

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)

*До рецензу*  
*01.12.23р.*

## **Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної магістерської роботи

рівень вищої освіти другий (магістерський)  
(другий (магістерський) рівень)

на тему «Розробка системи сухої очистки відхідних газів виробництва  
конструкційних сталей в електродугових печах»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1832

Іванов В.С.

(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 Белоконь К.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя - 2023 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 другий магістерський рівень  
другий (магістерський) 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

« 01 » 12 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ

Іванов Владлен Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка системи сухої очистки відхідних газів виробництва конструкційних сталей в електродугових печах

керівник роботи (проекту) Белоконь Каріна Володимирівна, к.т.н, доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «01» 05 2023 року № 632-с

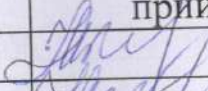
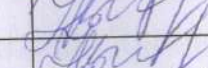
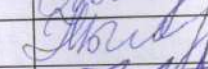
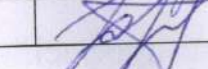
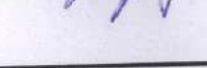
2. Строк подання студентом роботи (проекта) 01.12.2023

3. Вихідні дані до роботи (проекта) витрата газу за робочих умов:  $Q = 717294 \text{ м}^3/\text{год}$ ; початкова запиленість  $Z_1 = 2 \text{ г}/\text{м}^3$ ; медіанний діаметр пилу  $d_m = 2,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ ; температура газу  $t_r = 130^\circ\text{C}$ ; динамічний коефіцієнт в'язкості  $\mu = 22,2 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ; пористість тканини  $m_1 = 0,2$ ; питомий гідравлічний опір тканини  $h = 1,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ; допустимий опір фільтру  $P = 2 \text{ кПа}$ ; витрата стислого повітря  $Q_B = 950 \text{ м}^3/\text{год}$ ; швидкість фільтрації  $\omega_1 = 1,7 \text{ м}/\text{хв} = 0,028 \text{ м}/\text{с}$ .

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) реферат, вступ, технологія сталеплавильного виробництва в електродугових печах, екологія електросталеплавильного виробництва, охорона праці та техногенна безпека, економічна ефективність розробленої схеми газоочищення, висновки, список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) презентаційний матеріал, 11 креслень: титульний лист, план та розріз електросталеплавильного цеху, конструкція дугової електросталеплавильної печі типу ДСП-50, технологічна схема електросталеплавильного процесу, схема і розріз системи газоочищення, рукавний фільтр типу ФРІР-7000, чашковий огрудкувач, повітряний душ, економічні розрахунки

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Розділ 1	Белоконь К.В., доцент	 30.06.23
Розділ 2	Белоконь К.В., доцент	 19.11.23
Розділ 3	Белоконь К.В., доцент	 26.11.23
Розділ 4	Белоконь К.В., доцент	 30.11.23
Нормоконтроль	Белоконь Ю.О., завідувач кафедри	

7. Дата видачі завдання 07.05.2023

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	до 30.11.2023	
2	Реферат	до 30.11.2023	
3	Розділ 1	до 30.06.2023	
4	Розділ 2	до 19.11.2023	
4	Розділ 3	до 26.11.2023	
5	Розділ 4	до 30.11.2023	
6	Висновки	до 30.11.2023	

Студент



(підпис)

Іванов В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)



(підпис)

Белоконь К.В.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 82 стор., 9 табл., 7 рис., 16 джерел.

ЕЛЕКТРОДУГОВА ПІЧ, СТАЛЬ, ШИХТА, ОЧИЩЕННЯ, ЕКОЛОГІЯ, РУКАВНИЙ ФІЛЬТР, ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР, ГАЗОВИЙ ТРАКТ, ДИМОТЯГ, ВІДХІДНІ ГАЗИ, ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.

**Об'єкт дослідження** – ділянка газоочищення електросталеплавильного цеху.

**Предмет дослідження** – система сухого очищення відхідних газів електродугових печей.

**Мета роботи** – розробка системи очищення газів в умовах електросталеплавильного цеху.

У кваліфікаційній роботі розглянута технологія виплавки сталі в електродугових печах, описана конструкція і принцип роботи електродугової печі з точки зору утворення пилогазових викидів, визначена їх кількість і склад. Приведено обґрунтування вибору системи газоочищення відхідних газів від електродугової печі. Виконано розрахунок рукавного фільтру і за результатами розрахунку вибрано тип і марка фільтру – ФРІР-7000. Ефективність рукавного фільтру при кінцевій запиленості газу  $20 \text{ мг/м}^3$  складає 99 %. Виконано аеродинамічний розрахунок газового тракту газоочисної системи і за результатами розрахунку підібраний димотяг типу ВДН-25×2. Загальний опір газовідвідного тракту за результатами розрахунків – 3101 Па. Розглянуті потенційно небезпечні і шкідливі чинники виробничого середовища електросталеплавильного цеху, виконані технічні рішення по виробничій санітарії, розглянуті заходи щодо електробезпеки, пожежної та техногенної безпеки. Виконано інженерну розробку захисту сталевара електропечі від перегрівання, а саме виконано розрахунок повітряного душирування на робочому місці.

## ЗМІСТ

ВСТУП		7
1	ТЕХНОЛОГІЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА В ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПЕЧАХ	9
1.1	Конструкція дугової електросталеплавильної печі	9
1.2	Виплавлення сталі в дугових електропечах	15
1.3	Характеристика пилогазових викидів від електросталеплавильної печі	28
2	ЕКОЛОГІЯ ЕЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА	30
2.1	Огляд існуючих способів очищення газів дугових електросталеплавильних печей	30
2.2	Обґрунтування вибраного способу очищення газів	34
2.3	Розрахунок рукавного фільтру	36
2.4	Аеродинамічний розрахунок газового тракту	43
2.5	Вибір тягодуттьового устаткування	48
2.6	Утилізація вловленого продукту	51
2.7	Система контрольно-вимірювальних приладів та автоматизація (КВП та А) рукавного фільтру ФРІР -7000	52
3	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	57
3.1	Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища	57
3.2	Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища електросталеплавильного цеху	60
3.3	Заходи з електробезпеки	63
3.4	Заходи з пожежної та техногенної безпеки	65
3.5	Інженерна розробка заходів захисту від надмірного тепла	66

4	ЕКОНОМІЧНА	ЕФЕКТИВНІСТЬ	РОЗРОБЛЕННОЇ	СХЕМИ	
	ГАЗООЧИЩЕННЯ	.	.	.	70
	ВИСНОВКИ	.	.	.	79
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	.	.	.	81

## ВСТУП

Металургійна галузь, як України, так і всього світу останніми роками постає перед дуже серйозними проблемами - зниження собівартості продукції, розробка технологій, що дозволяють при незмінній ціні виробляти продукцію вищої якості, і розробка абсолютно нових видів продукції, здатних витіснити товари, що вже є на ринку, своїми унікальними властивостями.

Успішне рішення поставленої задачі в значній мірі залежить від якості нових проектів заводів і цехів і закладених в них прогресивних технічних рішень. При цьому велике значення має економічність проектних рішень на основі використання сучасних досягнень науки і техніки, що дозволяє найраціональніше використовувати капітальні вкладення на будівництво нових, реконструкцію і технічне переозброєння діючих електросталеплавильних цехів, що морально застаріли. Це дозволяє істотно збільшити об'єм електросталі, різко підвищити її якість при значній економії капітальних вкладень.

ЕлектрOMETалургія – галузь техніки, що займається відновленням металів з їх оксидів, і отриманням сталі і сплавів різного складу з використанням електричної енергії як джерела тепла.

Електрична піч має ряд істотних переваг перед іншими сталеплавильними агрегатами, тому високолеговані інструментальні сталі, всі неіржавіючі, жаростійкі і жароміцні, а також багато конструкційних сталей виплавляють тільки в електричних печах.

Основні переваги електропечей полягають в можливості: швидко нагрівати метал, що дозволяє вводити в піч великі кількості легуючих добавок; мати в печі відновлювану атмосферу і без окислювальні шлаки; плавно і точно регулювати температуру металу; більш повно, чим в інших печах розкислювати метал, отримувати його з низьким змістом неметалічних включень; отримувати сталь з низьким змістом сірки.

Зростаюча роль виплавки сталі в електропечах обумовлена такими перевагами в порівнянні з мартенівським і конверторним виробництвом сталі як невеликі об'єми рідкої сталі у ванні електропечі, легке управління тепловим режимом, використання в якості початкової сировини металевого лому (100%), а також можливість оперативного контролю за технологією виплавки сталі, що забезпечує можливість виплавляти сталі будь-якого сортаменту.

Однак, виплавка сталі в дугових електропечах супроводжується утворенням великої кількості газів з великим вмістом пилу, які підвищують тиск у печі й через нещільності в її конструкції виділяються в виробниче приміщення. Гази виділяються з електропечей також під час завантаження печі і зливу готової сталі в ківш. Тому завданням кваліфікаційного проекту є розробка ефективного і економічного способу вловлювання і очищення пилогазових викидів дугової електропечі.

Кваліфікаційною роботою пропонуються наступні раціональні рішення для реконструкції ЕСПЦ: очищення газів сухим способом із застосуванням рукавного фільтра й відвід газів через склепіння печі і від зонту, розташованого під дахом цеху.



# 1 ТЕХНОЛОГІЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА В ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПЕЧАХ

## 1.1 Конструкція дугової електросталеплавильної печі

Електросталеплавильна піч складається із залізного кожуха циліндроконічної форми зі сферичним днищем. Усередині кожух має вогнетривку футеровку. Плавильний простір печі накривається знімним склепінням з вогнетривкої цегли, набраним у склепіння. Піч має основне робоче вікно і випускний отвір зі зливним жолобом. Піч живиться трифазним струмом і має три електроди, які затискаються електродотримачами, скріпленими за допомогою рукава з рухомою стійкою. Струм підводиться водоохолоджуваними гнучкими кабелями і водоохолоджуваними мідними трубами. Піч спирається на чотири опорні сектори, що перекочуються по станині, нахил печі у бік випуску та у бік основного робочого вікна здійснюється за допомогою рейкового механізму [1].

Шихту завантажують зверху за допомогою цебра. Для відкриття плавильного простору склепіння печі, підвішене на ланцюгах, піднімають до порталу. Портал зі склепінням та електродами відвертається у бік зливного жолоба за допомогою візка. Передбачено обертання кожуха та печі на кут  $40^\circ$  в обидва боки механізмом повороту корпусу.

*Кожух печі* повинен мати механічну міцність, що дозволяє витримувати навантаження від ваги футеровки і металу і тиск кладки, що розширюється при нагріванні, і нагріватися до температури не вище  $100-150^\circ\text{C}$ . Його виконують зварним з листового заліза товщиною 20-35 мм залежно від розмірів печі. Товщину кожуха можна прийняти рівною  $1/200$  його діаметра. Діаметр кожуха 50-т печі 5500 мм, товщина стінки 25 мм. Конфігурація кожуха визначає профіль робочого простору печі, стійкість футерування стін, теплові втрати через стіни та склепіння.

Найбільшого поширення нашої країні отримав циліндроконічний

кожух. Кут нахилу конічної частини кожуха коливається від 6 до 23°, висота дорівнює 1/3-2/3 висоти робочого простору печі від рівня порога до п'яти склепіння. При циліндроконічній формі кожуха полегшуються заправка укосів, виконання похилого футерування стін, збільшується стійкість кладки, для збереження правильної циліндричної форми кожух посилюють ребрами та кільцями жорсткості.

Верхній пояс жорсткості склепіння служить одночасно порожниною пісочного затвора для з'єднання зі склепінням. До нижнього пояса кріпиться кільцева рейка механізму повороту корпусу печі. Дно кожуха виконується зазвичай сферичним зі стрілою прогину 0,1, що забезпечує найбільшу міцність кожуха, і мінімальна вага кладки днище може бути також і конічним - воно більш просто у виготовленні. Дно виконують з немагнітної сталі, іноді з немагнітної сталі виконують тільки центральну частину днища. Для прискорення сушіння кладки в кожусі просвердлюють отвори діаметром 20 мм.

*Зведене кільце печі*, в якому набирається вогнетривке склепіння, повинно зберігати геометричні розміри протягом служби, передавати тяжкість склепіння кожуху печі. Кільця виготовляються звареними з водяним охолодженням внутрішньої порожнини. При похилій стінці виключається потреба в спеціальній цеглі для викладки склепіння. Для забезпечення стику склепіння з корпусом печі кільце має знизу виступ - ніж, що входить до пісочного затвору кожуха печі. Для підвіски склепіння до порталу печі кільце забезпечене чотирма підйомами з отворами.

*Завантажувальне робоче вікно* та випускний отвір розташовані один проти одного. Розмір завантажувального вікна встановлюватиметься з таким розрахунком, щоб була можливість оглядати і заправляти подину та укоси всієї печі, вільно вводити в піч мульду завалочної машини, не зачіпаючи стовпчиків та арки вікна, та витягувати з печі уламки електродів. Ширина завантажувального вікна працюючих печей становить приблизно 0,25 діаметра плавильного простору; висота вікна становить приблизно 0,8

ширини. Виріз у кожусі печі для завантажувального вікна обрамляється литою рамою, до якої кріпляться напрямні для заслінки та постіль для посадки заслінки. Замість цегляної арки та стовпчиків поставлена зварна водоохолоджувана коробка.

*Механізми підйому заслінок* виконують з пневматичним, електромеханічним або гідравлічним приводом. Заслінки повинні щільно прилягати до арматури завантажувального вікна. Для цього заслінку поміщають у напрямні, і площину ковзання її роблять похилою (близько  $10^\circ$  до вертикалі): заслінка під дією власної ваги притискається до рами. Заслінки печей мають водяне охолодження. Для зменшення втрати тепла з охолодженою водою бік заслінки, звернену в піч, покривають теплоізолюючим шаром вогнетривкого цементу.

В електросталеплавильних печах метал випускають через круглий (діаметром 120-150 мм) отвір. На час плавки отвір закривають вогнетривким матеріалом. *Зливний жолоб* має коритоподібний поперечний переріз і прикріплюється до кожуха печі під кутом  $10-12^\circ$  до горизонталі. Футерується жолоб шамотною цеглою. Довжина жолоба визначається конструкцією будівлі. Якщо пічний та розливний прольоти поєднані, то жолоб роблять коротким – до 1 м. Якщо ж печі розташовані в пічному прольоті, а розлив ведеться в розливному прольоті, то довжина зливного жолоба має бути близько 2 м, щоб можна було підвести до нього ківш. Довжина зливного жолоба має бути по можливості мінімальною.

*Електродотримачі* сталеплавильних печей служать для підведення струму до електродів, затискання та утримання їх на заданій висоті. Працюють електродотримачі у важких температурних умовах, так як вони нагріваються гарячими газами, що прориваються з печі через зазори у електродів, потоком тепла, що йде з печі вгору по електродах, і джоулевим теплом, що виділяється при проходженні через них струму.

До *механізму нахилу печі* пред'являються такі основні вимоги: а) плавний, без ривків, нахил печі у бік зливного жолоба на кут до  $45^\circ$  для зливу

металу в ківш та на кут  $10-15^\circ$  у бік робочого вікна для скачування шлаку; б) легке регулювання швидкості нахилу; в) мінімальне відхилення від вертикалі кінця зливного жолоба, щоб скоротити маневрування ковшем при випуску металу (нерухоме положення ковша при криволінійній траєкторії руху кінця жолоба призводить до розмивання струменем металу футерування ковша та забруднення металу); г) безпечне розташування механізму нахилу (у разі прориву металом подини); д) при скачуванні шлаку бризки його не повинні засмічувати механізм. Механізми нахилу можна розділити на два типи – бічні та нижні. Переважна більшість печей має нижній механізм нахилу. При нижньому механізмі нахилу піч спирається на 2-4 опорні сектори, які перекочуються горизонтальною станиною. Носок печі значно висувається вперед. Вітчизняні печі серії ДСП ємністю 12-50 т мають гідравлічний привід механізму нахилу. Два циліндри укріплені на нерухомих опорах фундаменту, а штоки шарнірно пов'язані з опорними секторами порталу.

*Піч ДСП-50* має два симетрично розташованих електромеханічні приводи. Кожен привід складається з електродвигуна змінного струму потужністю 45 кВт, електромагнітного гальма, триступінчастого циліндричного редуктора, зубчастої рейки, шарнірно через вісь пов'язаної з двосекторною люлькою печі, що нахиляється. У разі виходу з ладу одного двигуна, другий повинен здійснювати нахил печі при короткочасному перевантаженні. Мінімальний час нахилу печі на кут близько  $40^\circ$  2,0 хв; лінійна швидкість рейки 3 м/хв.

*Кожух печі* та *портал* монтуються на несучій люльці з двома опорними секторами (рис. 1.1, а). Портал, що несе механізми переміщення електродів та підйому склепіння, може бути розташований на двох окремих секторах (рис. 1.1, б). Печі з корпусом, що викочується, і з порталом, що відкочується, мають дво- або чотирисекторні опори [2].

Третя система (рис. 1.1 в), характерна для печей зі склепінням, що відвертається, має кожух, встановлений на люльці з двома або трьома опорними секторами.

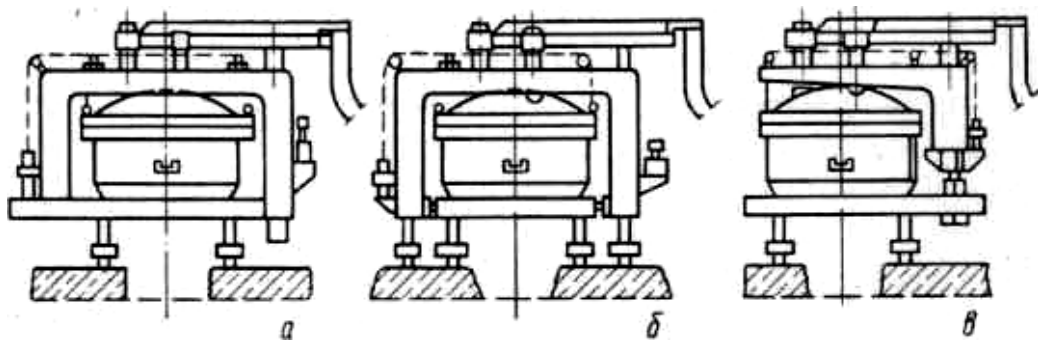


Рисунок.1.1 - Основні системи опор дугових печей

*Водяне охолодження* вимагають такі вузли печі: головки електродотримачів; трубчасте струмопідведення; економайзери; заслінки основного та допоміжного вікон; зварна арка та стовпчики робочих вікон; склепінне кільце; ділянку кожуха над зливним отвором; патрубок газовідсмоктувача.

Водяне охолодження може також застосовуватися для рукавів, гнучкої частини вторинного струмопідводу та верхнього пояса жорсткості. Зазвичай кожен холодильник має окремий вентиль для регулювання витрати води та окремий стік, доступний спостереженню, контролю за циркуляцією води та її температурою. Електродотримачі та кільця ущільнюють, з'єднуються з підвідними та відвідними трубопроводами гумовими шлангами, що є в даному випадку електричними ізоляторами.

Всі холодильники і труби, що підводять і відводять воду, згідно з умовами техніки безпеки, розташовуються вище за рівень рідкого металу, щоб уникнути пошкодження їх при «проїданні» рідким металом укусу та кожуха печі. Вода повинна надходити під тиском щонайменше 2 ат. Для зменшення утворення накипу кількість води, що надходить, повинна бути такою, щоб температура води, що відходить, не перевищувала 50°C. Для зменшення загальної витрати води слід однією водою послідовно охолоджувати 2-3 вузла. Кожну гілку системи охолодження забезпечують автоматичним регулятором витрати води, який змінює прохідний переріз водопроводу в залежності від температури води, що відходить.

*Механізм підйому склепіння* може бути гідравлічним або електромеханічним. Електромеханічний привід печі ДСП-50 складається з двох черв'ячно-гвинтових редукторів, двох систем тяг та підвісок, що передають зусилля від гвинтів до чотирьох точок підвіски склепіння.

У звичайних печах у процесі плавлення електроди прорізають у шихті три колодязі. У місцях, віддалених від електродів, шихта плавиться повільно. Для прискорення плавлення твердої шихти і запобігання перегріву дугами, коли при легковажній шихті під електродами накопичується мало металу, в конструкції печей передбачено обертання ванни. До нижньої частини кожуха прикріплений зубчастий литий сектор, що має зачеплення з конічною шестернею триступінчастого циліндричного редуктора. Кожух печі кільцевим брусом спирається на чотири тумби з опорними та завзятими роликами. За допомогою поворотного приводу піч повільно повертається спочатку в одну сторону на  $40^\circ$ , а потім в іншу на  $80^\circ$ ; замість трьох електроди прорізають у шихті дев'ять колодязів. Перед поворотом кожуха піднімається склепіння та електроди настільки, щоб їх кінці піднялися над шихтою [1].

Плавильний простір електропечі має вогнетривку футеровку, що створює ванну для металу і зменшує теплові втрати печі. Основні частини футерування – подина печі, стіни, склепіння. Продуктивність електропечі, якість сталі, що виплавляється і собівартість сталі, великою мірою залежать від служби футерування. Температура у зоні електричних дуг сягає кількох тисяч градусів. Футерування електропечі віддалена від дуг, але все ж вона часто повинна витримувати температури, близькі до  $1700^\circ\text{C}$ , тому матеріали, що застосовуються для футеровки, повинні мати високу вогнетривкість. Вогнетривкість визначається температурою, за якої стандартний зразок деформується під дією своєї сили тяжіння. Вогнетрив у футеруванні електропечі зазнає значної напруги; в цих умовах більшість вогнетривів розм'якшується при нижчій температурі, ніж та, яка характеризує вогнетривкість. Вогнетривкий матеріал повинен мати високу механічну

міцність, тобто опір стиску (роздавлюванню). У процесі служби футерування печі зазнає частих вимірювань температури. Під час заправки вона охолоджується внаслідок припливу холодного повітря, під час завантаження – внаслідок зіткнення з холодною шихтою. Тому необхідно, щоб вогнетриви мали термостійкість, тобто здатність зберігати свою цілісність і механічну міцність за наявності різких температурних коливань (теплових ударів).

Футерування електропечі стикається з металом, шлаком та газами, нагрітими до високої температури. При зіткненні вогнетривких матеріалів зі шлаком висока температура сприяє їх хімічній взаємодії, внаслідок чого можливе утворення легкоплавких сполук та роз'їдання футерування. Тому вогнетрив повинен мати високу хімічну стійкість (шлакостійкість).

Тривалість служби футерування залежить значною мірою від величини зміни обсягу вогнетривких матеріалів в результаті нагрівання та охолодження, що виражається в додатковому усадці або розширенні (зростанні). При виконанні футерування має бути врахована зміна об'єму, інакше розширення може призвести до роздавлювання цегли, а усадка до втрати будівельної міцності.

Якщо футерування має низьку теплопровідність, то теплові втрати печі та питома витрата електроенергії невисокі. Теплопровідність вогнетривких матеріалів підвищується з температурою. Винятками є магнезитові та карборундові вогнетривкі матеріали, теплопровідність яких зменшується при підвищенні температури. Нарешті, вогнетривкі матеріали повинні мати низьку електропровідність. Електропровідність вогнетривів, як правило, зростає з підвищенням температури [3].

## **1.2 Виплавлення сталі в дугових електропечах**

Основною складовою шихти (75-100%) електроплавки є сталевий брухт. Він не повинен містити кольорових металів та у складі його має бути мінімальна кількість нікелю та міді; бажано, щоб вміст фосфору в ломі не

перевищував 0,05%. За більш високому вмісті фосфору час плавки зростає. Лом не повинен бути сильно окисленим (іржавим), оскільки з іржею – гідратом окису заліза – вноситься до металу багато водню. Лом повинен бути важким, щоб забезпечувалося завантаження шихти в один прийом (одною баддією). При використанні легковажного брухту після часткового розплавлення першої порції шихти доводиться знову відкривати піч і підсаджувати шихту, що подовжує плавку.

Переплавлення легуваних відходів дозволяє заощаджувати дорогі феросплави. Тому відходи легуваних сталей збирають та зберігають розсортованими за хімічним складом в окремих засіках. Їх використовують при виплавці сталей, що містять самі легуючі елементи, що й відходи.

Для підвищення вмісту вуглецю в шихті використовують чавун, кокс та електродний бій. Основна вимога до чавуну – мінімальний вміст у ньому фосфору, для того, щоб не вносити багато фосфору в шихту малих (менше 40-т) печей, вводять не більше 10% чавуну, а у великовантажних не більше 25%.

Як шлакоутворюючі в основних печах застосовують вапно, вапняк, плавиковий шпат, боксит, шамотний бій; у кислих печах – кварцовий пісок, шамотний бій, вапно. Як окислювачі використовують залізну руду, прокатну окалину, агломерат, залізорудні котуни, газоподібний кисень. До шлакоутворювачів і окислювачів пред'являють такі самі вимоги, як у інших сталеплавильних процесах. Зокрема, вапно повинне містити більше 90% окису кальцію, мало кремнезему та сірки і бути свіжообпаленим, щоб не вносити в метал водень. У залізняку вміст оксидів заліза має бути високим (близько 60%), а кремнезему, що знижує основність шлаків, сірки та фосфору, - низьким. Бажано застосовувати шматкову руду; шматки проникають через шар шлаку і взаємодіють із металом.

В електросталеплавильному виробництві для легування та розкислення застосовують практично всі відомі феросплави та легуючі.



Плавка складається з наступних періодів: 1) заправлення печі; 2) завантаження шихти; 3) плавлення; 4) окисний період; 5) відновлювальний період; 6) випуск сталі.

*Заправка* – це виправлення зношених та пошкоджених ділянок футерування пода. Після випуску чергової плавки з подини видаляють залишки металу та шлаку. На пошкоджені місця подини та укосів закидають магнезитовий порошок, а у разі значних пошкоджень – порошок, змочений рідким склом або піском.

Основною складовою шихти є сталевий брухт (90-100%). Для підвищення вмісту вуглецю в шихту вводять чавун (менше 10%), а також електродний бій або кокс. Загальна кількість чавуну та електродного бою або коксу має бути такою, щоб вміст вуглецю в шихті був на 0,4-0,6% вище нижньої межі у виплавленій сталі в печах ємністю до 25 т. При окисленні залізної руди надлишок вуглецю в шихті зменшують на 1%. Щоб поєднати видалення частини фосфору з плавленням шихти, в завалку рекомендується давати 2-3% вапна. Завантаження шихти ведуть кошиками з дном, а в деяких старих печах невеликої ємності – завалочними машинами. У кошики шихту укладають у такій послідовності: на дно кладуть частину дрібниці, щоб захистити подину від ударів важких шматків брухту, потім у центрі укладають великий брухт, а по периферії середній і зверху – дрібний лом, що залишився. Щільне укладання шихти покращує її провідність, стійке горіння дуги, прискорюючи плавлення. Для зменшення чаду кокс та електродний бій кладуть під шар великого брухту.

Після закінчення завалки електроди опускають та включають струм. Під дією високої температури шихта під електродами плавиться, рідкий метал стікає донизу, накопичуючись у центральній частині подини. Електроди поступово опускаються, проплавляючи в шихті «колодязі» діаметром, рівним 1,3-1,4 діаметра електрода, доки вони досягнуть крайнього нижнього становища. Надалі у міру збільшення кількості рідкого металу електроди піднімаються, оскільки автоматичні регулятори підтримують довжину

постійної дуги. Плавлення ведуть за максимальної потужності трансформатора. Для прискорення плавлення шматки шихти, що не розплавилася, з укосів слід стикати в зону електричних дуг. На печах великої ємності (50 т і більше) для прискорення плавлення застосовують обертання ванни. Коли електроди проплавляють у шихті три «колодязі», склепіння та електроди піднімають, піч повертають спочатку в одну сторону на  $40^\circ$ , проплавляють колодязі в нових місцях, а потім повертають піч в іншу сторону на  $80^\circ$ . Таким чином, проплавляють дев'ять колодязів. У період плавлення необхідно забезпечити раннє утворення шлаку, що запобігає металу від насичення газами та науглерожування електродами. З цією метою, якщо в завалку не давали вапно, колодязі, що проплавляються електродами, декількома порціями зазвичай присаджують вапно (1-3% від маси металу). Під час плавлення відбувається окислення складових шихти, формується шлак, у нього видаляється фосфор. Окислення домішок здійснюється за рахунок кисню повітря, окалини та іржі, внесених шихтою.

За час плавлення повністю окислюється кремній, 50-60% марганцю, частково окислюються вуглець та залізо. Низька температура та наявність основного залізного шлаку сприяють дефосфорації.

Для прискорення плавлення іноді користуються газокисневими пальниками, що вводяться в робочий простір через склепіння або стінки печі. Під впливом тепла, що виділяється від спалювання газу, скорочується тривалість плавлення та витрата електроенергії (на 10-15%).

Часто для скорочення тривалості плавлення застосовують продування киснем, що вводиться в рідкий метал, після розплавлення  $3/4$  шихти, за допомогою фурм або сталевих футерованих трубок. Окислення заліза, марганцю, кремнію та інших домішок металу газоподібним киснем протікає із виділенням значної кількості тепла, що прискорює розплавлення залишків металевого брухту. При витраті кисню, що становить  $5-10 \text{ м}^3/\text{т}$ , тривалість плавлення скорочується на 10-20 хв. Тривалість періоду плавлення коливається не більше 1,1-3,0 год.

Завдання *окислювального періоду* плавки полягають у тому, щоб: а) зменшити вміст у металі фосфору до 0,01-0,015%; б) зменшити вміст у металі водню та азоту; в) нагріти метал до температури, близької до температури випуску (на 120-130°C вище за температуру ліквідуса).

Окислення домішок ведуть, використовуючи залізну руду (окаліну, агломерат), або газоподібний кисень. Окислювальний період починають з того, що з печі зливають 5-75% шлаку плавлення, що утворився в період. Шлак зливають, не вимикаючи струм, нахиливши піч у бік робочого вікна на 10-12°. Шлак зливають, щоб видалити з печі фосфор. Видаливши шлак, у піч присаджують шлакоутворююче: 1-1,5% вапна і при необхідності 0,15-0,25% плавику шпату, шамотного бою або бокситу.

Після сформування рідкорухливого шлаку і нагрівання металу до температури 1500-1540°C ванну періодично протягом усього окисного періоду вводять порціями залізну руду і вапно, а піч для зливу шлаку нахилиють у бік робочого вікна. Присадка руди викликає інтенсивне окислення вуглецю та інтенсивне кипіння ванни, створюване бульбашками окису вуглецю. Під впливом газів шлак спінюється, рівень його підвищується і він стікає в шлакову чашу через поріг робочого вікна. Нову порцію руди присаджують, коли інтенсивність кипіння металу починає слабшати. Загальна витрата руди становить 3-6,5% маси металу. Щоб запобігти сильному охолодженню металу, одноразова порція руди має становити понад 0,5-1% від маси металу.

При використанні газоподібного кисню його вводять у метал під тиском 0,8-1,0МПа (8-10 ат.) по футерованим залізним трубкам через робоче вікно або за допомогою водоохолоджуваної фурми через отвір у склепіння печі. При цьому трубки мають бути занурені в метал на глибину 150-200 мм. Швидкість обезуглерожування газоподібним киснем у 3-5 разів більша, ніж залізною рудою, що дає можливість скоротити час окисного періоду на 20-30 хв. Загальна тривалість продування ванни становить 10-20 хв, витрата кисню 5-20 м<sup>3</sup>/т на 1т сталі.

Протягом усього окислювального періоду поряд з окисненням вуглецю відбувається дефосфорація металу. Як зазначалося раніше, для успішного видалення фосфору з металу в шлаки необхідно забезпечення високої концентрації оксидів заліза в шлаку, високої основності та зниженої температури. Саме ці умови створюються при спільному введенні в піч вапна та руди. Повнота дефосфорації підвищується в результаті перемішування шлаку та металу при кипінні та безперервного оновлення шлаку (злив шлаку та періодичні добавки нових порцій шлакоутворюючих).

При кипінні разом з бульбашками з металу видаляються водень і азот. Цей процес має велике значення для підвищення якості електросталі, оскільки в електропечі, в зоні електричних дуг, відбувається інтенсивне насичення металу азотом і воднем. Це насичення прискорюється внаслідок дисоціації молекул азоту і водню у зоні дуг, де температура перевищує 3000°C. У зв'язку з цим у електросталі зазвичай міститься азоту більше, ніж у мартенівської і кисневоконверторної сталі. Кипіння та перемішування забезпечують також прискорення вирівнювання температури металу та його нагрівання.

Вміст оксидів заліза в шлаку залежить від вмісту вуглецю в сталі марки, що виплавляється; нижня межа характерна для низьковуглецевих сталей, верхня – для високовуглецевих. Окислювальний період закінчується тоді, коли вуглець окислений до нижньої межі його вмісту в сталі марки, що виплавляється, а вміст фосфору знижено до 0,010-0,015 %. Період закінчують зливом окисного шлаку, нахилиючи для цього піч у бік робочого вікна, а також вручну за допомогою дерев'яних гребків, насаджених на довгі залізні прутки. Повне скачування окислювального шлаку необхідно, щоб фосфор, що міститься в ньому, не перейшов назад в метал під час відновного періоду. Окислювальний період триває від 30 до 90 хв.

У задачі *відновлювального періоду* плавки до основної печі входять: а) розкислення металу; б) видалення сірки; в) доведення хімічного складу сталі до заданого та коригування температури. Усі ці завдання вирішуються

паралельно протягом усього відновлювального періоду; розкислюють метал, одночасно застосовуючи обсадний і дифузійний методи [3].

Після скачування окисного шлаку проводять навуглерожування і осадове розкислення феромарганцем, 75%-вим феросиліцієм і алюмінієм, потім наводять білий шлак із вапна, шамоту, плавикового шпату і кремнію, який у подальшому розкислюють порошком коксу. При цьому в печі може утворитися слабокарбідний шлак. Присаджують ферохром, потім шлак розкислюють послідовними присадками трьох порцій меленого феросиліцію. Після коригування хімічного складу шлак розкислюють сумішшю, що складається з вапна, алюмінієвого порошку та деревного вугілля. Перед випуском виробляють розкислення металу алюмінієм на штанзі з розрахунку 0,05% Al. Метал і шлак зливають із печі або одним струменем, або спочатку в ковші зливають основну масу шлаку, а потім випускають сталь. На деяких заводах розкислення алюмінієм (на 0,1% Al) переносять у ківш. При цьому штанги з нанизаними на них шматками алюмінію вішають на борти ковша перед розливом.

Висока температура електричних дуг сприяє дисоціації молекул газів на атоми та розчинення їх у металі. У відновлювальному періоді плавки ванна не кипить, метал відносно спокійний, отже, відсутній основний чинник, що сприяє видаленню газів. У цьому відношенні винятково важливо запобігти попаданню в піч вологи з шлакоутворюючими матеріалами та легуючими добавками та тримати охолоджувальні пристрої печі у повній справності. Легуючі добавки необхідно перед вживанням прожарювати. Основні шлаки проникні для водню та здатні розчиняти водяні пари [4].

*Порядок запровадження легуючих.* Нікель практично не окислюється. Основну частину його дають наприкінці окисного періоду рідкий метал і коригують його вміст у рафінувальний період. Рання присадка нікелю має певні переваги, оскільки електролітичний нікель містить водень; у процесі кипіння цей водень виділяється із металу. Засвоєння нікелю металом при виплавці малолегованої сталі вважатимуться рівним 100 %. При виплавці

сплавів з високим (60 % і більше) вмістом нікелю до 4 % Ni випаровується під дугами під час плавлення основного завалки.

Ферохром вводять у піч на початку відновлювального періоду. Після присадки ферохрому шлак набуває зеленого відтінку; таке забарвлення надають йому оксиди хрому, що вносяться сплавом. Для відновлення на шлак дають відновну суміш; оксиди хрому відновлюються, і шлак набуває світлого забарвлення. При виплавці сталей та сплавів з високим вмістом хрому ферохром попередньо підігривають; в результаті збільшується продуктивність печі, підвищується стійкість футерування, знижується витрата електроенергії. Засвоєння хрому можна приймати 98%.

Легування кремнієм проводять 45 % і 65 % феросиліцієм в шматках за 10-20 хв до випуску плавки.

Основна кількість марганцю при виплавці високомарганцевистих сталей з окисленням присаджують на початку рафінування, а при виплавці методом переплаву можна легувати сталь у завалці або наприкінці плавлення.

*Доведення плавки до заданого хімічного складу.* На початку відновлювального періоду, як тільки на металі утворюється шлаковий покрив, беруть пробу металу та перевіряють в експрес-лабораторії вміст вуглецю, марганцю, хрому та нікелю. Ферромарганець присаджують з розрахунку отримання в металі середнього вмісту марганцю для заданої марки сталі, враховуючи при цьому, що деяка кількість марганцю відновиться з окислювального шлаку, що залишився в невеликій кількості. Вміст вуглецю в сталі перевіряють під час відновного періоду кілька разів, маючи на увазі, що метал науглерожують електроди, шлак відновлювальний і легуючі добавки. Коригувати склад сталі по вуглецю раціональніше за все присадками вуглецевого ферохрому. Для коригування складу сталі по хрому беруть дві проби металу для експрес-аналізу на хром через 20 хв іншу через 25 хв після присадки ферохрому. При збігу цих аналізів із розрахунковим можна доводити плавку. Якщо аналізи двох проб на вміст хрому збігаються, але не збігаються з розрахунковим, це може бути вказівкою на неточне

зважування шихти. Вміст нікелю можна відкоригувати на початку відновлювального періоду. У відновлювальний період перед випуском плавки перевіряють вміст FeO та CaO у шлаку. Сучасні електросталеплавильні цехи обладнані системами пневмоподачі проб та результатів аналізів від печей до хімічної лабораторії та назад, прямим телефонним зв'язком з лабораторіями. На печах встановлюються телетайпи, які записують результати аналізів у міру виконання. Спектральні, рентгеноспектральні та інші швидкісні методи аналізу дозволяють за стандартних методів відбору та підготовки проб проводити аналізи металу майже на всі елементи протягом 1-3 хв. Таким чином, контроль хімічного складу сталі не затримує ведення плавки [5].

У процесі експлуатації дугової електросталеплавильної печі здійснюються підйом та опускання електродів, підйом і поворот склепіння, нахил ванни та інші операції. Тому створення стаціонарного пристрою для *відсмоктування газів* становить значні конструктивні проблеми. Якщо не вжити спеціальних заходів, гази, що виділяються в процесі плавки через завантажувальні вікна, зазори між електродами та склепінням та інші нещільності, надходять безпосередньо до приміщення цеху, звідки видаляються через ліхтарі будівлі за допомогою аерації. При цьому пил випадає з потоку, що повільно піднімається, осідає на зводі печі, обладнанні, конструкціях будівлі, що знижує світлопроникність вікон і вимагає створення спеціальних пристроїв, для прибирання. Загазованість та запиленість приміщення цеху часто настільки збільшуються, що у верхній зоні ускладнюється видимість для кранівників, а на робочому майданчику концентрація пилу та газів у багато разів перевищує санітарні норми. Пил і газ викидаються через ліхтарі та витяжні шахти, та суттєво забруднюють атмосферу. Тому зі зростанням продуктивності печей і кількості газів, що утворюються, особливо при застосуванні кисневого продування, таке вирішення питання стає абсолютно неприйнятним. Дещо найкращим рішенням є відсмоктування газів за допомогою зонтів і ковпаків. У

найпростішому випадку над піччю вище електродів споруджують зонт, не пов'язаний з конструкцією печі, що охоплює всі місця пило- і газовиділень і не заважає обслуговуванню печі. Внаслідок великих підсмоктувань повітря температура газів біля стін зонта не перевищує 100-150°C; зонт може бути зроблений із звичайної листової сталі завтовшки 2-4 мм.

Замість зонту іноді роблять ковпаки, укріплені на каркасі печі безпосередньо біля місць пило- та газовиділення. Таке рішення ефективніше, але ускладнює конструкцію, тому що ковпаки переміщуються разом із піччю та вимагають шарнірних з'єднань зі стаціонарним газоходом. Для ефективної роботи відсмоктування необхідно, щоб швидкість у вхідному перерізі зонту або ковпака була не менше 2 м/с, що викликає великі підсмоктування повітря.

Загальними недоліками відсмоктування газів за допомогою зонтів та ковпаків є: невисока ефективність (70-80%); велика витрата енергії на переміщення великих мас газу з присмоктаним повітрям; значна металомісткість; погіршення умов обслуговування та доступу до печі.

Найбільш доцільним способом видалення газів з печі є відсмоктування їх з робочого об'єму через спеціальний отвір найчастіше у зведенні печі поблизу робочого вікна. Швидкість газів в отворі при відсмоктуванні повинна бути не менше 20 м/с, щоб уникнути відкладення пилу. Температура газів в отворі близька до температури газів печі.

Іншим конструктивним вирішенням питання є відсмоктування газів через арку робочого вікна. У верхній частині арки, виконаної дещо подовженої форми, роблять прямокутний отвір розміром 300×800 мм, над яким з невеликим зазором (~20 мм) встановлюють газозабірний пристрій Г-подібної форми. Вся конструкція виконана з подвійними стінками, між якими циркулює вода, що охолоджує. Основною перевагою такого відсмоктування є те, що перед виходом із печі гази проходять шар шихти, фільтруючись через неї та віддаючи їй частину свого тепла. Одночасно скорочуються підсмоктування повітря в піч через робоче вікно. Тому в порівнянні з



відсмоктуванням через четвертий отвір у зводі газу, що відсмоктується через арку робочого вікна, характеризуються меншою запиленістю та температурою.

Таким чином, винесення пилу і втрати тепла з газами, що відсмоктуються, скорочуються. Промислові випробування та експлуатація такої системи газовідсмоктування на кількох печах одного з підприємств показали працездатність та ефективність газовідсмоктування через арку робочого вікна в печах малої та середньої ємності.

Розрізняють дві системи організації відсмоктування: з розривом та без розриву газового потоку. Відсмоктування газів з розривом газового потоку, підсмоктуванням повітря і допалюванням оксиду вуглецю здійснюють при збереженні між отвором у склепінанні і трубою відстані близько 0,3 м. Так як вихід газів з отвору визначається режимом тиску в печі, то при хорошому ущільненні електродних зазорів відсмоктування практично не впливає на процеси, що йдуть в пічному просторі. Внаслідок підсмоктування повітря та горіння оксиду вуглецю витрата газів у газовідвідному тракті значно перевищує вихід газів з печі.

Відсмоктування газів без розриву газового потоку передбачає пристрій на отворі футерованого або водоохолоджуваного патрубку, жорстко пов'язаного зі склепінням і переміщається разом з останнім. У робочому положенні отвір патрубка примикає до отвору стаціонарного газоходу, утворюючи з'єднання, іноді з ущільнюючим пристроєм. Зважаючи на те, що організованого допалювання оксиду вуглецю на виході з печі немає, система вибухонебезпечна і потребує спеціального регулювання. Регулювання виконується двопозиційно: для окисного та відновлювального періодів роботи печі. В окисний період під час максимального газовиділення в газовідвідний тракт вводять повітря в такій кількості, щоб коефіцієнт витрати повітря був не менше 2,0. При цьому вміст у газовому тракті оксиду вуглецю стає рівним 1,7-2,0 %, що надійно забезпечує безпеку роботи.

Найменша продуктивність газовідсмоктувача спостерігається під час

роботи без розриву газового тракту. При газовідсмоктуванні з розривом витрата газу збільшується приблизно в 3-4 рази, а при видаленні газів за допомогою зонтів та ковпаків – у 12-15 разів і більше. Приблизно пропорційно зростають розміри газоочищення, продуктивність димососів, витрати на експлуатацію та спорудження газовідвідного тракту. У металургії для великих дугових електросталеплавильних печей найбільшого поширення набули системи газовідсмоктування з розривом газового потоку.

Великий вплив на газовідсмоктувач має ущільнення місць проходження електродів. При хорошому ущільненні скорочується підсмоктування повітря або вибивання газів, зменшується витрата електродів внаслідок меншого окислення їхньої поверхні, скорочується продуктивність газовідсмоктування.

Найбільш прості і досить ефективні газодинамічні ущільнення (рис. 1.2 а), при яких у ущільнювальну коробку, розташовану на керамічному кільці, що лежить на зводі, тангенціально подається вентиляторне повітря під тиском 600-800 Па (до 1200 м<sup>3</sup>/год).

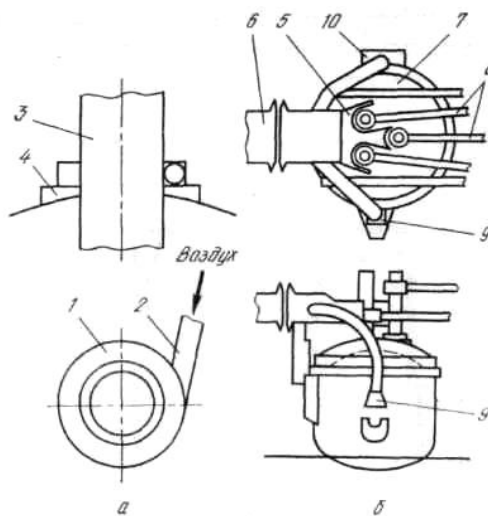


Рисунок 1.2 – Ущільнення зазорів електродів електросталеплавильної дугової печі: а – газодинамічний; б – бортові відсмоктувачі. 1 – повітряне кільце; 2 – підвідний повітропровід; 3 – електрод; 4 – опорне кільце; 5 – бортові відсмоктувачі від електродів; б – відведення до вентилятора; 7 – склепіння печі; 8 – тримачі електродів; 9 – ковпак у зливного жолоба; 10 – ковпак біля робочого вікна

Замикання фаз повітропроводами запобігається встановленням на них електроізолюючих прокладок та гумових шлангів. На деяких підприємствах застосовують секторні ущільнення з нержавіючої сталі, що охоплюють електрод і щільно притискаються до нього за рахунок напруги, що створюється спеціальними вантажами.

Останнім часом частіше стали застосовувати ущільнення у вигляді бортових відсмоктувачів висотою близько 700 мм, що віддаляються від склепіння печі на відстані близько 600 мм, що оберігає їх від згоряння (рис. 1.2 б). Однак ніякі конструкції газовідсмоктування не дозволяють повністю вловити гази, що виділяються через електродні зазори, робочі вікна та зливні лотки. Тому на додаток до четвертого отвору у склепінні під дахом встановлюють зонти, що вловлюють пилегазовиділення, що виділяються. обсяги газів, що відсмоктуються через ці зонти, досягають 600-1000 тис. м<sup>3</sup>/год, що різко дорожчає вартість очищення газів. Наступним кроком щодо зниження продуктивності газовідсмоктування є укладання всієї печі в захисний кожух, що дозволило різко скоротити обсяг газів, що видаляються, і майже вдвічі зменшити потужність системи газовідсмоктування, доводячи питомі енерговитрати до 15 кВт-год/т сталі. При цьому можна відсмоктувати гази і через четвертий отвір у склепінні, і з кожуха або тільки з кожуха. Приклад розміщення печі в захисному кожусі показано на рис. 1.3.

Для пропуску кошика із шихтою на короткий час відкриваються двостулкові завантажувальні ворота. Одночасно у верхній частині кожуха відкривається вузький клапан, який проходять канати крана. Ущільнення клапана здійснюється за допомогою повітряної завіси. При цьому відбувається відсмоктування газів і пилу, що виділяються в процесі завалки. Після закінчення завалки ворота знову відкриваються для видалення порожнього кошика, потім кожух повністю закривається на весь період плавки [2].

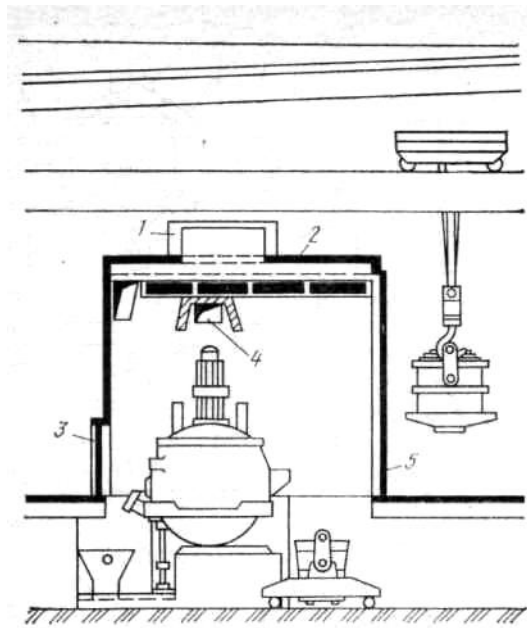


Рисунок 1.3 – Влаштування захисного кожуха для електросталеплавильної печі: 1 – клапан для канатів крана (відкритий); 2 – клапан для канатів крана (закритий); 3 – вікно для обслуговування печі; 4 – отвір для відсмоктування газів; 5 – завантажувальні ворота

### 1.3 Характеристика пилогазових викидів від електросталеплавильної печі

Вихід газів з електросталеплавильної печі і склад газової фази залежать від складу шихти, швидкості плавлення, технологічного і температурного режимів плавки, режиму кисневого продування. По ходу плавки склад газів залежно від швидкості вигорання вуглецю змінюється в наступних межах [6]: CO – 15-25 %, CO<sub>2</sub> – 5-11 %, H<sub>2</sub> – 0,5-35 %, O<sub>2</sub> – 3,5-10 %, N<sub>2</sub> – 61-72 %.

Середні викиди газів з дугових електросталеплавильних печей при відсмоктуванні через отвір в склепінні і працюючій газоочистці (питомий вихід газу) 350-450 м<sup>3</sup>/т.

Гази, що виходять з печі, в значній мірі забруднені пилом. Дрібнодисперсний пил утворюється в результаті випаровування металу в зоні дії електричних дуг і кисневого продування і подальшої конденсації в

пічному просторі. Крупніші фракції дають шлакотворні і мелені добавки. Середня концентрація пилу в газі 15-30 г/м<sup>3</sup>, що дає питомий вихід пилу 6-9 кг/т сталі. Нижче приведені дані, що характеризують дисперсний склад пилу при виплавці середньовуглецевих і хромистих сталей:

Розмір частинок, мкм	<0,7	0,7 – 7	7 – 80	>80
Вміст (по масі) %	42	35	16	7

Основним компонентом пилу є оксиди заліза, сумарна кількість якого складає: в період розплавлення – 80 %, в період кипіння (при продуванні киснем) – 62 % і в період доведення – 53 %. В період розплавлення в пилу з'являються оксиди марганцю (11 %), в період доводки - оксиди кальцію (6 %) і магнію (9 %). У невеликих кількостях в газах знаходяться наступні токсичні мікрокомпоненти, мг/м<sup>3</sup> (г/т): оксиди азоту – 550 (270), оксиди сірки – 5 (1,6), ціаніди – 60 (28,4), фториди – 1,2 (0,56).

Неорганізовані викиди в цехах досягають 40 % технологічних викидів.

## 2 ЕКОЛОГІЯ ЕЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

### 2.1 Огляд існуючих способів очищення газів дугових електросталеплавильних печей

Пил дугових сталеплавильних печей дрібнодисперсний, тому для уловлювання з газів застосовують апарати 1 класу – електрофільтри, скрубери Вентурі і рукавні фільтри.

Мокре очищення газів дугових сталеплавильних печей здійснюється в скруберах Вентурі. В СПЦ-2 система мокрого очищення складається з двох черг: одна черга складається з чотирьох труб Вентурі і чотирьох краплеуловлювачів. Одна черга доводиться на чотири печі. Установка скомпонована з чотирьох труб Вентурі щільного перерізу з горловиною 280×1150 мм. У кожную трубу через п'ять форсунок підводиться вода. Форсунки встановлені в конфузорній частині: три на відстані 500 мм і дві на відстані 750 мм від горловини. Труба Вентурі виконана суцільнозварної конструкції з нержавіючої сталі.

Схема очищення газів дугових електропечей в скрубери Вентурі представлена на рис. 2.1.

Гази з електропечі через водоохолоджувану порталну камеру на склепінні прямують в стаціонарний газохід. З метою допалювання СО організовано розрив газоходу розміром 60 мм [6]. Потім газ поступає на тонке очищення в блок труб Вентурі. В якості спонукачів тяги зазвичай застосовують млинові вентилятори, оскільки пил дрібнодисперсний і для його уловлювання потрібні режими роботи зі значними перепадами тиску. Димотяги встановлюють як перед трубою Вентурі з краплеуловлювачем, так і після них. Після краплеуловлювача відцентрового типу діаметром 3500 мм і заввишки 12000 мм, який призначений для уловлювання краплинної вологи, очищені гази через димар виводяться в атмосферу.

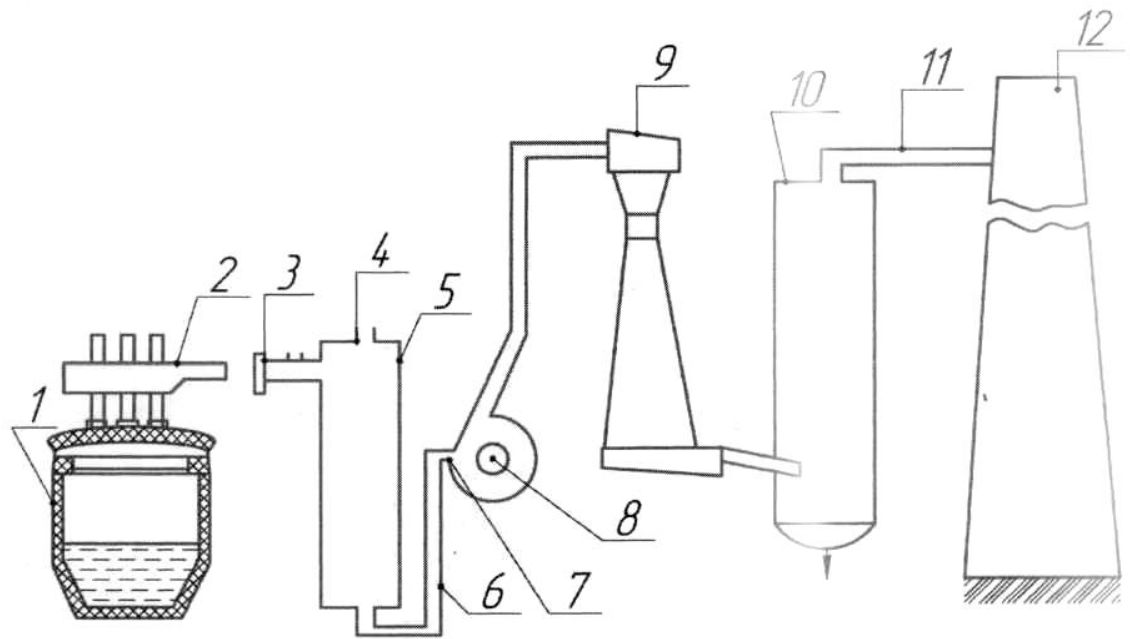


Рисунок 2.1 – Схема очищення газів дугових електропечей в скрубєрі Вентурі: 1 – піч; 2 – портална камера; 3 – патрубок допалювання газів; 4 – клаван підсосу атмосферного повітря; 5 – камера охолодження; 6 – стаціонарний газохід; 7 – вхідний патрубок; 8 – вентилятор; 9 – труба Вентурі; 10 – краплеуловлювач; 11 –газохід; 12 – димар

Зазвичай, мокрому способу очищення газів електросталеплавильних печей сприяє проблема очищення води і повернення її в оборотний цикл. При цьому слід також враховувати: можливість металізації деяких з'єднань на стінках трубопроводів і їх заростання; корозійний знос устаткування і газопроводів; шкідливий вплив краплинної вологи, що міститься в газах, на стінки цегляних і залізобетонних труб; погіршення умов розсіювання пилу і шкідливих газів, що викидаються через димарі в атмосферу.

Переваги газоочищення мокрого типу полягають в простій конструкції; можливості використання при високій температурі і підвищеній вологості газів; можливості уловлювання разом із зваженими твердими частками пари і газоподібних компонентів; а також в тому, що уловлювання пилу можна територіально розділити.

Міра очищення газів від тонкодисперсного пилу за такою схемою складає 98 %, але скрубери Вентурі мають великий гідравлічний опір (до 10 кПа і вище), а рукавний фільтр вимагає витрат енергії майже в 10 разів менше [6]. Тому скрубери Вентурі відносять до розряду енергоємних апаратів.

Схема очищення газів дугових електросталеплавильних печей в електрофільтрі. Гази від печі відводяться комбінованим способом: через четвертий отвір або порталною камерою і пилогазоподібним зонтом, встановленим над піччю.

Гази по газоходу з вибуховим клапаном поступають в електрофільтр, де під впливом електричного поля з них виділяються частки пилу і осідають на електродах, а очищені газы, пройшовши електричне поле, виходять з електрофільтру і по газоходу вентилятором через димар викидаються в атмосферу. З електродів пил видаляється шляхом їх струшування, а потім обсипається в нижню частину електрофільтру – бункер, звідки його безперервно або періодично видаляють.

Очищення газів в електрофільтрах має наступні переваги: залежно від вимог виробництва можливо сконструювати електрофільтр будь-якої продуктивності (від одиниць до декількох сотень тисяч кубічних метрів на годину) і на бажану міру очищення газів (до 99%) [7]; у електрофільтрах можна уловлювати частки розміром від 100 до 0,01 мкм, причому процес очищення повністю автоматизується і здійснюється зазвичай при меншій витраті електроенергії, чим в інших апаратах.

Найбільш суттєвим недоліком цих апаратів є те, що в електрофільтрі можуть осідати тільки речовини, що знаходяться в зваженому стані, тобто у вигляді пилу або туману. У ньому не можна відокремити один газ від іншого або від пари без попередньої конденсації цієї пари в туман, або без здійснення хімічних реакцій по переведенню уловлюваного компонента з газу в твердий стан.



Враховуючи недоліки при очищенні газів в скруберах Вентурі та електрофільтрах, тканинні фільтри виявляються найперспективнішими для очищення газів дугових електропечей.

Тканинні фільтри мають наступні переваги в порівнянні з іншими газоочисними апаратами:

- вища міра очищення газів від завислих частинок, чим в газоочисних апаратах інших типів; фільтри здатні забезпечити практично повне уловлювання частинок усіх розмірів, включаючи субмікронні;

- універсальність (здатність уловлювати тверді частинки в сухому виді і рідкі частинки з туману) та простота експлуатації;

- можливість уловлювання частинок при будь-якому тиску газів (атмосферному, а також вище і нижче за атмосферне);

- хороша міра очищення при малих концентраціях завислих частинок в газах, що очищаються;

- можливість очищення газів нагрітих до високої температури (залежно від матеріалу фільтру);

- використання хімічно стійких матеріалів;

- можливість повної автоматизації процесу очищення газів;

- стабільність процесу очищення і менша залежність від зміни фізико-хімічних властивостей уловлюваних частинок і витрати газів, чим при електроочищенні.

Схема очищення газів дугових електропечей в рукавному фільтрі представлена на рис. 2.2. За цією схемою газів від дугової електропечі відводяться комбінованим способом: через двохсекційний зонт, встановлений над піччю, і через четвертий отвір в склепінні печі. Запилений газ по газоходу брудного газу з вибуховим клапаном поступає в рукавний фільтр, де проходячи через тканину рукавів, очищується на 99-99,9 %. Пил осідає на рукавах, а після їх регенерації обсипається в нижню частину рукавного фільтру – пиловий бункер. Очищений газ по газоходу вентилятором через димар викидається в атмосферу.

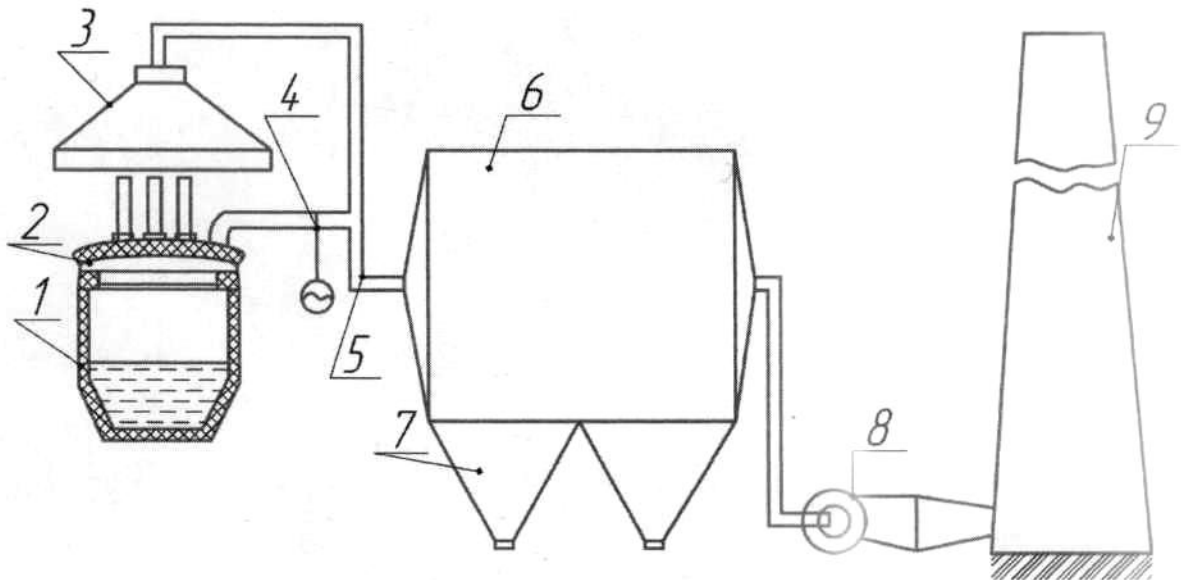


Рисунок 2.2 – Очищення газів дугових електропечей в рукавному фільтрі:  
 1 – піч; 2 – отвір в склепінні; 3 – зонт; 4 – вибуховий клапан; 5 – газохід брудного газу; 6 – рукавний фільтр; 7 – пиловий бункер; 8 – димотяг;  
 9 – димар

## 2.2 Обґрунтування вибраного способу очищення газів

У кваліфікаційному проекті запропоновано спосіб очищення газів дугових сталеплавильних печей в рукавному фільтрі, оскільки він має наступні переваги в порівнянні з іншими способами:

- відсутність шламового господарства, що значно знижує витрати на очищення газу;
- відсутність налипання пилу на лопатях вентилятора, що виключає необхідність зупиняти димотяг на очищення;
- пил легко утилізувати, оскільки його легше підготувати до використання.

Проектна схема передбачає відбір запилених газів від печі порталньою камерою, встановленою на склепінні печі, і двома зонтами. Зонт №1 забезпечує локалізацію неорганізованих викидів при зливі металу (над

льоткою), зонт №2 при розплаві і плавці металу. Площа зонту над піччю складає 45,5 м<sup>2</sup>, площа над зливним носком – 102,5 м<sup>2</sup> (рис. 2.3) [6].

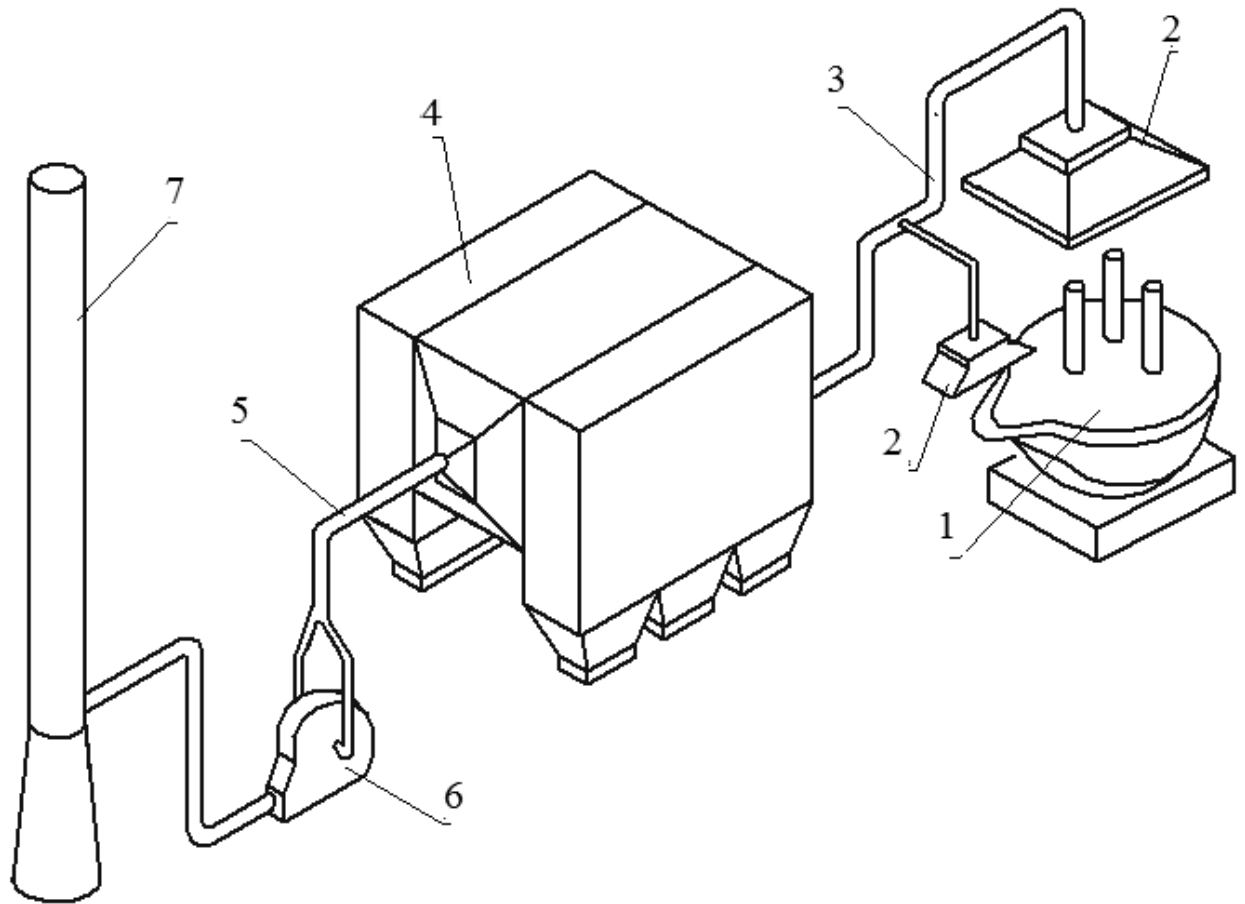


Рисунок 2.3 – Схема газоочищення електросталеплавильного виробництва:

- 1 – дугова піч; 2 – зонт; 3 – газохід брудного газу; 4 – рукавний фільтр;  
5 – газохід чистого газу; 6 – димотяг; 7 – димар

Кількість газів, що відбираються від місць виділень, регулюється запірно-регулювальною арматурою, представленою дросельними клапанами Ду800 (від порталної камери), Ду900 (від підвісного зонту №2) і Ду1200 (від зонту №1). Запилене аспіраційне повітря за допомогою повітроводів прямує у вузол входу «брудного» газу в рукавний фільтр типу ФРІР і після тонкого очищення за допомогою димаря викидається в атмосферу. Уловлений в рукавному фільтрі пил при регенерації осідає в бункері, звідки за допомогою шлюзового живильника прямує в систему пилоприбирання.

### 2.3 Розрахунок рукавного фільтру

Початкові дані:

- витрата газу за робочих умов:	$Q = 717294 \text{ м}^3/\text{ГОД} = 199 \text{ м}^3/\text{с};$
- початкова запиленість	$Z_1 = 2 \text{ г}/\text{м}^3;$
- медіанний діаметр пилю	$d_m = 2,8 \cdot 10^{-6} \text{ м};$
- температура газу	$t_r = 130^\circ\text{C};$
- динамічний коефіцієнт в'язкості	$\mu = 22,2 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с} [8];$
- пористість тканини	$m_1 = 0,2;$
- питомий гідравлічний опір тканини	$h = 1,8 \cdot 10^5 \text{ Па} [8];$
- допустимий опір фільтру	$P = 2 \text{ кПа};$
- витрата стислого повітря	$Q_B = 950 \text{ м}^3/\text{ГОД};$
- швидкість фільтрації	$\omega_1 = 1,7 \text{ м}/\text{хв} = 0,028 \text{ м}/\text{с}.$

Пористість шару пилю:

$$m = 1 - 79d_m^{0.47} = 1 - 79(2.8 \cdot 10^{-6}) = 0.8.$$

Необхідна площа фільтрувальних елементів фільтру:

$$S = \frac{Q + Q_B}{\omega} = \frac{719294 + 950}{0.028 \cdot 3600} = 7042 \text{ м}^2.$$

Вибираємо рукавний фільтр ФРІР-7000 з площею фільтрування 7000 м<sup>2</sup>. При діаметрі фільтрувальних рукавів  $D = 0,133 \text{ м}$  і довжині  $l = 5,32 \text{ м}$  площа поверхні одного рукава складе [8]:

$$S = 3.14 \cdot 0.133 \cdot 5.32 = 2.22 \text{ м}^2.$$

Необхідна кількість фільтрувальних рукавів:

$$n = \frac{7042}{2.22} = 3172 \text{ шт.}$$

Приймаємо площу рівну  $S=7000 \text{ м}^2$  і кількість рукавів 3456, що дозволить розмістити їх в шаховому порядку  $16 \times 18$  (по 288 шт. у кожній секції). Загальна кількість секцій 12. Тоді, фактична швидкість фільтрації:

$$\varpi = \frac{Q + Q_B}{3600 \cdot S_1 \cdot n} = \frac{717294 + 950}{3600 \cdot 2.22 \cdot 3456} = 0.026 \text{ м/с.}$$

При втраті тиску у фільтрі  $\Delta P = 2000 \text{ Па}$  і фактичній швидкості фільтрування  $\omega_1 = 0.02 \text{ м/с}$ , час між регенераціями фільтру складе:

$$\tau = \frac{\rho_{II}(\Delta P - AB)}{A \cdot Z_1 \cdot \varpi_1}, \text{ с}$$

де А, В – коефіцієнти, які знаходяться по формулах:

$$A = \frac{817 \cdot \mu \varpi_1 (1 - m)}{d_m^2 m^3} = \frac{817 \cdot 22.2 \cdot 10^{-6} \cdot 0.026 (1 - 0.8)}{(2.8 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 0.8^3} = 2.3 \cdot 10^7;$$

$$B = 0.28 \cdot 10^{-6} \cdot d_m^{0.25} \cdot m_1^3 (1 - m) \cdot h^{2/3} = 0.287 \cdot 10^{-6} \cdot (2.8 \cdot 10^{-6})^{0.25} \cdot 0.2^3 \cdot (1 - 0.2) \cdot (1.8 \cdot 10^5)^{2/3} = 1.7 \cdot 10^7$$

$$\tau = \frac{4200(2000 - 2.3 \cdot 10^7 \cdot 1.7 \cdot 10^{-7})}{2.3 \cdot 10^7 \cdot 0.002 \cdot 0.026} = 7009 \text{ с} = 1,95 \text{ год} = 117 \text{ хв} = 1 \text{ год } 57 \text{ с.}$$

Кінцева запиленість після рукавного фільтру (приймаємо ефективність  $\eta = 99 \%$ ):

$$Z_2 = Z_1(1 - \eta) = 2(1 - 0.99) = 0.02 \text{ г/м}^3 = 20 \text{ мг/м}^3.$$

Основними конструктивними особливостям рукавного фільтру ФРІР є: корпус, система регенерації, фільтрувальні рукави, дротяний каркас, система повітропостачання.

Корпус є конструкцією рукавного фільтру, в якому розміщено механічне устаткування. Корпус фільтру має камери брудного і чистого газів, розділені горизонтальними перегородками рукавними дошками з отворами

для кріплення фільтрувальних рукавів. Фільтрувальні рукави розміщуються в камері брудного газу за допомогою рукавних дощок. Кріплення рукавів одностороннє з боку камери чистого газу. Верхня частина камери чистого газу обладнана сталевими кришками для доступу до фільтрувальних рукавів. Камера брудного газу представляє єдину секцію без перегородок. Камера чистого газу розділена вертикальними перегородками на 4 секції по числу можливої установки відсічних клапанів. Вихід чистого газу загальний. Нижня частина корпусу рукавного фільтру закінчується пірамідальним бункером з гвинтовим конвеєром діаметром 250 мм [6], поміщеним в овальний короб з фланцями для під'єднування до щілинного бункера. Обертання шнека забезпечується моторедуктором. Кут нахилу стінок бункера –  $65^\circ$  [6]. У нижній частині бункера передбачені фланці для установки шлюзових живильників. Корпус рукавного фільтру обладнаний сходами, майданчиками і обгороджуваннями, що дозволяють забезпечити доступ до механічного устаткування. Корпус рукавного фільтру має бути теплоізолюваний.

Система регенерації є комплексом пристроїв для подачі імпульсів стислого повітря всередину фільтрувальних рукавів з метою регенерації, до неї входять: накопичувач стислого повітря; клапани продувальні; колектори роздавальні. Накопичувач стислого повітря виготовляється з гарячекатаної труби діаметром  $325 \times 10$ . Виготовлення посадочних місць для продувальних клапанів проводиться методом гарячого витягу. Після виготовлення накопичувач стислого повітря спочатку випробовується на міцність гідравлічним тиском 0,9 МПа протягом 10хв. Падіння напруги не допускається. Після монтажу імпульсних клапанів накопичувач стислого повітря перевіряється на щільність стислим повітрям тиском 0,6 МПа. Допустиме падіння тиску 0,5 атм. Клапан продувальний швидкодіючий призначений для утворення імпульсів стислого повітря в процесі регенерації рукавів. Технічна характеристика продувального клапана представлена на таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика продувального клапана

Найменування параметру	Одиниця виміру	Величина
Робочий тиск стислого повітря	МПа	0,1 – 0,6
Тривалість повного відкриття	мс	Не більше 10
Тривалість повного відкриття закриття	мс	Не більше 100-200
Умовний параметр прохідного перерізу	мм	70
Напрацювання на відмову	Цикл	Не менше 5*10

Управління роботою продувальних клапанів здійснюється за допомогою пневморозподільника, що встановлюється у верхній частині клапана.

Колектор роздавальний забезпечує подачу імпульсів стислого повітря безпосередньо у фільтрувальні рукави. Для демонтажу горизонтальної частини колектора під час заміни фільтрувальних рукавів служать швидкокорознімні фланцеві з'єднання.

Фільтрувальні рукави виготовлені з поліефірного голкопробивного полотна з каркасом з філаментних ниток. Зшивається рукав трьохрядковим подовжнім швом. У горловину рукава ушито металеве кільце, що оберігає рукав від прослизання вниз через отвір в рукавній дошці. У нижній частині рукава ушито денце.

Дротяний каркас призначений для установки його в середину рукава з метою оберігання останнього від складання під впливом газового потоку, що йде зовні всередину рукава. Каркас дротяний є металевою зварною конструкцією, що складається з дротяних стержнів, опорних кілець і денця.

Повітропостачання пристроїв системи регенерації рукавів фільтру ФРІР-7000 забезпечується установкою вузла редукування лінії трубопроводів для подачі стислого повітря. Стисле повітря до швидкодіючих продувальних

клапанів подається по трубопроводах монттованим на майданчику обслуговування.

На вході трубопроводу на майданчик обслуговування обладнується вузол введення, на якому встановлюються відключаючі обладнання і контрольно-вимірювальні прилади (контроль тиску, температури). На розподільних лініях стислого повітря встановлюється редукційний клапан і замочні пристрої. Стисле повітря, що подається на продувальні клапана, має бути осушене і очищене не нижче 10 класу по ДСТУ 17433-80. Точка роси по маслу і волозі не повинна перевищувати 40 °С. Щоб уникнути утворення «точки роси» в рукавному фільтрі, повітря, що подається на регенерацію, піддається попередньому осушенню. Осушення повітря здійснюється в установці А800У-02.

*Принцип роботи рукавного фільтру.* Принципова схема роботи рукавного фільтру представлена на рис. 2.4.

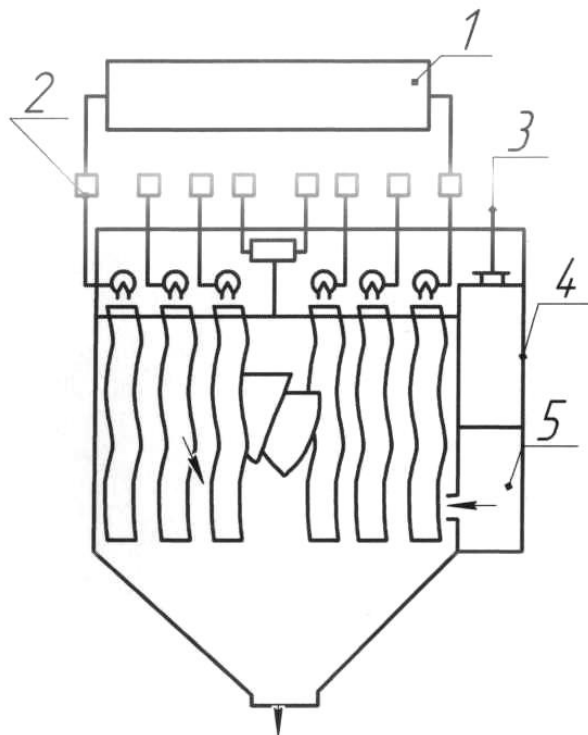


Рисунок 2.4 – Принципова схема роботи рукавного фільтру типу ФРІР



Запилене аспіраційне повітря поступає в камеру «брудного газу». Напрямок руху потоку газу в колекторі організовано так, щоб в міжрукавний простір кожної секції рукавного фільтру поступало запилене аспіраційне повітря і, розподіляючись по секції, мав би складову векторів руху вертикально вниз.

Крім того, технологічна схема руху брудного газу в корпусі рукавного фільтру прийнята, виходячи з таких вимог:

- зниження швидкості газового потоку до 3-4 м/с на вході в рукавний простір камери брудного газу;
- зміни напрямку руху газового потоку спочатку зверху вниз, а потім знизу доверху при одночасному зменшенні швидкості руху. Ця частина корпусу фільтру одночасно виконує роль осадочної камери для видалення з газового потоку великих часток пилу і шлаку;
- підвода брудного газу до верхньої частини рукавів і подальший рух газового потоку між рукавами зверху вниз.

Описана вище технологічна схема руху газового потоку є важливою технічною перевагою фільтру ФРІР в порівнянні з фільтрами інших конструкцій.

Також рукавні фільтри ФРІР мають наступні переваги перед іншими: менші габарити при тій же продуктивності; закріплення рукавів проводять з одного боку верхньої частини фільтру, що гранично спрощує заміну рукавів; підвищена ремонтпридатність фільтру; ефективність імпульсної регенерації, здійснюваної за допомогою клапанів з підвищеною швидкодією, розміщення на відкритому повітрі з укриттям тільки верхньої частини фільтру [15].

З міжрукавного простору фільтру запилений газ проходить через фільтрувальні рукави по напрямку зовні в середину. При цьому пилоподібні забруднення відділяються перегородкою з фільтрувального полотна. Встановлені усередині фільтрувальних рукавів дротяні каркаси зберігають форму рукава, не даючи йому можливість скластися.

Для відновлення фільтруючої здатності рукавів періодично здійснюється їх регенерація. Через рівні інтервали часу (встановлювані в процесі пуско-налагоджувальних робіт) при короткочасному відкритті продувальних клапанів і накопичувачів стислого повітря подається стисле повітря прямо в розподільні колектори протягом імпульсу з надлишковим тиском 0,4 – 0,5 МПа. Потім через сопла спеціальної форми роздавальних колекторів повітря з великою швидкістю витікає у фільтрувальні рукави.

Продувальне повітря у вигляді ударної хвилі потрапляє у фільтрувальний рукав. При цьому наростає відповідний протитиск рукавів, який до подачі імпульсу прилягав до корпусу дротяного каркаса різко роздувається до свого повного об'єму і в кінцевому положенні різко гальмується, частки при цьому продовжують за інерцією свій шлях і відриваються від зовнішньої поверхні фільтрувального полотна. З внутрішнього середовища фільтрувального полотна частки пилу видуваються коротким, але сильним продувальним струменем назад в сторону «брудного газу». Виділений пил падає в бункер фільтру. Після закриття продувального клапану очищені рукави знову готові до нормального процесу фільтрування.

Відповідно до заданої тривалості такту усі ряди рукавів будуть в певній послідовності в положенні регенерації на час тривалості імпульсу. Тривалість імпульсів тактів регулюється за допомогою блоку автоматики (контролера), погоджуючи їх з різними експлуатаційними умовами. Головним параметром введення рукавного фільтру в режим регенерації є підвищення опору вище деякої величини перепаду тиску (P). При зниженні P нижче за цю величину процес регенерації припиняється і система автоматики переходжуватиме в режим «очікування». Величина P визначається в процесі пуско-налагоджувальних робіт залежно від досягнення проектною продуктивності фільтрувальної установки.

Пил, уловлений в рукавному фільтрі, накопичується в бункерах. Видалення пилу з бункерів виробляється за допомогою системи

пилоприбирання. Управління регенерацією фільтру здійснюється системою автоматики. Система передбачає прямий вимір гідравлічного опору фільтру за допомогою диференціального манометра з вторинним записуючим приладом. Побічно визначається відношення опору фільтру до витрати газу, що очищується [6].

Система імпульсної регенерації фільтру ФРІР-7000 розрахована на роботу в 3-х режимах:

- критерієм роботи системи є гідравлічний опір фільтру ( $\Delta P=1,2-2,5$  кПа). Потрібне значення  $P$  вибирається при наладці і встановлюється вручну. Дискретність установки величини  $\Delta P_{кр}$  складає  $0,1$  кПа;

- критерієм роботи системи є величина, яка визначається відношенням гідравлічного опору фільтру до витрати газу  $Q$  через нього  $\alpha = (P/Q)_{кр}$ . Межі виміру  $\Delta P/Q$  складають від  $1,5$  до  $4,0$  Па (тис. м<sup>3</sup>/год). Величина  $(\Delta P/Q)_{кр}$ , при якій починається регенерація, вибирається при наладці фільтру. Дискретність установки відповідає дискретності зміни  $\Delta P/Q = 0,25$  Па (тис. м<sup>3</sup>/год). Досягнення  $\alpha$  допускається за умови  $P \leq P_{кр}$ ;

- регенерація здійснюється за циклічною тимчасовою програмою.

Перемикання режимів регенерації проводять тумблерами розміщеними на блоці управління регенерацією. Усі режими регенерації можуть здійснюватися без переривання фільтрації і з перериванням.

#### **2.4 Аеродинамічний розрахунок газового тракту**

При відборі газів з печі порталною камерою газовий склад наступний:  
 $CO_2 - 7,4 \%$ ;  $CO - 28 \%$ ;  $O_2 - 3 \%$ ;  $H_2 - 2,8 \%$ ;  $N_2 - 58,8 \%$ .

Витрата газів:  $Q=100\ 000$  нм<sup>3</sup>/год; температура газу:  $t_r=1900$  °С;  
 розрідження газів  $p = -491$  Па; барометричний тиск  $B = 101,3$  кПа.

Щільність за нормальних умов:

$$\rho_o = \frac{1}{100 \cdot 22,4} \sum (a_i \cdot C_i) \text{ кг/м}^3,$$

де  $a_i$  – молярна маса  $i$ -го компоненту;

$C_i$  – концентрація  $i$ -го компоненте в суміші, % об.

$$\rho_o = \frac{1}{100 \cdot 22,4} (7,4 \cdot 44 + 3 \cdot 32 + 28 \cdot 28 + 2,8 \cdot 2 + 58,5 \cdot 28) = 1,28 \text{ кг/м}^3.$$

Щільність за робочих умов:

$$\rho = \frac{273(B \pm P)}{101325 \cdot T} \cdot \rho_o, \text{ кг/м}^3,$$

де  $T$  – температура газу, К;

$B$  – барометричний тиск, Па;

$P$  – тиск або розрідження газу.

$$\rho = \frac{273(101325 - 491)}{101325 \cdot (1900 + 273)} \cdot 1,28 = 0,16 \text{ кг/м}^3.$$

Витрата газу за робочих умов:

$$Q = Q_o \frac{\rho_o}{\rho} = 100000 \frac{1,28}{0,16} = 800000 \text{ м}^3 / \text{ч} = 222 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Динамічний коефіцієнт в'язкості за нормальних умов [16]:

$$\mu(O_2) = 20,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}; \quad \mu(CO_2) = 13,7 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}; \quad \mu(N_2) = 17 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu(CO) = 16,6 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}; \quad \mu(H_2) = 8,42 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

Динамічний коефіцієнт в'язкості суміші газів:

$$\mu_o = 0,01 \sum \mu_i \cdot r_i, \text{ Па} \cdot \text{с},$$

де  $\mu_i$  – динамічні коефіцієнти в'язкості суміші газів, Па·с;

$r_i$  – концентрація  $i$ -го компоненту суміші, % об.

$$\mu_o = 0,01 \cdot 10^{-6} (8,42 \cdot 2,8 + 13,7 \cdot 7,4 + 16,6 \cdot 28 + 20,3 \cdot 3 + 17 \cdot 58,8) = 16,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Константа Сазерленда для компонентів газової суміші [6]:

$$C'(O_2) = 131; C'(CO) = 100; C'(CO_2) = 254; C'(H_2) = 73; C'(N_2) = 114.$$

Постійна Сазерленда для газової суміші:

$$C' = 0,01 \sum_1^n C'_i r_i = 0,01(131 \cdot 3 + 100 \cdot 28 + 254 \cdot 7,4 + 73 \cdot 2,8 + 114 \cdot 58,8) = 119,8.$$

Динамічний коефіцієнт в'язкості суміші газів за робочих умов:

$$\mu = \mu_o \frac{273 + C'}{T + C'} \left( \frac{T}{273} \right)^{1,5} = 16,5 \cdot 10^{-6} \frac{273 + 119,8}{273 + 1900 + 119,8} \left( \frac{1900 + 273}{273} \right)^{1,5} = 63,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

На ділянці портал – боров температура газу знижується до 1700°C і, отже, змінюються параметри газу.

Витрата повітря для дожигу СО  $Q=9000 \text{ нм}^3/\text{год}$ .

Розрідження перед боровом  $P= - 0,8 \text{ кПа}$ .

Параметри газу:

$$\mu = 16,5 \cdot 10^{-6} \frac{273 + 119,8}{273 + 1700 + 119,8} \left( \frac{1700 + 273}{273} \right)^{1,5} = 60,2 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\rho = \frac{273(101,3 - 0,491 - 0,8)}{101,3 \cdot (1700 + 273)} \cdot 1,28 = 0,17 \text{ кг/м}^3;$$

$$Q = (100000 + 9000) \frac{101.3(273 + 1700)}{273(101.3 - 0.8 - 0.491)} = 797924 \text{ м}^3 / \text{ч} = 221.6 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Повний розрахунковий опір газовідвідного тракту визначають як суму втрат тиску на тертя  $\Delta P_{\text{тр}}$  і на подолання місцевих опорів  $\Delta P_{\text{м}}$ , Па:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{м}}, \text{ Па.}$$

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda \frac{1}{d} P_{\text{д}}, \text{ Па.}$$

$$\Delta P_{\text{м}} = P_{\text{д}} \cdot \zeta, \text{ Па.}$$

Динамічний тиск потоку:

$$P_{\text{д}} = \rho \cdot \frac{w^2}{2},$$

де  $l$  – розрахункова довжина ділянки трубопроводу, м;

$\zeta$  – коефіцієнт місцевого опору;

$\lambda$  – коефіцієнт тертя, приймаємо  $\lambda=0,02$  [6];

$d$  – внутрішній діаметр трубопроводу, м.

Ділянка I: боров – рекуператор: температура газу  $t=620$  °С; витрата газу  $Q_0=13200$   $\text{нм}^3/\text{год}$ ; швидкість газу в газозоді  $U=15$  м/с; довжина ділянки  $l=6$  м.

$$\mu = 16,5 \cdot 10^{-6} \frac{273 + 119,8}{273 + 1620 + 119,8} \left( \frac{1620 + 273}{273} \right)^{1,5} = 58,8 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\rho = \frac{273(101.3 - 0.491 - 0.8)}{101.3 \cdot (1620 + 273)} \cdot 1.28 = 0,18 \text{ кг/м}^3;$$

$$Q_t = 13200 \frac{101.3(273 + 1620)}{273(101.3 - 0.8 - 0.491)} = 92711 \text{ м}^3 / \text{ч} = 25,8 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Розрахуємо діаметр трубопроводу:

$$D = \sqrt{\frac{4Q_t}{\pi w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 25.8}{3.14 \cdot 15}} = 1.48 \text{ м},$$

приймаємо стандартний  $D_{\text{СТ}} = 1,5 \text{ м}$ .

Визначаємо фактичну швидкість в трубопроводі:

$$w_{\phi} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_{\text{см}}^2} = \frac{4 \cdot 25.8}{3.14 \cdot 1.5^2} = 15 \text{ м} / \text{с},$$

Знаходимо втрати по довжині трубопроводу:

$$\Delta P_1^1 = 0,02 \cdot \frac{6}{1.5} \cdot 0.18 \cdot \frac{15^2}{2} = 1.62 \text{ Па}.$$

На цій ділянці зустрічаються такі місцеві опори: плавний поворот на  $90^\circ$ , тоді  $\zeta = 0,29$  [7].

$$\Delta P_m^1 = 0.29 \cdot 0.18 \cdot \frac{15^2}{2} \text{ Па}.$$

Тоді сумарні втрати тиску на 1, ділянці складуть:

$$\Delta P_{\Sigma}^1 = 1.62 + 5.9 = 7.52 \text{ Па}.$$

Аналогічно проводимо розрахунок ділянок II, III, IV і отримані дані зводимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати аеродинамічного розрахунку

№	Найменування	Q <sub>i</sub> , м/с	D, м	W <sub>ф</sub> , м/с	P, кг/м	I, м	Z	P <sub>t</sub> , Па	P <sub>m</sub> , Па	P <sub>ф</sub> , Па
1	Броня рекуператор	25.8	1.5	15	0.18	6	-	20.25	-	1.02
	Плавний поворот 90°						0.29	20.25	5.9	
ΣP=7.57										
2	Рекуператор трійник	7.9	0.8	18.7	0.57	35		70.2		62.3
	5 плавних поворотів на 90°						0.29	70.2	1019	
	Рекуператор								1330	
ΣP=1513.4										
3	Трійник фільтр	199	4	15.8	0.8	40		99.9		20
	трійник						0.04	99.9	3.99	
	Плавний поворот на 129°						2	9.99	199.8	
	Плавний поворот на 90°						0.29	9.99	29	
ΣP=252										
4	Рукавний фільтр димотяг	199.5	4	15.9	0.8	15		101		7.9
	Плавний поворот на 90°						0.29	101	29	
	Рукавний фільтр								2000	
ΣP=1036.6										
ΣP=3810.31+491-800=3101.31										

## 2.5 Вибір тягодуттєвого устаткування

Створюваний димотягом тиск, приведений до умов каталогу, по якому вибирається димотяг:

$$\Delta P_{КАР} = 1.2 \Delta P_p \cdot K, \text{ Па,}$$



де  $\Delta P_p$  – сумарний опір газівідного тракту, отриманий в результаті аеродинамічного розрахунку;

1,2 – коефіцієнт запасу;

$K$  – коефіцієнт перерахунку, рівний:

$$K = \frac{(273 + T_g) \cdot 101.3 \cdot \rho_{O_2}}{(273 + T_{кат}) \cdot B \cdot \rho_{ОВ}}$$

де  $T_g$  – температура газу у димотягу, °С;

$T_{кат}$  – температура, до якої віднесені каталожні дані, °С;

$\rho_{O_2}$  і  $\rho_{ОВ}$  – щільність відповідно газу і повітря.

Розрахункова продуктивність:

$$Q_d = \frac{\beta_1 \cdot Q_p \cdot 101.3}{B} \text{ м}^3/\text{с},$$

де  $\beta_1$  – коефіцієнт запасу продуктивності,  $\beta_1 = 1,1$ ;

$Q_p$  – витрата газу, який йде на димотяг, м<sup>3</sup>/с;

$B$  – барометричний тиск.

Вибираємо димотяг ВДН-25×2 [7]. Встановлюємо 2 димотяга паралельно.

Технічна характеристика димотягу ВДН-25×2:

- частота обертання, об/хв	1000;
- продуктивність, тис. м <sup>3</sup> /год	520;
- споживана потужність, кВт	1265.

Споживана димотягом потужність:

$$N = \frac{N_{кат}}{K}, \text{кВт},$$

де  $N_{\text{КАТ}}$  – каталожне значення потужності, кВт.

$$N = \frac{1265}{1.27} = 996 \text{ кВт.}$$

Щоб зменшити продуктивність 2-х паралельно працюючих димотягів, змінюємо число оборотів з  $n$  на  $n_1$ :

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{n}{n_1};$$

$$\frac{800290}{(520000 \cdot 2)} = \frac{n_1}{1000}, \quad n_1 = 770 \text{ об/хв.}$$

Димотяг укомплектований електродвигуном типу ДА302-17-44-8/10 потужністю 630/320 кВт [7].

Параметри газу після димотягів:

$$Q_2 = 473241 \frac{101.3(273+130)}{273(101.3-8-7.774)} = 697052 \text{ м}^3 / \text{год} = 194 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

$$\rho = \frac{273(101.3+8-7.774)}{101.3 \cdot (130+273)} \cdot 1.22 = 0.83 \text{ кг/м}^3;$$

$$D_{\text{ТР}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 194}{3.14 \cdot 15}} = 4 \text{ м,}$$

приймаємо стандартний діаметр  $D_{\text{СТ}}=4$  м;

$$U_{\phi} = \frac{4 \cdot 194}{3.14 \cdot 4^2} = 15 \text{ м/с.}$$

## 2.6 Утилізація вловленого продукту

В ході очищення технологічних і аспіраційних газів уловлюється велика кількість пилу. Аналіз хімічного складу пилу показав великий вміст цінних компонентів – оксидів заліза, марганцю і хрому. Складування уловленого пилу у відвалах економічно не вигідно оскільки є втратою сировини. Складування у відвалах частенько проходить на відкритих майданчиках, на які впливають метеорологічні і кліматичні природні чинники під дією яких компоненти і речовини, що містяться у відвалах, приходять в рухливість. Вивітрювання і вимивання відвалів сприяє погіршенню оточення природного середовища, що безпосередньо оточує відвали. Погіршення якості природного середовища спостерігається також на видаленні, що пояснюється геологічними і метеорологічними зв'язками.

Склад уловленого пилу дозволяє повертати пил з шихтою в електросталеплавильне виробництво як джерело кисню і оксидів заліза для інтенсифікації дефосфорації металу в період розплавлення шихти, а також кипіння ванни в окислювальний період. Такий варіант утилізації дозволяє утилізувати 95 % заліза, 75 % марганцю і не більше 25 % хрому.

Ефективнішим варіантом є використання уловленого продукту в якості шихтових матеріалів для відновної плавки в руднотермічної печі з отриманням легованого чавуну і шлаку. Подальше продування чавуну киснем дозволяє перевести цінні компоненти в шлак з отриманням феросплавів або без переведення компонентів в шлак отримати сталь. Цей варіант припускає повніше використання уловленого продукту, але також вимагає великих вкладень і витрат.

Утилізація пилу ускладнена без попередньої підготовки – грудкування. Продукт уловлюється у вигляді дрібнодисперсного пилу. Введення пилу в піч супроводжується великим винесенням пилу разом з відхідними газами. Для зменшення винесення в проектному варіанті утилізації пропонується попереднє грудкування – на тарілчастому окомкователю з отриманням

залізовмісних окатишів. Окатиші мають певний запас міцності, що дозволяє транспортувати їх не лише конвеєрними стрічками, але і автотранспортом. У трубчастій сушарці окатиші зневоднюються і частково відновлюються, при цьому збільшується міцність окатишів [6].

## **2.7 Система контрольно-вимірювальних приладів та автоматизація (КВП та А) рукавного фільтра ФРІР -7000**

Система КВП та А фільтра ФРІР-7000 повинна виконувати наступні завдання: регулювання технологічних параметрів; контроль технологічних параметрів; сигналізація про несправності, відмови та аварійні стани.

Регулюванню (управлінню) підлягають такі параметри КВП та А: тривалість імпульсу пневморозподільника продувного клапана; тривалість паузи між спрацюванням продувних клапанів; тиск стисненого повітря у системі регенерації.

Контролю підлягають наступні параметри газоочищення та системи регенерації:

- обсяг газу, що очищається, побічно - по кутку відкриття напрямних апаратів і струмовому навантаженню тягодутьєвого пристрою (ТДП) - індикація;

- температура підшипників ТДП;
- температура газу, що очищається на вході у фільтр;
- розрідження газу, що очищається на вході у фільтр;
- розрідження очищеного газу на виході з фільтра;
- стан роботи ТДП.

За системою регенерації:

- перепад тиску на фільтрі Р;
- тиск стисненого повітря на введенні;
- тиск стисненого повітря у накопичувачі;
- стан фільтра (індикація регенерації).

Сигналізація про несправності та аварійні стани необхідна для наступних параметрів:

- перепад тиску на фільтрі;
- розрідження до та після фільтра;
- температура газу перед фільтром;
- температура підшипників ТДП;
- тиск стисненого повітря на введенні;
- тиск стисненого повітря у накопичувачі стисненого повітря;
- рівні пилу у бункерах (за експлуатаційними випробуваннями);
- потік охолоджуючої підшипники ТДП води.

Перелік параметрів попередньої сигналізації:

- перепад тиску на фільтрі вище за норму;
- температура підшипників ТДП – висока;
- тиск стисненого повітря на введенні - низький;
- тиск стисненого повітря в накопичувачі - низький.

Перелік параметрів аварійної сигналізації:

- температура підшипників ТДП - аварійна;
- температура перед фільтром – аварійна;
- рівень пилу в бункерах аварійний (за результатами експлуатаційних випробувань).

Система КВП та А фільтра може перебувати в наступних станах:

- повної працездатності (всі параметри перебувають у проєктному режимі, всі механізми у робочому стані);
- часткову працездатність (параметри знаходяться в робочому діапазоні, деякі механізми або секції виведені на ремонт);
- аварія газоочищення – контрольовані параметри газоочищення досягли установок попередньої сигналізації;
- відмова системи – контрольовані параметри газоочищення досягли установок аварійної сигналізації, що направляють закриті, ТДП вимкнено.

*Вихідні вимоги до автоматики системи регенерації фільтра ФРІР-7000.* Система регенерації фільтра ФРІР-7000 має складатися з наступного технологічного обладнання: накопичувачів; продувних клапанів; відсічних клапанів.

Автоматика регенерації, що є підсистемою системи КІ та А фільтру та всього газоочищення, повинна виконувати наступні функції: функція автоматичного керування регенерацією; функція індикації робітника та сигналізації аварійного стану пневматичного обладнання системи регенерації.

Функція автоматичного управління регенерацією реалізується відповідно до вихідних даних на систему автоматики регенерації та повинна забезпечувати вирішення наступних завдань:

1. Визначення моменту початку регенерації шляхом прийому релейного сигналу «Початку регенерації» від граничного пристрою вторинного приладу вимірювання перепаду тиску в системі КВП та А в режимі «Автомат».

2. Ручний, разовий виклик регенерації від кнопок шафи керування щита керування та сигналізації.

3. Циклічний виклик регенерації за командою від внутрішнього таймера спеціалізованого електронного блоку автоматичного керування регенерацією.

4. Індикацію положення відсікових клапанів.

Необхідно передбачити можливість вибору режиму регенерації рукавів фільтра «з відсіканням» та «без відсікання».

Функція індикації робочого стану та сигналізації аварійного стану пневматичного обладнання системи регенерації та повинна забезпечувати виконання наступних завдань:

1. Індикація поточного значення та сигналізації про зниження нижче аварійного порога параметра  $P_{сп}$  (тиск стисненого повітря) на введенні (до пристрою підготовки): якщо  $P_{сп} < P_n$  видати сигнал «Відмова пневматики».

2. Сигналізація про зниження нижче аварійного порогу параметра  $P_{сп}$  (тиск стисненого повітря) у накопичувачі стисненого повітря (НСП): якщо  $P < P_n$  видати сигнал «Відмова пневматики» НСВ.

*Метрологічне забезпечення системи КВП та А фільтра ФРІР -7000.*  
Метрологічне забезпечення системи КВП та А включає вимірювальні прилади контролю технологічних параметрів фільтра. Вихідні сигнали первинних вимірювальних приладів та відповідно вхідні сигнали вторинних вимірювальних приладів рекомендується подавати у вигляді значень електричного струму. Вхідний сигнал для блоку автоматичного керування регенерацією – релейний від порогового пристрою вторинного приладу вимірювання, перепаду тиску  $\Delta P$ .

*Вимірювальні прилади та датчики.* При розробці КВП та А необхідно передбачити контроль технологічних параметрів, що характеризують роботу та очищення.

На пульті газоочисної установки передбачити:

- дистанційне керування димососами та дросельними клапанами після димотягу (крім того необхідно передбачити місцеве керування клапанами);
- індикацію струмового навантаження димотяга;
- індикацію та реєстрацію температури підшипників ТДУ;
- індикацію та реєстрацію температури газу перед фільтром клапаном підсмоктування атмосферного повітря;
- індикацію та реєстрацію розрідження до та після фільтра;
- індикацію та реєстрацію перепаду тиску на фільтрі ( $\Delta P$ ).

Передбачити світлову та звукову сигналізацію при виході за граничні значення наступних технологічних параметрів:

- перепад тиску на фільтрі – високий;
- розрідження перед фільтром – високе;
- розрідження після фільтра – високе;
- температура газоповітряної суміші перед фільтром – висока;
- температура підшипників ТДВ висока;

- тиск стисненого повітря на введенні – низький;
- Тиск стисненого повітря в накопичувачі – низький.

Передбачити світлову та звукову сигналізацію з видачею сигналу відключення тягодутьєвого пристрою при виході за аварійні значення наступних контрольованих технологічних параметрів:

- температура підшипників ТДУ – аварійна;
- рівень пилу в бункері – аварійний;
- температура газоповітряної суміші перед фільтром – аварійна.



## РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

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

Окремі операції електросталеплавильного процесу, такі як плавка, розливання сталі, роздягання зливків і очищення газів від пилу, супроводжується шкідливими виробничими чинниками – виділенням великих кількостей тепла, пилу і газів, підвищенням рівня шуму.

Для робочого місця сталевара електропечі відповідно до гігієнічної класифікації дана гігієнічна характеристика трудового процесу і оцінка чинників виробничого середовища, представлена в таблиці 3.1. Гігієнічна оцінка умов праці: умови праці відносяться до III класу 3 ступеня. Оцінка технічного і організаційного рівня: відповідає технологічному регламенту і проекту організації праці на робочому місці.

Атестація робочого місця: робоче місце має в наявності 2 чинника I ступеня, 2 чинники II ступеня і 5 чинників III ступеня. За показниками робоче місце слід вважати з особливо шкідливими і особливо важкими умовами праці.

Джерелами інтенсивних теплових випромінювань є пічний і розливний прольоти, а також відділення роздягання зливків. Оскільки електросталеплавильний цех – це гарячий цех, то із-за наявності великих кількостей надлишкового тепла відбувається значне підвищення температури повітря. Несприятливий вплив високих температур повітря посилюється дією випромінюваного тепла. Потoki теплових випромінювань в гарячих цехах створюють в основному інфрачервоні промені довжиною хвилі до 10 мкм. Дії теплового опромінення на органи зору викликає, головним чином, тепловий ефект. При довготривалому підвищеному інтенсивному опроміненні може виникнути катаракта очей.

Таблиця 3.1 – Оцінка чинників виробничого трудового процесу сталевара електропечі електросталеплавильного цеху

№ п/п	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі і небезпечні умови, характер праці			Тривалість дії чинника за зміну, %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> : 1 клас безпеки Ангідрид хромовий Оксид марганцю 2 клас безпеки 3 клас безпеки Сірководень Діоксид азоту Оксид вуглецю	0,01 0,05  10 2,0 20,0	0,07 0,39  10,8 0,55 5,0	   1,08	   	7 7,8  	90
2	Пил, переважно фіброгенної дії, г/м <sup>3</sup> Кремнію діоксид кристалічний при вмісті в пилу від 2 до 10 %	4	18,4			4,6	90
3	Шум, дБА	80	96			16	90
4	Вібрація (локальна), дБ	109	116			7	90
5	Мікроклімат в приміщенні: - Температура, °С - Швидкість руху повітря, м/с - Відносна вологість повітря, % - Інфрачервоне випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	16...27 0,2...0,6 70 140	34 0,71 39 1950	1,18	7  1950		90
6	Тяжкість і напруженість праці	Категорія робіт - важка, III напружена					

Шкідливим чинником є наявність високих концентрацій пилу в повітрі робочої зони. Гранична допустима концентрація такого нетоксичного пилу в повітрі робочої зони виробничих приміщень не повинна перевищувати 4мг/м<sup>3</sup>, а фактичне значення на робочому місці машиніста ексгаустера складає 18,4 мг/м<sup>3</sup> і відноситься до III класу III ступіня безпеки. Такий нетоксичний пил може також виявляти шкідливу дію на організм людини, подразнюючи шкіру, очі, ясна, вуха. Проникаючи в легені, пил може викликати специфічні професійні захворювання, такі як силікоз, силікатоз, антракоз, азбестоз і інші [9].

Найбільш ефективними засобами боротьби з пилом є механізація виробничих процесів з герметизацією операцій, пов'язаних з просіюванням, змішуванням і транспортуванням сипучих матеріалів і аспірацією пилу з місць її утворення, а також зрошування водою при різних робочих операціях, пов'язаних з пилоутворенням. Також необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту органів дихання, зокрема респіратор ШБ-2 «лепесток», яка усуває дію пилу на організм працюючих [10].

У повітря робочої зони потрапляють наступні газоподібні речовини: CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> та ін. Оксид вуглецю (II) утворюється в результаті фізико-хімічних реакцій в процесі плавки. CO потрапляє в організм людини через дихальні шляхи. Із-за утворення карбоксигемоглобіну різко знижується здатність крові переносити кисень до тканин, може наступити кисневе голодування. Головним чином, це впливає на функції центральної нервової системи. Сірчаний ангідрид має подразнюючу дію. При контакті з біологічними органами він викликає запальну реакцію, причому в першу чергу страждають органи дихання, шкіра і слизові оболонки очей. Оксид азоту (II) потрапляє в організм через дихальні шляхи і утворює в крові метгемоглобін. У робітників може виникнути кашель, задуха, задишка. У важких випадках може розвинутися набряк легенів. Спостерігаються також головні болі, серцева слабкість.

Одному з основних заходів по попередженню можливого отруєння оксидом вуглецю (II), сірчистим ангідридом, оксидом азоту (II) і іншими газами є своєчасне виявлення місць їх виділення або скупчення. Ці місця є газонебезпечними. Перелік таких місць і ділянок складається заздалегідь і затверджується головним інженером заводу. Працівники санітарно-технічних лабораторій і газорятувальні служби щодоби по встановленому графіку контролюють склад повітряного середовища в усіх газонебезпечних місцях. При виявленні виділень або скупчень газу негайно приймають заходи по припиненню допуску в газонебезпечні зони людей і локалізації джерела виділення газу. У цеху застосовується витяжна вентиляція [11].

### 3.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища електросталеплавильного цеху

*Об'ємно-планувальні рішення будівель і споруд цеху.* Відповідно до вимог санітарних норм для електросталеплавильного виробництва, в якому технологічні процеси є джерелами виділення виробничих шкідливостей в довкілля, передбачається встановлення санітарно-захисної зони. Розмір санітарно-захисної зони встановлюється на підставі санітарної класифікації виробничих процесів в цеху і визначення класу виробництва. Оскільки електросталеплавильне виробництво відноситься до I класу, то ширина санітарно-захисної зони дорівнює 1000 м.

Електросталеплавильний цех розташовується з підвітряного боку по відношенню до житлового району, а також до цехів, які не являються джерелами виділення шкідливостей в довкілля і до адміністративно-побутових будівель. Об'єм виробничого приміщення на одного працюючого повинен складати не менше 15 м<sup>3</sup>, а площа – не менше 4,5 м<sup>2</sup>. Для забезпечення норм природного освітлення не менше 20 % світлових отворів виконують у вигляді стулок переплетення, що відкриваються.

*Опалювання і вентиляція.* Вентиляційні пристрої в приміщеннях електросталеплавильного цеху повинні забезпечувати стан повітряного середовища в робочій зоні відповідно до санітарних норм. Значення прийнятих допустимих параметрів повітряного середовища в робочій зоні виробничих приміщень електросталеплавильного цеху представлені в таблиці 3.2.

Для поліпшення мікроклімату на робочих місцях сталевара в районі пічного прольоту і розливного прольоту передбачена природна і механічна подача повітря душируючими установками з обробкою повітря на типових кондиціонерах до постійних робочих місць.

Також потрібна витяжна вентиляція: в пічному прольоті – за допомогою місцевих відсмоктувань і механічної вентиляції з верхньої зони; у

розливному прольоті – також місцеві відсмоктування і природна загальнообмінна вентиляція з верхньої зони [11].

Таблиця 3.2 – Допустимі (оптимальні) параметри повітряного середовища для даної категорії робіт в електросталеплавильному цеху

Період року	Характеристика виробничих приміщень по надлишкових тепловиділеннях	Категорія робіт по тяжкості	На постійних раб. місцях			Температура повітря поза постійних робочих місць, °С
			Температура повітря, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с	
Холодний	>23 Вт/м <sup>3</sup>	III б	15-21	Не більше 75	Не більше 0,4	15-24
Теплий	>23 Вт/м <sup>3</sup>	III б	16-27	70 при 25 °С	0,2-0,6	15-29

У приміщеннях з надлишками явного тепла, температура повітря допускається не більше ніж на 3 °С вище за середню зовнішню температуру найжаркішого місяця, але не більше 27 °С. Відносна вологість при температурі 27 °С не більше 70 %.

*Санітарно-побутові приміщення.* Електросталеплавильний цех має приміщення, в яких розміщуються гардеробні, душові, умивальні і інші служби санітарно-побутового призначення. Допоміжні приміщення розміщуються в прибудовах до виробничих будівель і в окремих будівлях. Висота поверхів допоміжних будівель 3,3 м. Санітарно-побутові приміщення розташовуються так, щоб виключити дію на ці приміщення виробничих шкідливостей. Усі санітарно-побутові приміщення повинні регулярно провітрюватися і щодня прибиратися. Якщо неможливе природне провітрювання, то влаштовується вентиляція. Санітарно-побутові приміщення опалюються від центральної системи опалювання.

Для постачання питною водою у виробничих будівлях встановлені фонтанчики, закриті баки з фонтануючими насадками і інші пристрої, які розміщені в проходах виробничих приміщень, приміщеннях для відпочинку, у вестибюлях, а також на майданчиках території підприємств і поблизу технологічних установок, що розміщуються поза будівлями.

*Виробничий шум, виробнича вібрація.* Надмірний шум обмежує можливе підвищення потужності устаткування. Це заважає правильній організації і проведенню виробничих процесів і негативно позначається на продуктивності праці. Тривала дія шуму може привести до зниження слуху, а іноді до глухоти. Шум робить негативну дію на серцево-судинну і центральну нервову систему.

Для захисту виробничого персоналу від шуму устаткування його повністю закривають герметично звукоізолюючим кожухом, який виготовляють зазвичай із сталевих листів товщиною 2 – 3 мм, а внутрішні поверхні облицьовували звукопоглинальними матеріалами. Якщо це не зробити, то за рахунок хорошої відбивної здатності сталевих листів рівень шуму усередині кожуха різко підвищиться і його фактична звукоізоляція виявиться зменшеною на 18-20 дБ. Звукоізолюючий кожух встановлюють на пружних прокладеннях, а машину ретельно віброізолюють від фундаменту, не допускаючи жорстких контактів між машиною і кожухом. Отвори для циркуляції повітря і проходу комунікацій забезпечуються глушниками шуму або герметизуються сальниками [12].

*Виробничі випромінювання.* У електросталеплавильному цеху захисту від теплових випромінювань підлягають конструкції на наступних теплонапружених ділянках: підкранові балки над електросталеплавильними печами, колони майданчика на ділянці зливу металу і шлаку, конструкції розливного майданчика, стіни і колони у відділенні роздягання зливків. Підвищена тепла дія на організм людини призводить до перенапруження його терморегуляторних функцій і може викликати порушення теплового балансу організму. Посилене потовиділення при напруженій м'язовій роботі в

умовах підвищеного температурного режиму призводить до втрати кров'ю хлористого натрію, що є основним елементом що утримує в крові воду. Вимивання з'єднань хлору з організму призводить до пониження кислотності шлункового соку і виникнення шлунково-кишкових захворювань [12].

Для зниження шкідливої дії тепла на організм людини стінки і колони мають бути теплоізовані, а над печами мають бути влаштовані зонти з витяжними трубами. З боків електропечей для захисту від променистого тепла мають бути влаштовані екрани у вигляді щитів з металевих листів і азбесту або сіток, безперервно зрошуваних водою.

*Освітлення.* Природне освітлення в приміщенні створюється сонячним світлом через світлові отвори. Електричне освітлення потрібне для проведення робіт в темний час доби або в місцях без достатнього природного освітлення. Відсутність точних зорових робіт і несприятливі умови середовища обумовлювали вибір як джерела світла виключно лампи розжарювання. В місцях зручних для обслуговування при великій кількості пилу застосовуємо пиленепроникні світильники типу СХ і ПГТ. Аварійне освітлення передбачаємо практично в усіх виробничих і прохідних приміщеннях. Аварійне освітлення в усіх випадках складає 0,3 лк, а коефіцієнт запасу дорівнює 1,7 для усіх випадків. Для забезпечення можливості виробництва ремонтних робіт, огляду внутрішніх порожнин застосовується переносне освітлення.

Роботи в електросталеплавильному цеху відносяться до VIII розряду зорової роботи, до підрозряду а. Для штучного освітлення в електросталеплавильному цеху застосовуються лампи розжарювання ДРЛ-500М напругою 500 Вт і світильники ГсР-400 Вт. Коефіцієнт запасу світильників залежно від запиленість дорівнює 1,7 [12].

### **3.3 Заходи з електробезпеки**

До основного електроустаткування дугових сталеплавильних печей відносяться автоматичні вимикачі потужності, пічні трансформатори,

коротка мережа, автоматичні регулювальники пересування електродів і електромагнітні перемішувачі металу.

Небезпека електричних поразок в електросталеплавильному цеху створює різне устаткування: електричний привід (включаючи пускорегулюючу апаратуру), електроустаткування підйомно-транспортних пристроїв, електрифікований внутрішньозаводський транспорт, зварювальні апарати, освітлювальні установки, електричний ручний інструмент і так далі. На рівень електротравматизму чинять вплив недоліки в конструкції і монтажі устаткування, недоліки в експлуатації, незадовільна організація робочих місць, недостатній інструктаж і тому подібне. Також можливий дотик до струмоведучих частин пускорегулюючих і захисних апаратів. При експлуатації електродвигунів замкнутого типу можливий випадковий дотик до дротів, що підводять електрострум, виводи яких знаходяться на сполучних клеммах клемної коробки на корпусі електродвигуна, у разі її незахищеності.

На особливу увагу заслуговують переносні електродвигуни, вживані при експлуатації різних переносних електроінструментів. Якщо корпус такого електродвигуна опиняється під напругою, то внаслідок щільного контакту з великою поверхнею зіткнення створюється небезпека важкої поразки електричним струмом працюючих.

На ділянках електросталеплавильного цеху є велика кількість електродвигунів, панелей, електричних приладів, апаратури, комплектна трансформаторна підстанція (містить чотири трансформатори типу ТМЗ). Для роботи електроустаткування потрібна напруга 380 В. Електричний струм використовується також для освітлення приміщень; необхідна напруга 220 В. Таким чином, електросталеплавильний цех відноситься до категорії з підвищеною небезпекою поразки людей електричним струмом.

При нормальному режимі роботи безпечніша трипровідна мережа з ізолюваною нейтраллю. При аварійному режимі більш безпечна чотирипровідна мережа з глухо заземленою нейтраллю. Мережі з глухозаземленою нейтраллю застосовуються там, де неможливо



забезпечити хорошу ізоляцію дротів, оскільки є висока температура і вологість повітря, агресивне середовище, велика протяжність мережі, а також коли не можна швидко відшукати або усунути ушкодження ізоляції, якщо місткість дротів відносно землі велика, тобто коли можливий аварійний режим. У зв'язку з цим виберемо мережу, необхідну для живлення електроустаткування електросталеплавильного цеху, трифазну чотирипровідну з глухозаземленою нейтраллю [13]. Ефективною мірою захисту для трифазних чотирипровідних мереж напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю є захисне занулення.

### **3.4 Заходи з пожежної та техногенної безпеки**

Причинами пожеж можуть бути недоліки в будівельних конструкціях, спорудах, плануванні приміщень, пристрої комунікацій, дефекти устаткування, порушення режимів технологічних процесів, неправильне ведення робіт, необережність і недбалість персоналу, самозаймання, розряди атмосферної і статичної електрики.

Пічний проліт електросталеплавильного виробництва, а також розливний проліт розташований в приміщеннях, відносяться до категорії пожежонебезпеки «Г», оскільки характеризується наявністю матеріалу в гарячому, розплавленому стані, процес обробки якого супроводжується виділенням променистого тепла і полум'я. Газоочищення технологічних газів електросталеплавильних дугових печей розташовані в приміщенні, яке відноситься до категорії «А» (вибухопожежонебезпечні). Підсобні приміщення цього виробництва можна віднести до категорії «Д» (пожежонебезпечні), оскільки вони призначені для речовин, що не згорають, і матеріалів в холодному стані.

У виробництвах, які розміщуються у приміщеннях, у яких можливе підвищення концентрації кисню більше 23%, необхідно передбачати

примусову вентиляцію і установку автоматичних газоаналізаторів кисню. При перевищенні допустимого вмісту кисню повинна автоматично включатися світлова і звукова сигналізація. Для виключення можливості загоряння киснепроводів необхідно передбачати у разі аварії автоматичну подачу азоту або іншого інертного газу в трубопровід.

У електросталеплавильному цеху передбачена установка пожежної сигналізації, яка призначена для автоматичного виявлення і видачі сигналів про пожежу, включення апаратури аварійної сигналізації, формування управлінських сигналів для системи сповіщення про пожежу, відключення вентиляції технологічних блокувань.

Найбільш поширені, надійні і дешеві автоматичні установки водяного гасіння. Як вогнегасильні засоби в них використовуються краплинні водяні струмені, водно-хімічні піни і емульсії, легко-механічні піни з додаванням змочувачів. Дренчерне устаткування – сухопутна система; дренчерні голівки постійно відкриті. Це устаткування в електросталеплавильному цеху використовується в основному для створення по периметру будівлі водяних завіс, що перешкоджають поширенню пожеж. Для гасіння пожеж застосовують хімічні пінні вогнегасники ВХП-10 і вуглекислотні вогнегасники ВВ-2, ВВ-5 і ВВ-8, а також пересувні ВВ-25 і ВВ-80 [13].

### **3.5 Інженерна розробка заходів захисту від надмірного тепла**

Для захисту працюючих від перегрівання (при дії на них теплового опромінення інтенсивністю  $350 \text{ Вт/м}^2$  і більш) передбачається повітряне душирування робочих місць.

Потрібно влаштувати повітряне душирування робочого місця сталевара. Інтенсивність теплового опромінення сталевара  $1950 \text{ Вт/м}^2$ . Температура повітря в робочій зоні  $t_{p.z.} = 34^\circ\text{C}$ , температура повітря на

робочому місці  $t_{p.m.} = 20^{\circ}\text{C}$ , швидкість повітря на робочому місці  $v_{p.m.} = 2,5\text{м/с}$ . Відстань від душуючого патрубку до робочого місця  $x = 2\text{ м}$ .

Повітря подається системами повітряного душирування робочих місць через спеціальні патрубки, що дозволяють змінити напрям повітряного потоку. Повітряний душ направляють на робоче місце горизонтально або зверху під кутом  $45^{\circ}$ .

Душируючі патрубки повинні встановлюватися на висоті не менше  $1,8\text{м}$  від підлоги з таким розрахунком, щоб вони не заважали працюючим і щоб уникнути підсосу шкідливостей повітряним потоком і здування їх на інші робочі місця. Відстань від душируючого патрубку до робочого місця має бути не менше  $1\text{ м}$ , розрахункова площа розподільника повітря – не менше  $0,1\text{ м}^2$ . Діаметр душируючого патрубку має бути не менше  $0,3\text{ м}$ .

Температура повітря на виході з душируючого патрубку,  $^{\circ}\text{C}$ :

$$t_0 = t_{ф.к.} + \Delta t ,$$

де  $t_{ф.к.}$  – температура повітря на виході з камери форсунки,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\Delta t$  – нагрів повітря у вентиляторі і повітроводах між форсуночною камерою і душируючим патрубком,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta t = 1,5 \dots 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$$t_0 = 18 + 1,5 = 19,5\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

При  $t_{p.m.} > t_0$  приймається адіабатичне охолодження повітря. Розрахунок душирування зводиться до визначення площі душируючого патрубку з умови забезпечення нормованих параметрів повітря на робочому місці.

Площа душируючого патрубку,  $\text{м}^2$ :

$$F_0 = \left[ \frac{(t_{p.з.} - t_{p.m.}) \cdot x}{(t_{p.з.} - t_0) \cdot n} \right]^2 ,$$

де  $t_{p.з.}$  – температура повітря в робочій зоні,  $t_{p.з.} = 34\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{p.m.}$  – температура повітря на робочому місці,  $t_{p.m.} = 20$  °С;

$x$  – відстань від душируючого патрубку до робочого місця,  $x = 2$  м;

$n$  – коефіцієнт, що характеризує зміну температури по осі струменя,  $n = 4,5$  [13].

Визначаємо площу душируючого патрубку:

$$F_0 = \left[ \frac{(34 - 20) \cdot 2}{(34 - 19,5) \cdot 4,5} \right]^2 = 0,20 \text{ м}^2.$$

Діаметр душируючого патрубку, м:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,20}{3,14}} = 0,5 \text{ м}.$$

Швидкість повітря на виході з душируючого патрубку, м/с:

$$v = v_{p.m.} \cdot x / m \sqrt{F_0},$$

де  $v_{p.m.}$  – швидкість повітря на робочому місці,  $v_{p.m.} = 2,5$  м/с;

$m$  – коефіцієнт, що характеризує зміну швидкості по осі струменя,  $m = 6,6$  [13].

Знаходимо швидкість повітря на виході з патрубку:

$$v_0 = 2,5 \cdot 2 / 6,6 \sqrt{0,20} = 1,7 \text{ м/с}.$$

Кількість повітря на один душируючий патрубок, м<sup>3</sup>/год:

$$L_0 = 3600 \cdot F_0 \cdot v_0.$$

Встановлюємо витрату повітря, що подається душируючим патрубком:

$$L_0 = 3600 \cdot 0,20 \cdot 1,7 = 1224 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Приймаємо циліндричний повітрярозподільник ЛЮТ.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОБЛЕННОЇ СХЕМИ ГАЗООЧИЩЕННЯ

Ділянкою газоочищення керує майстер, він стежить за забезпеченням безперебійної ефективної роботи пиловловлюючої установки цеху, контролює дотримання технологічних параметрів та процесів, виявляє та усуває причини їх порушення, забезпечує повне завантаження та правильне використання обладнання.

Апаратник здійснює безпосереднє спостереження за роботою газоочисного обладнання, стежить за показаннями приладів, здійснює контроль за розвантаженням пилу, усуває дрібні неполадки.

У кваліфікаційній роботі пропонується заміна мокрого газоочищення на сухе. У базовому та проектному варіанті передбачається робота за безперервним графіком. Газоочисні установки повинні піддаватися періодичним оглядам, поточним, планово-попереджувальним та капітальним ремонтам. Капітальний ремонт передбачає заміну частини газоочисного обладнання чи його відновлення. Планово-попереджувальний ремонт проводиться один раз на місяць по 12 годин без зупинки обладнання, а також обладнання на капітальний і поточний ремонт у проектному варіанті буде скорочено на 5 днів у порівнянні з базовим варіантом, оскільки мокре газоочищення потребує більшого часу на ремонт, тобто 15 днів на рік.

Коефіцієнт використання газоочисної установки визначається за формулою [14]:

$$K_{\text{исп}} = \frac{T_{\text{эф}}}{T_{\text{кал}}}, \quad (4.1)$$

де  $T_{\text{эф}}$  – ефективний час роботи газоочисної установки, год;

$T_{\text{кал}}$  – календарний час роботи установки, год.

Базовий варіант:

$$K_{\text{исп}} = \frac{8400}{8760} = 0,959.$$

Проектний варіант:

$$K_{исп} = \frac{8520}{8760} = 0.973.$$

Баланс робочого часу газоочисної установки представлений у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Баланс робочого часу газоочисної установки

Показники	Одиниця виміру	Варіант	
		Базовий	Проектний
Режим роботи		безперервний	безперервний
Календарний час роботи	Дні	365	365
	Години	8760	8760
Простий на капітальний та поточний ремонт	Дні	15	10
	Години	360	240
Ефективний час роботи	Дні	365-15=350	365-10=355
	Години	8400	8520
Коефіцієнт використання газоочисної установки		0,959	0,973

За даними, наведеними в таблиці 4.1, можна зробити висновок, що в проектному варіанті (сухе газоочищення) коефіцієнт використання газоочисної установки у часі на 0,014 вище, ніж у базовому варіанті (мокра газоочищення). Коефіцієнт збільшився за рахунок зменшення простоїв основного обладнання на капітальний та поточний ремонт [15].

Річна виробнича потужність очисної установки, м<sup>3</sup>

$$P = N \cdot T_{эф}, \quad (4.2)$$

де N – технічна норма продуктивності основного агрегату за одиницю часу, м<sup>3</sup>/год. І для базового і для проектного варіанта схем газоочищення він складає 100000 м<sup>3</sup>/год;

$T_{\text{эф}}$  - річний фонд ефективного часу газоочисної установки, год.

Базовий варіант:

$$П = 100000 \cdot 8400 = 8,4 \cdot 10^8 \text{ м}^3.$$

Проектний варіант:

$$П = 100000 \cdot 8520 = 8,52 \cdot 10^8 \text{ м}^3.$$

Виробнича потужність за базовим та проектним варіантом не повинна відрізнятися більш ніж на 10%:

$$\Delta = \frac{Пн - Пб}{Пн} \cdot 100\% = \frac{8,52 \cdot 10^8 - 8,4 \cdot 10^8}{8,52 \cdot 10^8} \cdot 100 = 1,4\% < 10\%,$$

що цілком задовольняє умовам для порівняння базового та проектного варіантів.

Кількість уловленого на очисному встановленні пилу визначається за формулою:

$$Q = \frac{(Z_1 - Z_2) \cdot П}{10^6}, m \quad (4.3)$$

де  $Z_1, Z_2$  – вміст пилу в газі відповідно до та після очищення, г/м<sup>3</sup>.

Базовий варіант:

$$Q = \frac{(2 - 0.12) \cdot 8,4 \cdot 10^8}{10^6} = 1579,2m.$$

Проектний варіант:

$$Q = \frac{(2 - 0.02) \cdot 8,52 \cdot 10^8}{10^6} = 1687,0m.$$

Вживаємо втрати уловленого продукту при утилізації 10%, тоді

$$Q_{\text{ум}} = 0,9 \cdot Qm \quad (4.4)$$



$$Q_{\text{ум.б}} = 0,9 \cdot 1629,6 = 1466,64 \text{ м}.$$

$$Q_{\text{ум.пр}} = 0,9 \cdot 1687 = 1518,3 \text{ м}.$$

Витрата води на газоочищення – базовий варіант:

$$Q_{\text{ж}} = Q_{\text{г}} \cdot m \cdot T_{\text{эф}}, \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (4.5)$$

де  $m$  – питоме зрошення,  $\text{м}^3/\text{м}^2$  для скрубера Вентурі,  $\text{м}^3/\text{м}^2$ ,

$$m = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2;$$

$Q_{\text{г}}$  – витрата газу за робочих умов,  $Q_{\text{г}} = 800000 \text{ м}^3/\text{год}$ ,

$$Q_{\text{ж}} = 800000 \cdot 2,8 \cdot 10^{-3} \cdot 8400 = 18816000 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Витрата стисненого повітря на регенерацію

$$Q_{\text{св}} = 950 \cdot 8520 = 8094000 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 4.2.

Різниця між базовим та проєктним варіантом у тому, що на відміну від базового варіанту в проєктному пропонується утилізація уловленого пилу, який можна повернути у виробництво. У проєктному варіанті 1687 т можна повернути у виробництво, оскільки цінного компонента  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (окисів заліза) у ній міститься 64,24 %. Також у проєктному варіанті відсутні витрати на використання води, оскільки пропонується сухий спосіб очищення газу від електродугових печей [15].

Баланс робочого часу одного робітника на рік розраховують при безперервному графіку роботи в 3 зміни з 4 бригад при 8-годинній робочій зміні. Баланс планового часу одного робітника на рік при безперервному графіку роботи з чотирьох бригад представлений у таблиці 4.3.

Таблиця 4.2 – Виробнича програма

№ п/п	Показники	Од. вим.	Варіанти	
			Базовий	Проектний
1	Річна продуктивність очисної установки	тис. м <sup>3</sup>	8,4·10 <sup>5</sup>	8,52·10 <sup>5</sup>
2	Продуктивність очисної установки	тис.м <sup>3</sup> /год	100	100
3	Вміст пилу в газі до очищення після очищення	г/м <sup>3</sup>	2 0,12	2 0,02
4	Кількість уловленого пилу	т		1687
5	Кількість утилізованого продукту	т		1518,3
6	Витрата рідини на газоочищення	тис.м <sup>3</sup> /рік	18816	
7	Витрата стисненого повітря на регенерацію	тис.м <sup>3</sup> /рік		8094

Таблиця 4.3 – Баланс робочого дня одного робочого

Елементи балансу	Одиниці виміру	Кількість днів
Календарний час	дні	365
Вихідні	дні	91,25
Номінальний час	дні	273,75
	години	2190
Невиходи з поважних причин	дні	
	-Тарифна відпустка	24
	-хвороби	5
	-відпустка учням	1
	-інше	2
Ефективний час роботи	дні	241,75
	години	1934
Коефіцієнт списочності		1,13

Капітальні витрати  $C_k$  розраховують у вигляді питомих величин, віднесених до  $1000\text{м}^3$  газу (грн./ $1000\text{м}^3$ ) [16]:

$$C_k = (C_{\text{осн.об.}} + C_M + C_n + C_{\text{зд}} + C_{\text{мон}}) \cdot \frac{1000}{3600 \cdot Q_c \cdot \tau}, \quad (4.6)$$

де  $C_{\text{осн.об.}}$  – вартість основного обладнання, грн;

$C_M$  – вартість встановлення та монтажу обладнання,

$$C_M = 0,3 \cdot C_{\text{осн.об.}}, \text{ грн};$$

$C_{\text{мон}}$  – вартість монтажу комунікацій,

$$C_{\text{мон}} = 0,15 \cdot C_{\text{осн.об.}}, \text{ грн};$$

$C_{\text{зд}}$  – вартість будівлі, грн;

$Q_c$  – секундна витрата газів, що очищаються, за електродуговою піччю  $\text{м}^3/\text{с}$ ,

$Q_c = 199 \text{ м}^3/\text{с}$ ,

$\tau$  – ефективний час роботи газоочищення за рік, год.

У базовому та проєктному варіантах використовуємо існуючу димову трубу.

За базовим варіантом потрібне обладнання: труби Вентурі -ГВПВ-0,060-400-1873, 4шт.; капеловловлювач - КМП-7, 1 шт; димотяг ВМ-20А - 2шт; шламове господарство; КВП, що становить 25% від вартості основного обладнання.

За проєктним варіантом потрібне обладнання: рукавний фільтр ФРИР-7000; димотяг ВДН-25×2 -2шт; КВП, що становить 25% від вартості основного обладнання.

Результати розрахунків наведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Капітальні вкладення в систему очищення газів

№ п/п Показники	Базовий варіант	Проектний варіант
Всього капітальних вкладень, тис. грн	334320,52	423870,49
Всього капітальних вкладень на 1000 м <sup>3</sup> газу, грн	39,80	49,75

Капітальні витрати на спорудження системи газоочищення з рукавним фільтром у 1,25 рази вищі, ніж у разі застосування труб Вентурі. Це пояснюється значно більшою металоємністю рукавних фільтрів та вартістю витратних матеріалів (фільтрувальних рукавів).

*Техніко-економічне обґрунтування проекту очищення технологічних газів електросталеплавильного цеху.* Економічне обґрунтування доцільності прийнятих рішень зводиться до розрахунку і зіставлення техніко-економічних показників по варіантах [15].

Річний економічний ефект:

$$\mathcal{E}_z = [(C_{уд}^б + E_n \cdot K_{уд}^б) - (C_{уд}^п + E_n \cdot K_{уд}^п)] \cdot P^п, \text{ грн},$$

де  $C_{уд}^б$  і  $C_{уд}^п$  – витрати на 1000 м<sup>3</sup> газу, що очищається, відповідно по базовому і проектному варіантам, грн.;

$K_{уд}^б$  і  $K_{уд}^п$  – відповідно питомі капітальні вкладення по базовому і проектному варіантам, грн.;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень,  $\frac{\text{грн}}{\text{грн}}$ ;

$P^п$  – річна виробнича потужність газоочисної установки по проектному варіанту, м<sup>3</sup>.

$$\Theta_2 = [(39,80 + 0,25 \cdot 39,8) - (35,614 + 0,25 \cdot 49,75)] \cdot 8520 \cdot 10^6 / 1000 = 1789200 \text{ грн.}$$

Розрахунковий термін окупності визначається по формулі:

$$T_{ок.р.} = \frac{K^П}{(C_{уд}^Б - C_{уд}^П)П^П}, \text{ роки.}$$

де  $\Delta K$  – додаткові капітальні вкладення на впровадження проекту, тис. грн.

$$T_{ок.р.} = \frac{(423870,49 - 334320,52) \cdot 1000 \cdot 1000}{(39,85 - 37,16) \cdot 8520 \cdot 10^6} = 3,9 \text{ років.}$$

$$42387000,000 - 33432000,000 =$$

Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень рівний:

$$E_p = \frac{1}{T_{ок}} = \frac{1}{3,9} = 0,26 \frac{\text{грн}}{\text{грн}}.$$

Пропонований проєкт є економічно вигідним, оскільки розрахункові показники знаходяться в межах нормативних.

В результаті розрахунку отримані наступні техніко-економічні показники, які приведені в таблиці 4.5.

В результаті проведених заходів по очищенню газоподібних викидів електросталеплавильної печі можна отримати річний економічний ефект у розмірі 1789,200 тис. грн. Додаткові капітальні вкладення підприємство окупить за 3,9 років за рахунок зниження експлуатаційних витрат. Таким чином, запропоновані заходи є економічно ефективними і доцільними.

Таблиця 4.5 – Основні техніко-економічні показники роботи газоочисної установки електросталеплавильного цеху

№ п/п	Найменування показника	Одиниці виміру	Варіант	
			Базовий	Проектний
1	Річна виробнича потужність установки	млн. м <sup>3</sup>	8400	8520
2	Вміст пилу в газі: - до очищення - після очищення	г/м <sup>3</sup>	2	2
			0,12	0,02
3	Капітальні вкладення	тис. грн.	334320,52	423870,49
4	Витрати на очищення 1000 м <sup>3</sup> газу	грн	39,85	38,81
5	Економія від утилізації пилу	грн	—	1,65
6	Витрати на очищення 1000 м <sup>3</sup> газу з урахуванням економії	грн.	39,85	37,16
7	Річний економічний ефект	тис. грн	—	1789,200
8	Термін окупності додаткових капітальних вкладень	років	—	3,9
9	Економічна ефективність капітальних вкладень	грн	—	0,26
		грн		

## ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційній роботі пропонується реконструкція електросталеплавильного цеху з впровадженням високоефективного газоочисного обладнання. У електросталеплавильному цеху проводиться виплавка конструкційних сталей. Головна будівля цеху складається з наступних прольотів: шихтовий, бункерний, пічний, розподільний і ввідлення безперервного розливання сталі. У електросталеплавильному цеху установлені печі типу ДСП з номінальною ємністю 50 т. Вихідними матеріалами для електросталеплавильного виробництва є: металевий брухт, переробний чавун, шлакоутворюючі, окислювачі, розкислювачі і легуючі добавки. Процес отримання сталі в дугових сталеплавильних печах складається з трьох основних періодів – плавлення, окислення і рафінування – і трьох допоміжних: завантаження, заправки і випуска.

2. У кваліфікаційній роботі розглянуті причини і джерела утворення і виділення шкідливих речовин, дана характеристика газових викидів електросталеплавильного виробництва, а також їх кількість та склад. В період плавлення і особливо в наступний період окислення в дуговій електропечі з технологічними газами викидаються тонкодисперсний пил, оксид вуглецю, азот, кисень та ін. речовини. Гази виділяються з печей не лише в процесі плавлення, але і під час завантаження печі та зливу готової сталі в ківш.

3. На основі розглянутих існуючих методів очищення газових викидів проведено вибір і обґрунтування способу очищення відхідних газів дугових печей. Гази виділяються з печей не лише в процесі плавлення, але і під час завантаження печі і зливі готової сталі в ківш. Тому найкращим способом відбору запилених газів від дугової електропечі є комбінований спосіб. Проектна схема передбачає відбір запилених газів від печі порталньою камерою, встановленою на склепінні печі, і двома зонтами. Зонт №1 забезпечує локалізацію неорганізованих викидів при зливі металу (над

льоткою), зонт №2 при розплаві і плавці металу. Кількість газів, що відбираються від місць виділень, регулюється запірно-регулювальною арматурою, представленою дросельними клапанами. Запилене аспіраційне повітря за допомогою повітроводів прямує у вузол входу «брудного» газу в рукавний фільтр і після тонкого очищення за допомогою димаря викидається в атмосферу. Уловлений в рукавному фільтрі пил при регенерації осідає в бункері, звідки за допомогою шлюзового живильника прямує в систему пилоприбирання.

4. У кваліфікаційній роботі виконано розрахунок рукавного фільтру і за результатами розрахунку вибрано тип і марка фільтру – ФРІР-7000. Ефективність рукавного фільтру при кінцевій запиленості газу  $20 \text{ мг/м}^3$  складає 99 %. Виконано аеродинамічний розрахунок газового тракту газоочисної системи і за результатами розрахунку підібраний димотяг типу ВДН-25×2. Загальний опір газовідвідного тракту за результатами розрахунків – 3101 Па.

5. Розглянуті потенційно небезпечні і шкідливі чинники виробничого середовища електросталеплавильного цеху і дана оцінка чинників виробничого середовища робочого місця сталевару пічного прольоту, виконані технічні рішення по виробничій санітарії, розглянуті заходи щодо техніки електробезпеки, пожежної та техногенної безпеки. Виконано інженерну розробку захисту сталевара електропечі від перегрівання, а саме виконано розрахунок повітряного душирування на робочому місці. Приймаємо циліндричний повітрярозподільник ЛІОТ.

6. В результаті проведених заходів по очищенню газоподібних викидів електросталеплавильної печі можна отримати річний економічний ефект у розмірі 1789,200 тис. грн. Додаткові капітальні вкладення підприємство окупить за 3,9 років за рахунок зниження експлуатаційних витрат. Таким чином, запропоновані заходи є економічно ефективними і доцільними.



## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Воденніков С.А., Галицький Ю.П., Воденнікова О.С. Теорія та технологія електросталеплавильних процесів. Навчально-методичний посібник для студентів спеціальності 6.090401 «Металургія чорних металів». Запоріжжя : Видавництво ЗДІА, 2008. 124 с.
2. Гаврилко С.О. Теорія і технологія сталеплавильного виробництва. Конспект лекцій для студентів ЗДІА спеціальності 7.090401 «Металургія чорних металів». Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 120 с.
3. Гаврилко С.О. Основи проєктування металургійних цехів. Конспект лекцій для студентів ЗДІА спеціальності 7.090401 «Металургія чорних металів». Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 92 с.
4. Нарівський А., Смірнов О., Тімошенко С. Сталеплавильне виробництво в Україні: сучасний стан та перспективи (огляд). *Метал та лиття України*. 2022. №3. С. 28–47.
5. Кушакова Н. О. Металургійний комплекс України: загальна характеристика та сучасний стан розвитку. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2019. №23. С. 162–165.
6. Самойленко Н. М., Аверченко В. І., Байрачний В. Б. Системи технологій та промислова екологія : навчальний посібник. Харків : Лідер, 2020. 212 с.
7. Павлюк Ю.С., Малишева І.В. Методичні вказівки до розрахунково графічної роботи з дисципліни «Повітродувні та насосні станції» для студентів спеціальності 7.090401 спеціалізації «Екологія та охорона навколишнього середовища». Запоріжжя, ЗДІА, 2006. 28 с.
8. Павлюк Ю.С. Методичні вказівки до розрахунку газового тракту газоочисної системи в курсових проєктах спецдисциплін і дипломному проєктуванні для студентів денної та заочної форми навчання спеціальності 7.090409. Запоріжжя, 2002. 21с.

9. Тарасов В.К. Безпека технологічних процесів і устаткування. Запоріжжя, ЗДІА, 2008. 164с.
10. Геврик Є.О. Охорона праці: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280 с.
11. Ткачук К.Н. Филипчук В.Л., Каштанов С.Ф. Виробнича санітарія. Рівне : НУВГП, 2012. 443 с.
12. Ткачук К.Н., Халімовський М.О., Зацарний В.В. Основи охорони праці. Київ : Основа, 2006. 448 с.
13. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М. та ін. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник. Львів, Афіша, 2000 352с.
14. Єгупов Ю.А. Організація виробництва на промисловому підприємстві. Навчальний посібник. К. : Центр навчальної літератури, 2006. 488 с.
15. Беренда Н.В., Малишева І.В. Організація виробництва. Методичні вказівки до виконання організаційної частини дипломного проекту для студентів ЗДІА професійного напрямку “Металургія” денної та заочної форми навчання. Запоріжжя, 2006. 38с.
16. Іващенко О.В. Методичні рекомендації до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту для студентів ЗДІА спеціальності 7.090401. Запоріжжя, 2004. 32 с.