з електродвигуном 800 кВт 750 об./хв. Тиск, який розвиває димосос - 5550 Па при продуктивності 138000 м<sup>3</sup>/год.

## 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 3.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища

Досвід експлуатації технологічного обладнання та агрегатів киснево-конвертерних цехів показує, що для обслуговуючого персоналу створюються несприятливі умови праці. Можна визначити основні шкідливі виробничі фактори:

- тепловиділення від технологічного устаткування, розплавленого металу і шлаку;
- газовиділення, що утворюються при продуванні конвертера і роботі газових пальників при сушці футерування відремонтованих конвертерів і сталерозливних ковшів;
- пилевиділення, що утворюється при транспортуванні сипких матеріалів, продуванні конвертера, сливі чавуну з ковша в конвертер, випуску сталі і шлаку з конвертера.

Джерелами теплових викидів є корпус конвертера і гаряча горловина, відпрацьовані гази, розплавлений чавун, розплавлена сталь і шлак. Інтенсивність випромінювання в цих зонах коливається від 350 до 10500 Вт/м<sup>2</sup>. Температура повітря під час деяких операцій може бути дуже високою навіть на відстані 2-3 м від джерела тепла, особливо влітку (до 45-50°C), коли температура зовнішнього повітря становить +23°C.

Загазованість повітряного середовища киснево-конвертерного цеху вельми незначна, а на більшій його частині практично відсутня. Проте при продуванні конвертерів і при використанні газових пальників при сушці відремонтованих конвертерів і сталерозливних ковшів в повітря виробничих приміщень потрапляють токсичні гази, концентрація яких у ряді випадків перевищує санітарні норми.

На робочому майданчику в конвертерів концентрація окислу вуглецю перевищує норму лише періодично. Найбільш високі концентрації окислу вуглецю і сірчистого газу, що часто зустрічаються, мають місце на майданчику над працюючим конвертером в зоні газових пальників котла-утилізатора.

Пил, що викидається з конвертерів, має щільність 4,3 г/см<sup>3</sup>; середня кількість пилу в конвертерному газі становить 25-30 кг/т. Близько 80% його частинок мають розмір до 5 мкм; лише 5-15% пилу мають частинки розміром більше 1 мкм. Такий пил розноситься повітряними потоками на великі відстані від конвертера і довго не осідає. Пил виділяється під час перевантаження, просіювання, підготовки шихти, завантаження шихти в піч, вибивання футерівки ковша, ремонту футерівки, укладання конвертера і сталерозливного ковша, розриву і ремонту футерівки.

Експлуатація устаткування в конвертерному цеху супроводиться інтенсивним шумом, значно погіршуючи умови праці робітника. Джерелами шуму є сам конвертер, трансформатори, пересувні залізничні і крани механізми і інше устаткування. Рівень шуму розрізняється залежно від виробничої ділянки, часто він може досягати 100 дБ і більш.

Правильна організація праці і відпочинку в забрудненому шумом конвертерному виробництві сприяє профілактиці професійних захворювань.

У табл. 3.1 представлена оцінка чинників виробничого і трудового процесу для конверторника.

Таблиця 3.1 - Оцінка факторів виробничого й трудового процесу конверторника

№	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норматив значення (ПДК, ПДУ)	Фактич. значення	III клас Шкідливі й небезпечні умови й характер праці			Тривалість дії фактора за зміну, %
				I міра	II міра	III міра	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup>					-	
	1 клас: хром	0,01	0,036	-	3,6	-	
	нікель	0,05	0,125	-	2,5	-	
	марганець	0,05	0,2	-	4	-	
	бенз(а)пирен	0,00015	0,00026	1,7	-	-	
2 клас: мідь	1,0	1,15	1,15	-	-		

	3-4 клас: CO	20,0	80	4	-	-	
	SO <sub>2</sub>	10,0	37,5	3,75	-	-	
	NO	5,0	29,5	-	5,9	-	80
2	Пил переважно фіброгенного впливу, мг/м <sup>3</sup>	4,0	143	-	-	35,8	
3	Вібрація (загальна й локальна), дБ	92	-	97	-	-	80
4	Шум, дБА	80	89	9	-	-	80
5	Мікроклімат у приміщенні:						
	- температура повітря, °С	16...27	40	-	-	13	80
	літо	15...21	14	1	-	-	
	зима						
	- швидкість руху повітря, м/с						
літо	<0,5	0,8	1,6	-	-	80	
зима	<0,4	0,8	2	-	-		
- відносна вологість повітря							
літо	<70	50	-	-	-		
зима	<75	55	-	-	-		
- інфрачервоне випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	140	3000	-	-	3000	80	

### 3.2 Заходи щодо поліпшення умов праці

У киснево-конвертерних цехах навчання людей правилам охорони праці та техніки безпеки проводиться за допомоги інструктажів, лекцій, бесід, пам'яток, плакатів, трафаретів та ін.. Інструктаж з техніки безпеки буває увідний - для наново прийнятих робочих за загальними правилами охорони праці та техніки безпеки на робочому місці; первинний - їм же по правилам безпеки на робочому місці; повторний піврічний та річний - всім робочим ділянки та цеху; позачерговий, його проводять при порушенні правил техніки безпеки або при упровадженні нової техніки та технології.

Усі інструктажі з техніки безпеки реєструються у спеціальному журналі, де ті, що навчаються та навчають, розписуються.

Робочі, згідно з правилами охорони праці, забезпечуються спеціальним одягом, рукавицями, взуттям та іншими захисними припасуваннями.

Санітарними нормами встановлені наступні межі температури повітря в гарячих цехах: в теплий період року температура на робочому місці в цеху не повинна перевищувати на 5°C температуру зовнішнього повітря, але в той же час не має бути більша за 28°C.

Робота в умовах підвищеної температури потребує додаткових витрат енергії людини, пов'язаних з боротьбою проти перегріву тіла, що призводить до втрати солі в організмі. При цьому з'являється відчуття слабкості. Знижується продуктивність праці. Негативний вплив температури на працездатність людини посилюється з підвищенням вологості повітря.

Нині на заводах суворо за графіком здійснюються медичні профілактичні огляди з метою попередження перевантаження організму та своєчасного виявлення у ньому небажаних відхилень.

В інструкціях з техніки безпеки залежно від умов та специфіки кожного киснево-конвертерного цеху розроблені правила безпечної праці для кожної ділянки для всіх професій. Загальні положення яких розглянуті нижче.

Під час завалки металобрухту у конвертер - безпека визначається налагодженням завалочних пристроїв та правильністю наповнення совків у шихтовому відділенні.

Металобрухт має бути навантажений у совки рівномірно з метою запобігання самочинного перекидання під час підйому. На шихтових дворах під час завантаження металобрухту у совки повинен здійснюватися додатковий контроль, щоб запобігти потрапляння у конвертер вибухонебезпечних предметів (закритих посудів, балонів, тощо).

Одним із заходів застереження під час завалки є видалення людей на безпечну відстань. Конверторник, який керує завалкою, повинен знаходитися у безпечній зоні, але обов'язково у полі зору машиніста крану та пульта управління конвертером та узгоджувати їх дії.

Під час заливки чавуну у конвертер на ковшах ззовні не повинно бути настилів, носки ковшів мають бути заправлені вогнетривкою масою для виключення розбризкування чавуну. Перед підйомом чавуновозного ковша з лафету треба переконатися у правильності захвату цапф гаками. Найтяжчі наслідки можуть бути при недотриманні правил безпеки під час заливки чавуну у конвертер. Слід постійно пам'ятати, що викид чавуну з конвертера та вибух можуть статися в результаті бурхливої реакції між закисом заліза шлаку, що залишився від попередньої плавки з вуглецем, попадання з металобрухтом у конвертер вибухонебезпечних речовин, закритих посудів, тощо. Конверторник, який керує заливкою чавуну у конвертер, повинен знаходитися у безпечній зоні, у належному спецодязі та у захисній масці. У зоні дії конвертера не повинно бути людей. Перед склом кабіни машиніста має бути встановлено надійний захисний екран. Після заливки у конвертер першої порції чавуну необхідно зробити паузу (декілька секунд), а потім заливати решту чавуну. Починати заливку чавуну потрібно малим струменем.

Машиніст пульта управління, головна роль якого полягає у веденні технологічного процесу, окрім показників приладів повинен слідкувати візуально за поведінкою полум'я над горловиною конвертера, наявністю викидів і характером виділення іскор з його горловини. Особливо уважно він повинен слідкувати за відсутністю течєю води з котла, фурми та інших охолоджуваних елементів.

Для зменшення впливу теплового випромінювання горловина конвертера під час відбору проб металу та шлаку повинна перекриватися спеціальним щитом. Проби слід

відбирати тільки з-за теплозахисного екрану при горизонтальному положенні конвертера при спокійному стані ванни. Той, хто відбирає пробу повинен бути в окулярах із синім склом та перевірити наявність справного інструменту.

Проби слід відбирати тільки сухою ложкою та заливати тільки у сухі пробниці. Вибивку проби зі стаканчика проводять після повного застигання металу. Під час відбирання проб та заміряння температури, а також після випуску плавки, частково зливають шлак у шлакові чаші, встановлені під конвертером. Потрапляння у шлакову чашу вологи або вологого сміття категорично забороняється через те, що це призводить до вибухів. Забороняється також проводити осадку шлаку мокрими матеріалами.

У процесі випуску сталі з конвертера забороняється знаходження людей у місцях, куди можуть потрапити бризки розплавленого металу та шлаку.

Нерідко під час випуску перекишеного металу спостерігається бурхливе його шумування та викиди з ковша. У цьому випадку випуск треба припинити та осадити метал кусками сухого алюмінію або феромарганцю. Шумування такого металу може мати місце й після зливу, тому за станом металу треба спостерігати до передачі його у розливальний прогін.

Особливу небезпеку для обслуговуючого персоналу являє робота з киснем. Конверторники на своїх робочих місцях повинні слідкувати за справністю кисневих запірників, шлангів, з'єднань, ні в якому випадку не допускати потрапляння до них мастил, витоку кисню [16].



### 3.3 Виробнича санітарія і гігієна

#### 3.3.1 Мікроклімат виробничих приміщень

Санітарними нормами встановлені наступні межі температури повітря в гарячих цехах: в теплий період року температура на робочому місці в цеху не повинна перевищувати на 5°C температуру зовнішнього повітря, але в той же час не має бути більша за 28°C. Робота в умовах підвищеної температури потребує додаткових витрат енергії людини, пов'язаних з боротьбою проти перегріву тіла, що призводить до втрати солі в організмі. При цьому з'являється відчуття слабкості. Знижується продуктивність праці. Негативний вплив температури на працездатність людини посилюється з підвищенням вологості повітря.

Таблиця 3.2 – Допустимі параметри мікроклімату в приміщеннях конвертерного цеху

Період року	Категорія робіт	Температура, °C				Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
		Верх. кордон р.м.		Нижній кордон на р.м.			
		Постій.	Непостій.	Постій.	Непостій.		
Холодний	важка, III	19	20	13	12	75	< 0,5
Теплий	важка, III	26	28	15	13	65	0,2...0,6

Таким чином, унаслідок інтенсивності виробничих операцій і переробки великих кількостей розплавленого металу створюються високі теплові напруги на робочих місцях, що вимагає постійного контролю за станом аерації і роботою систем механічної вентиляції.

### 3.3.2 Опалення та вентиляція

Опалювання промислових будинків та споруд має значення не лише для створення потрібної температури в приміщеннях, але й для збереження конструкцій, оскільки погано опалювальні будівлі схильні до вогкості та руйнування.

Системи опалення в конвертерних цехах не передбачені через надмірну спеку. У виробничих приміщеннях системи опалення передбачені для підтримання температури повітря на нормативному рівні в холодну пору року. Система опалення компенсує тепловтрати за рахунок нагрівання повітря, що надходить у приміщення, і створює рівномірну температуру в робочому просторі.

Температура повітря в конвертерному цеху залежить від кількості тепла, що виділяється в цеху від обладнання, такого як конвертери, розплавлений метал, ковші та ролики, сонячної радіації та температури внутрішніх стін, даху та інших конструкцій.

Оскільки в конвертерних цехах виділяється велика кількість тепла, пилу (особливо дрібнодисперсного) і газів, систематичний повітрообмін має вирішальне значення для створення належних умов праці. Природна вентиляція (аерація) є основним засобом боротьби з виробничими шкідливостями.

Природна вентиляція здійснюється за рахунок різниці температур між внутрішнім і зовнішнім повітрям (термічний тиск) і дії вітру (вітровий тиск).

У теплу пору року аерація вважається ефективною, якщо природний повітрообмін забезпечує середню температуру на робочому місці, яка не перевищує температуру зовнішнього повітря більш ніж на 5°C. У холодну пору року аерацію слід здійснювати, щоб запобігти потраплянню великої кількості холодного повітря в робочу зону цеху.

Природна вентиляція регулюється шляхом відкриття отворів або ліхтарів, розташованих уздовж стін будівлі. У робочому просторі передбачена природна та механічна вентиляція. Природна вентиляція на гарячих робочих місцях влаштовується для загального повітрообміну, який змінює умови якості повітря у всьому приміщенні. У порівнянні з механічною вентиляцією, аерація дозволяє заощадити енергію і капітальні витрати. Механічна вентиляція в гарячих цехах може змінити якість

повітряного середовища там, де загальнообмінна вентиляція зазвичай не забезпечує необхідних умов.

Природна вентиляція (аерація) має вигляд припливно-витяжних аераційних отворів або аераційних ліхтарів. Аерація відбувається там, де немає шкідливих викидів. В іншому випадку необхідно передбачити механічну вентиляцію-припливну (повітряний душ, оазис) або витяжну (парасолька, бічне відсмоктування, кільцеве відсмоктування, укриття, витяжна шафа). Кисневі конвертори отримують та звану "спідницю", яка затримує близько 95 % викидів, що дозволяє використовувати природну вентиляцію, оскільки концентрація шкідливих речовин поблизу конвертерного цеху не перевищує нормативну характеристику (0,3ГДК).

### **3.3.3 Освітлення**

Здорове і безпечне робоче середовище в конвертерному цеху безпосередньо залежить від освітлення цеху і робочої зони: конвертерний цех освітлюється природним денним світлом і штучними джерелами світла.

Нормальне природне освітлення на робочому місці забезпечується бічними світловими ліхтарями (вікнами) і світловими ліхтарями на даху будівлі. Важливо підтримувати скло у вікнах і дахових ліхтарях в чистоті, тому що якщо скло забруднене, то світлопропускна здатність скляної поверхні швидко зменшується. Тому скло вікон і ліхтарів слід регулярно очищати від пилу, кіптяви, а взимку - від снігу.

Норма природного освітлення для конвертерних цехів базується на коефіцієнті природного освітлення (відношення освітленості в точці приміщення до освітленості, визначеної одночасно на горизонтальній поверхні, розташованій на відкритому майданчику і освітленій розсіяним світлом).

Природне освітлення включає верхнє і комбіноване (одночасне верхнє і бічне освітлення); штучне освітлення, що використовується в конвертерних цехах, можна розділити на загальне (при якому джерело світла освітлює все приміщення), місцеве (при якому джерело світла освітлює тільки певні ділянки цеху) і комбіноване (при якому загальне і місцеве освітлення є одночасним).

Крім робочого освітлення, яке використовується в нормальних технічних процесах, на заводі також є аварійне освітлення для використання з незалежним джерелом живлення в разі відключення електроенергії.

В цілях безпеки переносні ручні світильники живляться від напруги 12—36 В.

### **3.3.4 Санітарно-побутові приміщення**

Санітарно-побутові приміщення входять до комплексу допоміжних приміщень підприємств. До загальних і спеціальних побутових улаштувань належать гардеробні, душові, умивальники, кімнати особистої гігієни жінки, пункти харчування, місця для паління, приміщення для прання, хімічної чистки і сушки, ремонту робочого одягу і взуття, приміщення для обігріву працюючих. Гардеробні, як правило, знаходяться поруч з душовими.

Кількість місць при збереженні одягу в гардеробних повинна відповідати: при збереженні одягу на вішалках – кількості працюючих у двох суміжних, найбільш численних змінах; при збереженні одягу в шафах – списочній кількості працюючих. Гардеробні повинні бути обладнані лавами 0,3 м завширшки. Умивальники розміщують у гардеробних або суміжних з ними приміщеннях. Крани в умивальниках встановлюють із розрахунку один кран на 7-20 чол. Для чоловіків та жінок умивальники влаштовують у різних приміщеннях. Кожен індивідуальний умивальник повинен бути обладнаний змішувачем з підключенням гарячої та холодної води. Душові обладнують у приміщеннях, суміжних з гардеробними. Між душовою, яка має 6 і більше сіток і гардеробною розміщують тамбур. Забороняється використання побутових приміщень на зазначенням. Усі побутові приміщення на видному місці повинні мати укомплектовані аптечки. Дезинфекцію побутових приміщень необхідно робити не рідше 1 разу на місяць.

На робочих майданчиках сталеплавильних цехів завжди повинен бути вітамінізований напій, квас, чай, що забезпечує швидке відновлення витрат енергії

організмом робітника. Обов'язковим є встановлення питних фонтанчиків та сатураторів з підсоленою газованою водою. Рекомендована температура питної води влітку 8-12°C.

Відстань від робочих місць до питної води не повинна перевищувати 75 м. На підприємствах з кількістю працюючих більше 300 чол. повинні функціонувати медичні пункти. Вони розміщуються на перших поверхах допоміжних або виробничих будов. Відстань від робочих місць до медичного пункту не повинна перевищувати 1000 м.

### **3.4 Об'ємно-планувальні вирішення будівель і споруджень цеху**

У відповідності до Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів санітарно-захисна зона для металургійних підприємств з повним металургійним циклом, повинна складати 1000 м, оскільки ці підприємства внесені до першого класу. Конвертерний цех повинен розташовуватися з підвітряного боку по відношенню до житлового району з врахуванням троянди вітрів. А розташування будівель і споруджень виробництва повинне забезпечувати найбільш сприятливі умови аерації і природного освітлення приміщень.

Конвертерний цех розміщується в закритих будівлях, до складу якого, крім головного (конвертерного корпусу) входять ряд відділень, до яких відносяться переливання чавуну, металошихтове, шихтове сипучих матеріалів, рафінування сталі, розливання сталі, шлакове і димососне). Крім того, конвертерний цех при наявності розливального прольоту у виплавці обслуговують допоміжні відділення – розливання зливків, охолодження, чищення і змащування виливниць, підготовки потягів. Головний конвертерний корпус має кілька прольотів: завантажувальний, конвертерний, сипучих матеріалів, підготовки ковшів і шлаковий. В конвертерному прольоті може бути технологічна дільниця підготовки феросплавів.

Планування цеху і взаємне розміщення різних ділянок технологічного процесу відповідають послідовності виробничих операцій і виключають зустрічний рух сировини і готової продукції, що важливе для створення нормальних санітарно-гігієнічних умов і забезпечення безпеки праці. Будівля конвертерного цеху виконується з холодних збірних конструкцій, стіни — із збірних залізобетонних плит і панелей [18].

### 3.5 Електробезпека в конвертерному виробництві

Електрообладнання в конвертерному цеху різноманітне. Воно включає синхронні та асинхронні електродвигуни змінного струму напругою 1000В і вище, а також електродвигуни напругою до 1000В, контрольно-вимірювальну апаратуру, кранове обладнання та електромережі цеху.

До основного електрообладнання конвертера відносяться автоматичні вимикачі, силові трансформатори, джерела живлення короткого замикання і апаратура автоматичного управління рухом кисневих носіїв.

Тому з точки зору ризику ураження персоналу електричним струмом киснево-конверторні цехи відносяться до особливо небезпечних об'єктів через велику кількість електрообладнання, що використовується. У виробничих приміщеннях висока температура повітря, значний вміст струмопровідного пилу, підлоги струмопровідні і завжди існує ризик одночасного дотику людей до металевих конструкцій і частин електрообладнання, НПАОП 40.1-1.01-97.

Небезпека ураження електричним струмом у конвертерних цехах виникає через різноманітне обладнання, включаючи електроприводи (у тому числі пускачі та пускорегулюючі апарати), електрообладнання на підйомно-транспортних пристроях, електрифікований транспорт цеху, зварювальні апарати, освітлювальне обладнання та електричний ручний інструмент.

Під час роботи електродвигунів із замкнутим контуром можна випадково доторкнутися до незахищених струмопідвідних проводів на клемних з'єднаннях корпусу електродвигуна, якщо вони не захищені. Особливу увагу слід звернути на переносні електродвигуни, які використовуються для роботи з різним переносним електроінструментом. Коли корпус таких електродвигунів знаходиться під напругою, тісний контакт з великими контактними поверхнями створює небезпеку сильного ураження оператора електричним струмом.

Для напруги до 1000В у цехах кисневих конверторів використовується чотирипровідна трифазна система електропостачання з глухозаземленою нейтраллю (380/220В); для напруги понад 1000В – трипровідна система з ізольованою нейтраллю.

Електрозахисні засоби: ізолюючі штанги – використовуються при роботі під напругою з високовольтними роз'єднувачами, ізолюючі кліщі для включення запобіжників, спеціальні гумові діелектричні килимки, товщиною 3-5 мм для обладнання до 1000 В і 7-8 мм для обладнання вище 1000 В.

Для зниження ризику ураження електричним струмом всі металеві частини конструкції повинні бути заземлені ГОСТ 12.1.30-81 ССБТ [19].

### **3.6 Заходи щодо пожежної безпеки**

Забезпечення пожежної безпеки підприємств металургійного комплексу являються актуальними та нагальними задачами сьогодення. Пожежна безпека даних підприємств обумовлена технологічними процесами в яких використовується велика кількість горючих речовин та матеріалів. А в умовах енергонасиченого виробництва, яким є конвертерний цех, виникнення джерела запалювання для вибуху пилоповітряної суміші або загоряння пилу ПВП, не може бути виключено.

Пожежна небезпека сталеплавильного виробництва характеризується наявністю великої кількості рідкого металу, а також наявністю горючих газів. У сталеплавильних цехах можуть відбуватися вибухи і викиди рідкого металу в результаті завантаження в сталеплавильні печі і конвертери вологого металобрухту і шихти. Завантаження металобрухту, наприклад, в конвертери здійснюється однією або двома порціями (совками) і відразу після цього виробляється заливка чавуну. Після заливки чавуну вся маса металобрухту виявляється під рідким чавуном, внаслідок чого відбувається інтенсивний випар вологи і викид розплавленого металу. Викиди рідкого металу можуть відбуватися також і у тому випадку, коли в рідкий метал вводять вологі розкислювачі і легуючі матеріали. При прогарі футерувань сталеплавильних агрегатів і фурмених апаратів також виникає вірогідність вибуху з викидом рідкого металу при контакті

розплавленого металу з вологими матеріалами. При викиді розплавлений метал може бути джерелом займання горючих матеріалів і сприяє зниженню здатності конструкцій будівлі цеху, що несе. Не дивлячись на те, що нормативними документами в будівлях III ступеня вогнестійкості допускається вживання незахищених металевих колон, на об'єктах чорній металургії в місцях можливої протоки (викиду) рідкого металу доцільно виробляти захист металевих колон, що несуть, на висоту 1,5 – 2,0 м-кодів від рівня підлоги. Захист колон доцільно виконувати вогнетривкою цеглиною або бетоном. Межа вогнестійкості захищеної колони має бути 2 – 2,5 ч. Також нижня частина будівлі сталеплавильного цеху має бути виконана із залізобетонних панелей.

Для забезпечення пожежної безпеки кабельного господарства необхідно, в першу чергу, передбачити заходи, що унеможливають попадання рідкого металу в кабельні і масляні підвали і тунелі, оскільки це неминуче викличе пожежу, а, отже, і зупинку всього виробництва. Окрім цього, для забезпечення пожежної безпеки кабельних комунікацій, маслопідвалів і маслотунелів застосовують технічні, експлуатаційні, організаційні і режимні заходи.

При проектуванні сталеплавильних цехів необхідно приділяти увагу вибухонебезпечним приміщенням. Так, газоочистки технологічних газів конверторів розташовані в приміщеннях, що відносяться до категорії А, тому в них необхідно дотримувати всі вимоги по забезпеченню пожежної і вибухової безпеки, передбачені для вибухонебезпечних приміщень. Слід зазначити, що в електросталеплавильному виробництві значну пожежну небезпеку представляють пічні масляні трансформатори, які розташовують поблизу печей для того, щоб кабельна лінія від низької сторони трансформатора до голівки електротримача була короткою. При цьому кабелі або гнучкі стрічки токопроводів захищають від дії прямого теплового випромінювання, наприклад, вживанням азбестових щитів, або навіть вживанням водоохолоджуваних токопроводів. Найбільш небезпечними місцями токопроводів є контакти. Тому для зниження контактного перехідного опору ці з'єднання слід виконувати за допомогою зварки. Як профілактичні заходи в трансформаторних камерах необхідно передбачати стаціонарні установки гасіння пожежі і автоматичну пожежну сигналізацію. Пожежогасінню владнують не автоматичної дії (із-за можливих помилкових спрацьовувань, які можуть



викликати коротке замикання на проходячих в камері голих шинопроводах). Установка пожежогасінні має ручний дистанційний пуск. Пожежна сигналізація видає сигнал на пульт управління піччю і, як правило, в пожежне депо [19].

## ВИСНОВКИ

За підсумками проведення теоретичного аналізу та проведених розрахунків було встановлено наступне:

1. Під час відводу газів від конвертера найбільш доцільно використовувати систему з допалювання монооксиду вуглецю. В результаті використання даної системи хімічне тепло технологічного газу, що допалюється утилізується в охолоджувачі конверторних газів з отриманням технологічного пару енергетичних параметрів;

2. Найбільш ефективною є система очищення конвертерного газу, яка має в своєму складі: котел-утилізатор ОКГ-180, порожнистий випарний скруббер АКРП, рукавний фільтр типу ФРІР-850х2, димосос та димову трубу.

3. Ефективність очищення газу в основному газоочисному апараті, яким є рукавний фільтр, становить 99,9 % при кінцевій запиленості  $30 \text{ мг/м}^3$ , що задовольняє екологічним нормативам для газів, що викидаються в атмосферне повітря;

4. Проведено аеродинамічний розрахунок газового тракту на основі якого підібрано тягодуттєвий пристрій – димосос ДН-26Ф;

5. Вловлений пил після системи очищення видаляється на гвинтовими конвеєрами на вузол накопичення пилу, для подальшої утилізації.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ВИКОРИСТАННЯ

1. Крусір Г. В., Мадані М. М., Гаркович О. Л. Техніка та технології очищення газових викидів : навч. посіб. Одеса : ОНАХТ-Одеса, 2017. 207 с.
2. Губіна В. Проблема залізовмісних відходів гірничо-металургійного комплексу України - системний підхід. Екологічний вісник. 2008. № 3. С. 26-28.
3. Охотський В. Б. Феноменологія сталеплавильних процесів : навч. посіб. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2011. 90 с.
4. Металургія : проблеми, теорія, технологія, якість : підручник / П. С., Харлаки, Г. С. Єршов, В. П. Тарасов [та ін.]. Донецьк : Норд-комп'ютер, 2005. 724 с.
5. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підруч. для металург. спец. вищ. навч. закл. / Д. Ф. Чернега [та ін.]. Київ : Вища шк., 2006. 503 с.
6. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія виплавки сталі» (розд. «Конвертерні процеси») для студентів спеціальності 6.050400 «Металургія чорних металів» (усіх форм навчання) / Полетаєв В. В. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2012. 104 с.
7. 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.
8. Воденніков С. А., Тарасов В. К., Воденнікова О. С. Конструкції агрегатів чорної металургії : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 192 с.
9. Денисов С. І. Уловлювання та утилізація пилів та газів : навч. посіб. Київ: Вища школа, 1992. 333 с.
10. Екологічні аспекти металургійних технологій : навч. посіб. / Л. П. Грес., О. О. Єрьомін, Є. О. Каракаш [та ін.]. Дніпро : УДУНТ, 2022. 54 с.
11. Теверовский Б. З. Расчеты устройств для очистки промышленных газов от пыли : учеб. пособие. Киев : УМК ВО, 1991. 92 с.
12. Гичёв Ю. А. Очистка газов : конспект лекций. Ч. 2. Днепропетровск : НМетАУ, 2015. 48 с.

13. Павлюк Ю. С., Малишева І. В. Методичні вказівки до курсової роботи із дисципліни «Водоповітряне господарство металургійних заводів». Запоріжжя : ЗДІА, 2002.
14. Цибулько Л. А. Технология использования полезных ископаемых : конспект лекцій. Днепропетровск, 2011. 117 с.
15. Горячева Т. В., Бабенко М. О. Матеріалознавство : конспект лекцій. Красноармійськ : КІДонНТУ, 2011. 91 с.
16. Конспект лекцій з дисципліни «Конструювання технологічних агрегатів (за фахом)» для студентів спеціальності 136 «Металургія» за освітньо-професійною програмою «Металургія чорних металів» (з усіх форм навчання) / уклад. В. П. Полетаєв. Кам'янське, ДДТУ, 2018. 60 с.
17. Манідіна Є. А., Белоконь К. В. Безпека технологічних процесів та обладнання : навч.-метод. посіб. для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спец. 263 «Цивільна безпека» освіт.-проф. програми «Охорона праці». Запоріжжя : ЗНУ, 2022. 133 с.
18. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Споруди та обладнання сталеплавильних цехів» для студентів заочної форми навчання напряму 6.050401 «Металургія» / уклад. Г. Ю. Крячко. Кам'янське : ДДТУ, 2016. 52 с.
19. Курс лекцій з дисципліни «Охорона праці у галузі» для студентів спеціальності 7.05050311 «Металургійне обладнання», 8.05050311 «Металургійне обладнання» денної і заочної форм навчання / уклад. : Н. С. Біла, Г. М. Бутузов. Донецьк, ДонНТУ, 2010. 75 с.
20. Системи технологій та промислова екологія. Ч. І. Металургійний та енергетичний комплекс : навч. посіб. / Н. М. Самойленко, В. І. Аверченко, В. Б. Байрачний. Харків : Лідер, 2020. 212 с.
21. НПАОП 27.0-7.04-21. Мінімальні вимоги щодо безпеки та здоров'я на роботі в металургійній промисловості : наказ Мінекономрозвитку від 19.03.2021 р. № 569 «Про затвердження Мінімальних вимог щодо безпеки та здоров'я на роботі в металургійній промисловості» // База даних «Законодавство України»

22. ДНАОП 1.1.10-1.01-97 (НПАОП 40.1-1.01-97). Правила безпечної експлуатації електроустановок : наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 05.06.2001 р. № 253 Вид. офіц. Київ : Міненерго України, 2001. 137 с.
23. ДБН В.1.1-7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва. [Чинний від 2003-05-01]. Вид. офіц. Київ : Держбуд України, 2003. 36 с.
24. Про затвердження ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2018-10-03]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2018. 137 с.
25. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 133 с.
26. ДСТУ 2867-94 Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги. [Чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держбуд України, 1994. 5 с.
27. [https://vukladach.pp.ua/MyWeb/manual/pidruchnuku13122023/Mahunu\\_i\\_agregatu\\_z\\_taleplavelnuh\\_cehiv/Ykladachi/Ykladachi.htm](https://vukladach.pp.ua/MyWeb/manual/pidruchnuku13122023/Mahunu_i_agregatu_z_taleplavelnuh_cehiv/Ykladachi/Ykladachi.htm)
28. Беренда Н. В., Троїцька О. О., Манідіна Є. А. Техніко-економічне обґрунтування проектних рішень : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 196 с.
29. Основи охорони праці : навч.-метод. посіб. / К. В. Белоконь, В. Г. Рижков, Ю. В. Куріс [та ін.]. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 180 с.