

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

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

## Кваліфікаційна робота

на тему «Проект мокрої системи очищення технологічних газів при  
виробництві сталі в електронечах»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1833

спеціальності

183 Технології захисту навколишнього середовища

освітньої програми

Технології захисту навколишнього середовища

спеціалізації

(шифр і назва)

С.С. Кравець

Керівник доцент, к.т.н. Манідіна Є.А.

Рецензент доцент, к.т.н. Кожемякін Г.Б.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя  
2024

**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. Бєлоконь

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 року

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

Кравець Сергій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Проект мокрої системи очищення технологічних газів при виробництві сталі в електропечах»

керівник роботи Манідіна Євгенія Анатоліївна к.т.н, доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “28”02 2024 року № 359-с

2. Строк подання студентом роботи 06.12.2024

3. Вихідні дані до роботи розробити “мокру” систему очищення відхідних газів від електродугувих печей, запропонувати метод утилізації вловленого пилу: водоохолоджувальний патрубок, блок труб Вентурі, краплевлівлювачі, димотяг, димова труба, витяжний зонт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Технологія виробництва сталі в електродугувих печах. Характеристика викидів електросталеплавильного виробництва. Вибір і обґрунтування способу та засобів очищення газових викидів. Розрахунок апаратів пилогазоочистки. Аеродинамічний розрахунок димової труби. Вибір димотяга. Утилізація відходів. Охорона праці та техногенна безпека. Економічна частина. Висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) презентаційний матеріал на 12 слайдах (на 12 сторінках)

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ          | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата     |
|-----------------|-------------------------------------------|------------------|
|                 |                                           | завдання прийняв |
| <i>Розділ 1</i> | <i>Манідіна Є.А., доцент</i>              |                  |
| <i>Розділ 2</i> | <i>Манідіна Є.А., доцент</i>              |                  |
| <i>Розділ 3</i> | <i>Манідіна Є.А., доцент</i>              |                  |
| <i>Розділ 4</i> | <i>Манідіна Є.А., доцент</i>              |                  |

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи        | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | <i>Вступ</i>                               |                               |          |
| 2     | <i>Загальна частина</i>                    |                               |          |
| 3     | <i>Спеціальна частина</i>                  |                               |          |
| 4     | <i>Охорона праці та техногенна безпека</i> |                               |          |
| 5     | <i>Економічна частина</i>                  |                               |          |
| 6     | <i>Презентація</i>                         |                               |          |
|       |                                            |                               |          |
|       |                                            |                               |          |
|       |                                            |                               |          |
|       |                                            |                               |          |
|       |                                            |                               |          |
|       |                                            |                               |          |
|       |                                            |                               |          |
|       |                                            |                               |          |
|       |                                            |                               |          |

Студент \_\_\_\_\_

*Сергій КРАВЕЦЬ*

Керівник роботи \_\_\_\_\_

*Євгенія МАНІДІНА*

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер \_\_\_\_\_

*Андрій ВАГІН*

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 67 с., 11 табл., 10 рис., 19 джерел

ЕЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО, ЕЛЕКТРОДУГОВА ПІЧ, МОКРА СИСТЕМА ГАЗООЧИЩЕННЯ, УТИЛІЗАЦІЯ ШЛАМУ, ДИМОВА ТРУБА, СТРОК ОКУПНОСТІ

Об'єкт дослідження – виробництво сталі в електросталеплавильному виробництві.

Предмет дослідження – система газоочищення відхідних газів від електродугових печей.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити “мокру” систему очищення відхідних газів від електродугових печей, запропонувати метод утилізації вловленого пилу.

Передбачається, що у цеху технологічні гази з печі відводяться через четвертий отвір у склепінні печі без розриву газового потоку, проте з невеликим підсмоктуванням повітря на початковій ділянці стаціонарного газопроводу.

З метою більш ефективної локалізації газовиділень з електродугової печі прийнято рішення встановити над піччю укриття з повітряними завісами. Воно являє собою витяжний зонт, оснащений пристроями, які забезпечують укриття печі по периметру зонта повітряними завісами.

З метою підвищення ефективності роботи високонапірного скрубера Вентурі прийнято рішення замінити блок із 12 труб із регульованою горловиною на блок із 6 труб із горловиною діаметром 0,17 м. Це дозволить підвищити ефективність пиловловлювання.

Розглянуто питання утилізації уловленого пилу.

## ЗМІСТ

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                          | 7  |
| РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....                                                                     | 8  |
| 1.1 Технологія виробництва сталі в електродугових печах.....                                        | 8  |
| 1.2 Улаштування та принцип роботи електродугової печі .....                                         | 11 |
| 1.3 Характеристика викидів електросталеплавильного виробництва .....                                | 14 |
| РОЗДІЛ 2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА .....                                                                  | 17 |
| 2.1 Застосовувані методи уловлювання та очищення газових викидів.....                               | 17 |
| 2.2 Вибір і обґрунтування способу та засобів очищення газових викидів .....                         | 19 |
| 2.3 Розрахунок апаратів пилогазоочистки.....                                                        | 22 |
| 2.3.1 Розрахунок опору та ефективності високонапірного скрубера Вентурі<br>(базовий варіант) .....  | 22 |
| 2.3.2 Розрахунок необхідної швидкості газів в горловині труби Вентурі.....                          | 25 |
| 2.3.3 Розрахунок опору та ефективності високонапірного скрубера Вентурі<br>(проектний варіант)..... | 27 |
| 2.3.4 Аеродинамічний розрахунок димової труби.....                                                  | 30 |
| 2.3.5 Вибір димотяга .....                                                                          | 32 |
| 2.4 Утилізація відходів.....                                                                        | 35 |
| РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА .....                                                 | 38 |
| 3.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів електросталеплавильного ви-<br>робництва .....         | 38 |
| 3.2 Виробнича санітарія та вентиляція .....                                                         | 43 |
| 3.3 Інженерна розробка заходів захисту робітників від шкідливих факторів ..                         | 44 |
| 3.4 Електробезпека .....                                                                            | 47 |
| 3.5 Пожежна безпека.....                                                                            | 49 |
| РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....                                                                   | 53 |

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1 Розрахунок капітальних вкладень .....                                     | 53 |
| 4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат та економії від утилізації пилу .....   | 55 |
| 4.3 Розрахунок економічного ефекту від впровадження газоочисної системи ..... | 60 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                 | 63 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....                                                 | 65 |

## ВСТУП

Охорона довкілля від шкідливих викидів є однією з найактуальніших проблем сучасності. Людська діяльність завжди впливала на природу, але розвиток промисловості призвів до значного забруднення атмосфери, поверхневих вод та ґрунтів. Зростання хімічного навантаження на біосферу вже ставить під загрозу існування флори та фауни світу.

Промислове виробництво невпинно зростає, що спричиняє збільшення викидів небезпечних речовин в атмосферу. Наслідки такого процесу складно передбачити. Забруднення повітря стало глобальною проблемою, адже промислові викиди збільшуються у більшості розвинених країн, що прямо пов'язано з рівнем їхньої економіки.

У зв'язку з екологічними викликами підприємства мають вживати заходів для зменшення шкідливого впливу на довкілля. Це включає розробку та впровадження маловідходних технологій, очищення викидів і повторне використання ресурсів.

Наразі викиди промисловості включають великі обсяги пилу, токсичних газоподібних компонентів ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  тощо) та вуглеводнів, багато з яких є канцерогенами. На ці речовини припадає основна частка всіх забруднювачів, що надходять в атмосферу.

Металургійні підприємства займають значну частину в цьому процесі: в окремих регіонах вони генерують до 50% усіх забруднень. Наприклад, «Дніпрспецсталь» щороку, до 2022 р., викидає понад 150 тисяч т. шкідливих речовин.

Створення систем для очищення складних газових викидів є технічно складним і витратним завданням. Будівництво та експлуатація таких установок потребують значних інвестицій, що збільшує собівартість продукції. Однак екологічні та соціальні переваги, пов'язані з очищенням повітря, виправдовують ці витрати.

## РОЗДІЛ 1

### ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 1.1 Технологія виробництва сталі в електродугових печах

Сучасна технологія виплавки сталі в дугових електродугових печах базується на високотемпературному фізико-хімічному процесі, під час якого отримують розплав із заданим вмістом вуглецю, марганцю, кремнію, хрому та інших елементів у залізі.

Процес плавлення поділяється на кілька основних етапів, кожен з яких передбачає виконання певних технологічних операцій: підготовка печі, завантаження шихти, розплавлення, видалення окисленого шлаку, насичення вуглецем, розкислення та доведення хімічного складу до заданих параметрів.

Період плавлення складається з таких стадій: підготовка, завантаження, розплавлення, стадія окислення, рафінування (відновлення) і завершальний етап випуску металу.

На етапі підготовки після завершення чергового циклу плавки проводиться випалювання зношених ділянок футерування поду. Засипання магнезитового та доломітового порошку на пошкоджені зони спричиняє утворення пилу у вигляді дрібних частинок. Щоб уникнути надмірного охолодження футерування, цей етап виконується швидко, тому обсяги пилових викидів є мінімальними.

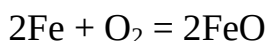
Завантаження шихти здійснюється відкритим методом за допомогою спеціальної ємності. Вміст шихти часто включає горючі матеріали, які при контакті з гарячим подом і стінками печі спалахують, виділяючи дим. Відкритість робочого простору дозволяє цьому диму потрапляти в атмосферу, а його кількість залежить від вмісту мінеральних компонентів у шихті.

Після завантаження піч накривають склепінням, електроди опускають у робочу зону, і подається струм. Під дією електричних дуг відбувається плавлення шихти, рідкий метал накопичується на дні печі.

Під час плавлення потужність струму регулюється залежно від теплового впливу дуг на футерування.

У процесі розплавлення починаються реакції окислення домішок металу, таких як вуглець, кремній, марганець, хром та інші. Окислення відбувається через контакт домішок із оксидом заліза, який утворюється з іржі, залізної руди чи окалини. Оксиди також можуть виникати через контакт металу з повітрям, що проникає в піч через щілини.

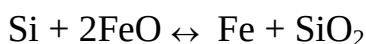
У першу чергу окислюється залізо, яке не захищене шлаковим покриттям у цей період плавлення:



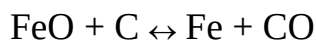
Також оксид заліза утворюється при взаємодії з залізом оксиду заліза (III):



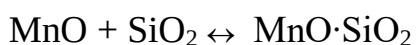
Оксид заліза може формуватися через реакцію між залізом і оксидом заліза (III):



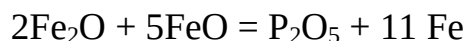
Під час плавлення окислення вуглецю відбувається повільніше через недостатньо високу температуру металу.



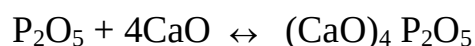
Окислення марганцю проходить інтенсивніше через його взаємодію з оксидами кремнію.



У рідкому металі фосфор знаходиться у формі фосфіду заліза. При наявності кисню у сталі він піддається окисленню за такою реакцією:



Фосфорний ангідрид (який є нестабільним) не розчиняється в металі, а переходить у шлак, утворюючи міцні зв'язки з вільним оксидом кальцію.



Зниження вмісту фосфору в металі забезпечується підвищенням рівня кисню (оксиду заліза) у металі та оксиду кальцію в шлаці. Оксиди, як  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , майже не розчиняються в рідкому металі, вони піднімаються на поверхню, утворюючи шлак. Щоб забезпечити необхідну кількість шлаку, в піч додають вапно.

Викиди пилу в період плавлення мають високу непостійність, оскільки залежать від численних технологічних і випадкових факторів. До основних технологічних факторів належать: сила струму та напруга, що подається на піч, методи інтенсифікації плавлення, щільність шихти, тип сталі, яка плавиться, і інші. Випадкові фактори включають непередбачувані проблеми з плавленням шихти, замикання між шихтою та електродами, поломки електродів тощо. Газовиділення під час плавлення невелике, оскільки окислення вуглецю в металі відбувається повільно. Основне виділення оксиду вуглецю фіксується в зоні дуги, де температура металу найбільша.

Після повного розплавлення шихти зливають 60-70% шлаку та відбирають першу пробу для аналізу вмісту вуглецю, марганцю, фосфору, хрому, нікелю. Далі починається окислювальний етап плавки, коли відбувається інтенсивне кипіння ванни через окислення вуглецю в металі шляхом подачі кисню або залізної руди.

Протягом окислювального етапу метал дефосфорується, для чого в піч додається вапно. Також на цьому етапі видаляється марганець. Використання кисню в газоподібному стані значно прискорює процес обезуглерожування.

У період окислення викиди пилу та газу досягають максимуму (з печі виходить густий коричневий дим). Це обумовлено максимальним процесом обезуглерожування, коли викидається велика кількість оксиду вуглецю і тепла. Температура в реакційній зоні значно перевищує точку випаровування металів, що призводить до утворення пилу в газах, що виходять.

Рафінування є заключним етапом плавки, на якому з металу видаляється кисень, коригується хімічний склад сталі, знижуються рівні сірки, і температура металу досягає рівня, необхідного для розливки.

Після досягнення потрібного хімічного складу та температури проводиться кінцеве раскислення металу додаванням алюмінію та підготовка до випуску. Відновлювальний етап плавки проходить на низьких рівнях напруги та потужності.

Під час цього періоду викиди пилу і газу мінімальні. В основному виділяється оксид вуглецю з незначною кількістю пилу.

## **1.2 Улаштування та принцип роботи електродугової печі**

Дугові електричні печі являють собою установки, де джерелом тепла для плавки сталі є електрична дуга (рис.1.1 та рис.1.2). Тепло передається металу через випромінювання, яке відбивається від вогнетривкої обробки печі.

Конструкція дугових печей включає такі основні елементи, як корпус печі, робочі вікна, вогнетривке покриття, сводові кільця, електроди та їх охолоджувачі, механізми для руху електродів, підйому свода та інших компонентів для управління та автоматизації процесу плавки.



Рисунок 1.1 – Електродугова піч ДСП-50

Робочий простір печі визначається розмірами її корпусу, що вибираються з урахуванням теплових втрат і вимог до довговічності футеровки. Корпус виготовляється зі сталі товщиною 10-40 мм і має, як правило, циліндричну форму з додатковими ребрами для посилення жорсткості.

Свод печі укріплений за допомогою спеціального кільця і ножа, що запобігають несанкціонованим газовим викидам. Для завантаження матеріалів та спостереження за плавкою використовуються робочі вікна та зливні отвори. Печі оснащуються водоохолоджуваними панелями і механізмами для мінімізації теплових втрат.

Опорна структура печі складається з фундаменту, балки та опорних сегментів, забезпечуючи стабільність при високих навантаженнях. Вогнетривка футеровка включає підину, стіни та свод, що забезпечує належну теплову ізоляцію та витривалість при постійних температурних коливаннях.

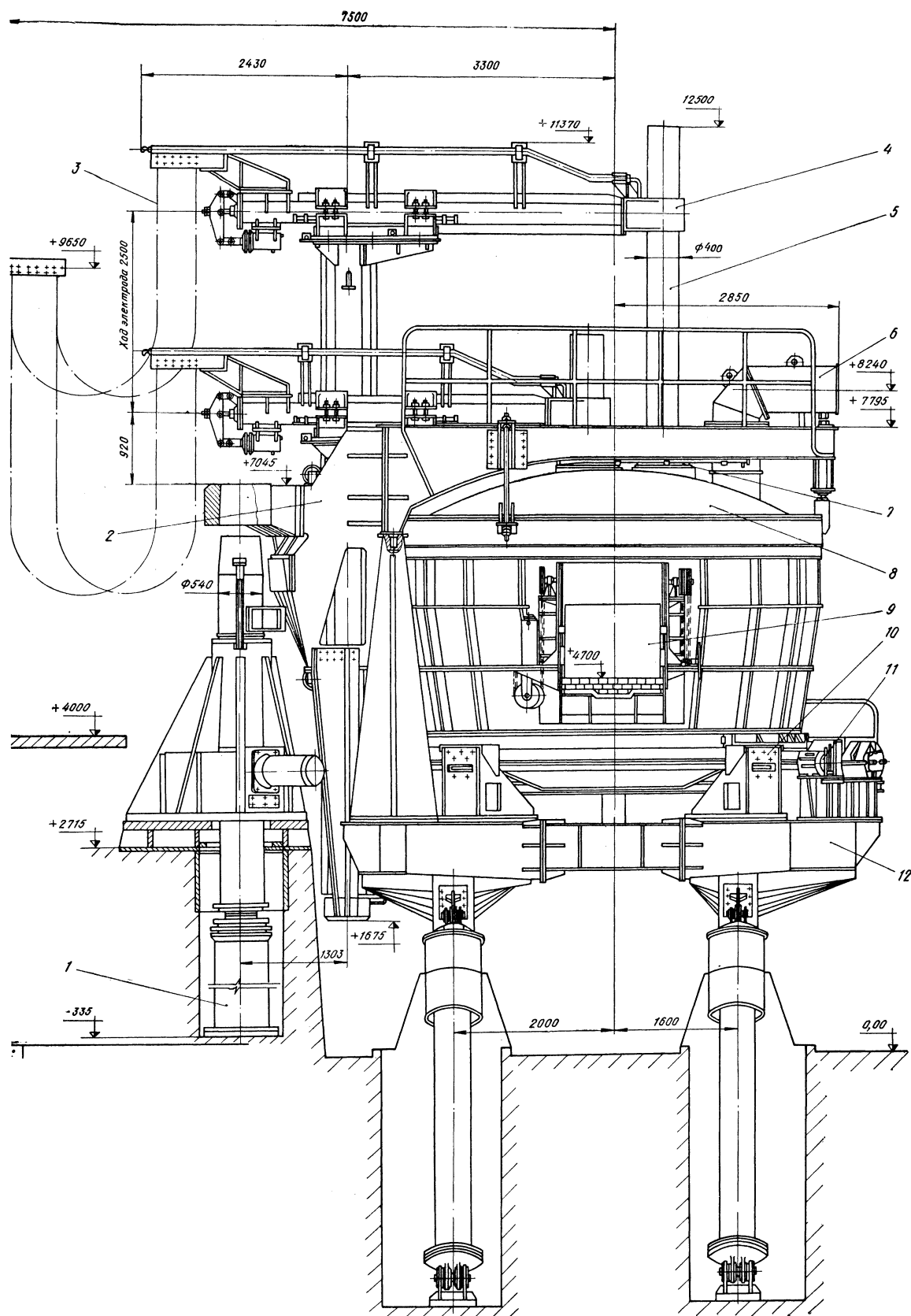


Рисунок 1.2 – Электродуговая печь ДСП-50

### 1.3 Характеристика викидів електросталеплавильного виробництва

Основними компонентами газів, що утворюються під час викидів з дугових сталеплавильних печей, є вуглець, що знаходиться в шихті і електродах, а також азот і кисень, які потрапляють у піч разом з атмосферним повітрям. Невеликі кількості водню також входять до складу газової фази, утворюючись через розкладання водяних парів повітря та вологи, що потрапляє в піч разом з матеріалами.

Вуглець та азот за високих температур реагують з киснем, утворюючи оксиди та діоксиди, а також можуть утворювати ціаністі сполуки. Залежно від типу сталевих сплавів, який виплавляється, гази можуть містити оксиди сірки та фториди. Загальний обсяг газів і їх хімічний склад змінюється від плавки до плавки, і залежить від електричних параметрів процесу плавлення, методів його прискорення, складу шихти та інших змінних факторів.

Температура відпрацьованих газів варіюється в залежності від умов плавки, коливаючись від 1000°C до 1900°C, але в більшості випадків вона близька до температури металу — близько 1600°C. Додатково, температура газів змінюється в залежності від способу їх відведення з печі, місця і рівня окислення оксиду вуглецю, розведення газів повітрям та тривалості плавки. Мінімальна температура газів спостерігається на початку плавлення (200-300°C), а максимальна — під час продувки киснем, коли післягоряння оксиду вуглецю відбувається поза межами печі.

Високі температури у ванні та робочому просторі печі призводять до утворення різних летючих хімічних сполук. Серед них оксиди вуглецю та азоту є найбільш шкідливими і утворюються в значних кількостях.

В таблиці 1.1 зазначено хімічний склад газів, що були відведені з-під свода печі.

Таблиця 1.1 – Середній хімічний склад газів у робочому просторі дугової електросталеплавильної печі за періодами плавки

| Значення                 | Склад, %        |                |      |                |                |
|--------------------------|-----------------|----------------|------|----------------|----------------|
|                          | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | CO   | H <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> |
| <b>Розплавлення</b>      |                 |                |      |                |                |
| Мінімальне               | 1,2             | 0,3            | 8,6  | 1,2            | 67,6           |
| Максимальне              | 10,8            | 10,4           | 20,6 | 3,6            | 79,4           |
| Середнє                  | 5,25            | 5,4            | 14,8 | 2,1            | 73,0           |
| <b>Продування киснем</b> |                 |                |      |                |                |
| Мінімальне               | 7,0             | 0,8            | 0,6  | 0,2            | 13,0           |
| Максимальне              | 13,4            | 5,8            | 75,0 | 1,1            | 83,4           |
| Середнє                  | 11,3            | 3,24           | 15,8 | 1,0            | 68,0           |
| <b>Рафінування</b>       |                 |                |      |                |                |
| Мінімальне               | 3,0             | 0,8            | 2,0  | 0,4            | 4,8            |
| Максимальне              | 13,6            | 5,1            | 52,0 | 3,5            | 83,0           |
| Середнє                  | 7,4             | 2,51           | 24   | 2,2            | 58,5           |

Відхідні газів з дугових електропечей містять велику кількість шкідливих сполук. Окис вуглецю та водень роблять газів горючими й вибухонебезпечними, тому при проектуванні установок для очищення цих газів важливо враховувати ці фактори, щоб уникнути вибухів та потрясінь.

Виділення пилу з дугової печі залежить від умов плавки і матеріалів, що використовуються. Склад і кількість плавильного пилу можуть сильно змінюватися в залежності від етапу плавки, і найбільша запиленість спостерігається під час продувки киснем.

Концентрація пилу в робочій зоні печі зазвичай значно вища, ніж після газоочистки, оскільки в процесі відведення газів вони розбавляються атмосферним повітрям. Концентрація пилу змінюється в залежності від методу збору газів. За результатами досліджень, більша частина пилових викидів (близько 75%) припадає на перші етапи плавки. В табл. 1.2 наведено хімічний склад пилу по ходу процесу.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад пилу

| Періоди плавлення | Вміст компонентів, % |                                |                                |     |     |      |      |                                |      |
|-------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|-----|------|------|--------------------------------|------|
|                   | SiO <sub>2</sub>     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | MgO | MnO  | NiO  | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Ін.  |
| Розплавлення      | 11,5                 | 43,6                           | 0,79                           | 8,4 | 3,3 | 10,3 | 4,54 | 6,66                           | 10,9 |
| Рафінування       | 15,7                 | 43,9                           | 0,02                           | 8,0 | 4,0 | 10,5 | 5,0  | 6,66                           | 6,4  |

Склад пилу змінюється в залежності від типу сталі, що виплавляється, і коливається протягом процесу плавки. Типовою рисою складу пилу в електричних печах є зменшена кількість оксидів заліза і більша кількість оксидів кремнію, магнію і марганцю. Дрібнодисперсна пил утворюється через випаровування металу під впливом електричних дуг і продувки киснем, після чого відбувається конденсація в печі. Більш великі частки з'являються через шлакоутворюючі та дроблені добавки. В табл. 1.3 наведено фракційний склад пилу [2].

Таблиця 1.3 – Фракційний склад пилу від електродугової печі

| Розмір частинок, мкм | 0-5  | 5-10 | 10-20 | 20-40 | >40 |
|----------------------|------|------|-------|-------|-----|
| Вміст, %             | 71,9 | 8,3  | 6,0   | 7,5   | 6,3 |

## РОЗДІЛ 2

### СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 2.1 Застосовувані методи уловлювання та очищення газових викидів

- для уловлювання та відведення газів, що виділяються від електропечей, застосовують різні системи:

- ліхтарі або витяжні шахти в даху цеху, через які газ, що потрапляє до цеху, видаляється природним шляхом;

- установка зонти над електропечею, в конструкції якого передбачено спеціальний ковпак над завантажувальним вікном печі, призначений для відсосу газу, що виділяється під час завантаження та роботи печі. Разом з газом у зонти всмоктується повітря, що збільшує обсяг газу, який потрапляє на газоочистку. Тому така установка вимагає потужних газоочисних систем та димососів. Однак при відсосі через зонти не весь газ, що виділяється з печі, потрапляє в зонти;

- відведення газу безпосередньо зі свода печі. У своді печі робиться спеціальне отвір, через яке за допомогою водоохолоджуваного патрубка відсадується газ, що утворюється під час плавки сталі. Цей метод передбачає перед подачею газу на газоочистку його дожигання в спеціальній камері;

- відведення газу зі свода печі через патрубок з розривом. При цьому газовідвідний патрубок розміщується на відстані 20–50 мм від стаціонарно встановленої приймальної воронки та приймального патрубка. Струя газу, що виходить з печі, всмоктує навколишнє повітря, в результаті чого обсяг суміші збільшується приблизно в шість разів. Оксид вуглецю, що міститься в газі, догорає в спеціальній камері в атмосфері всмоктуючого повітря, після чого газ спрямовується в систему газоочистки.

На сьогоднішній день для очищення газів дугових електропечей найпоширенішими є сухі фільтраційні системи, такі як електрофільтри та тканинні фільтри.

Система з електрофільтром для очищення газів складається зазвичай з електрофільтру (осадової камери), в якій проходять гази, що підлягають очищенню, а також системи подачі та транспорту для зібраного пилю.

В одному зі сталеплавильних цехів був встановлений електрофільтр для очищення пилогазових викидів. Це обладнання використовувалося для збору сухого пилю, що далі використовувався в процесі агломерації. Газ перед потраплянням в електрофільтр очищався в скруббері.

Під час проєктування системи очищення були визначені такі параметри: витрати газу – 15 тис. м<sup>3</sup>/год, температура на вході в скруббер – 500°C, а на вході в електрофільтр – 150°C. Запиленність газу до фільтра становила 20 г/м<sup>3</sup>, а після фільтра – 80 мг/м<sup>3</sup>.

Несправності в електрофільтрі виникли через можливі вибухи, що, ймовірно, були спричинені виділенням вибухонебезпечного пилю, адже пил від електродугових печей має високе електричне опірність, що й призвело до пошкодження фільтра.

Тканинні фільтри використовуються для очищення газів в електродугових печах. Вибір тканини залежить від температури, вологості, агресивності газів та тривалості служби матеріалу в робочих умовах. В основному для фільтрації продуктів горіння застосовуються синтетичні тканини, такі як капрон, лавсан і склотканина для температур до 220°C, а також тефлон для температур до 260°C.

На одному металургійному заводі було встановлено тканинний фільтр для очищення продуктів горіння сталеплавильних електродугових печей потужністю 50 т. Продукти горіння відводяться через спеціальне отвір в своді печі і направляються до фільтра. Трубопровід, по якому гази відводяться, охолоджується водою, після чого охолоджені гази потрапляють у теплоаккумулятор, де їх температура знижується до 120 °C. З цього аккумулятора гази направляються через тканинний фільтр і виходять у навколишнє середовище через димар.

За результатами експлуатації цього фільтра, запиленість газів після тканинного фільтра становила в середньому  $24 \text{ мг/м}^3$ , а ефективність очищення пилу – 97,3%.

Також було встановлено, що максимальний потік продуктів горіння після теплообмінника становив 50 тис.  $\text{м}^3/\text{год}$ , а температура цих газів варіювалася від 40 до  $105^\circ\text{C}$ .

Досвід роботи газоочистних установок з рукавними фільтрами показав, що основною трудомісткою операцією є перевірка та заміна фільтрувальних рукавів. В середньому протягом року потрібно замінити 10-12% рукавів. Основні дефекти включають розриви рукавів в нижній частині (30%) і по швах (30-35%), а також їх забивання пилом (35-40%). Розриви в нижній частині виникають через знос тканини на місці контакту з притискним стаканом. Накопичення пилу, пов'язане з порушенням регенерації, призводить до провисання рукавів і утворення складок у їх нижньому кріпленні.

## **2.2 Вибір і обґрунтування способу та засобів очищення газових викидів**

Створення ефективної системи для збору та відведення пилогазових викидів ускладнене через технічні складнощі та численні рухомі частини в конструкції електропечі. Удосконалення процесу електросталеплавлення призвело до значних змін у кількості та якості газових і пилових викидів. Різке збільшення інтенсивності викидів вимагало розробки нових, ефективніших методів їх уловлювання.

Найбільше поширення отримала система відведення газів безпосередньо з робочої зони печі через спеціальне четверте отвір у своді. Цей метод має два варіанти: «з розривом газового потоку» і «без розриву». Принцип роботи схеми відведення газів через четверте отвір із «розривом струменя» полягає в тому, що гази під тиском потрапляють у зонт, де здійснюється підсос повітря для охолодження і розбавлення газів до безпечних рівнів концентрації оксиду

вуглецю. Така схема не потребує додаткових систем для допалювання СО. Внаслідок цього кількість газів у газоотводному каналі значно більша за кількість вихідних газів з печі. Метод відведення газів через четверте отвір без «розриву газового потоку» передбачає установку водоохолоджуваного патрубку, що рухається разом з пічним сводом. Під час роботи патрубків щільно з'єднується зі стаціонарним газоходом. Багато досліджень доводять, що ефективність цієї системи дуже висока і досягає 100% в окремі періоди плавки. Для ефективного уловлювання газів потрібно створити розрідження 20 – 30 Па під сводом печі і подавати атмосферне повітря в робочий простір. Це сприяє ефективному допалюванню СО і забезпечує вибухобезпеку. У цій роботі віддається перевага методу відведення газів без «розриву струменя», оскільки це дозволяє знизити обсяг газів, які йдуть на очищення, в порівнянні з методом із «розривом струменя», при якому обсяг газів зростає в 3 – 4 рази. Це вимагає більших розмірів очищувальної установки та збільшує витрати на її будівництво та експлуатацію. Принципова схема газоочищення наведена на рис.2.1 .

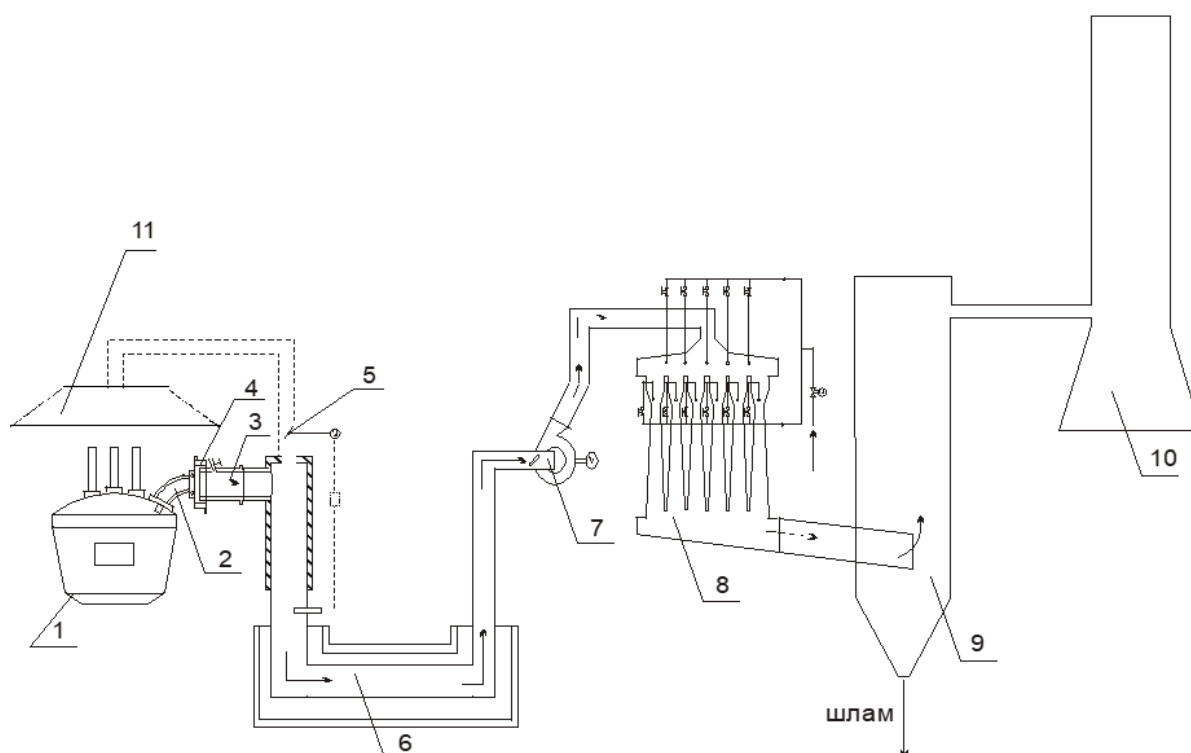
Газові викиди, які виникають в процесі плавки металу, виводяться через водоохолоджуваний патрубок (2), встановлений на своді печі. Завдяки підключенню рухомої водоохолоджуваної муфти (4) до стаціонарного патрубка утворюється зазор, що забезпечує повний відсмоктування газів з печі. Патрубок (3) забезпечує допалювання СО, що виділяється з печі. Для покращення процесу допалювання СО на водоохолоджуваному патрубку влаштовано тангенціальне підведення атмосферного повітря з клапаном ручного керування (5).

Для підвищення ефективності локалізації і відведення газів в дипломному проекті передбачено монтаж витяжного зонта (11), який встановлюється над піччю, а також обгороджування всієї печі по периметру зонта повітряними завісами.

Для очищення газів, що виходять з дугових електросталеплавильних печей, в проекті вибрано високонапірний скруббер Вентурі. Принцип його робо-

ти базується на розпиленні води турбулентним газовим потоком, де краплі води захоплюють пилові частинки, що потім коагулюються і охолоджуються в інерційному каплеуловлювачі. Газоочистка складається з кількох компактних труб Вентурі, що дозволяє не тільки зменшити розміри установки, але й точно налаштувати пропускну здатність, вимикаючи частину труб. В умовах коливань обсягу газів на дугових печах це має велике значення.

Для створення тяги використовуються вентилятори типу «млин», оскільки для уловлювання дрібнодисперсного пилу необхідна робота в умовах великих перепадів тиску.



1 – електродугова піч; 2 – водоохолоджувальний патрубок; 3 – патрубок; 4 – водоохолоджувальні муфти; 5 – тангенсальне підведення з клапаном річного керування; 6 – стаціонарний газохід; 7 – димотяг; 8 – блок труб Вентурі; 9 – краплевловлювач; 10 – димова труба; 11 – витяжний зонт

Рисунок 2.1 – Принципова схема газоочищення

Скруббери Вентурі мають високу ефективність (96 - 98%) і здатні захоплювати пил в широкому діапазоні його початкової концентрації.

Зібраний пил у трубах Вентурі у вигляді шламу по вихідному колектору, що має ухил, скидається в циклонний водовідділювач, а потім потрапляє в шламоотстойник. Вода з відстійника скидається у дренажну систему заводу.

## 2.3 Розрахунок апаратів пилогазоочистки

### 2.3.1 Розрахунок опору та ефективності високонапірного скрубера Вентурі (базовий варіант)

Згідно з базовим варіантом, гази, що відходять від електродугової печі, очищаються в високонапірному скруббері Вентурі, що містить дванадцять паралельних труб Вентурі з регульованою горловиною та два циклоні-каплеуловлювачі.

Вихідні дані:

- об'ємна витрата газу  $Q_0 = 100000 \text{ м}^3/\text{ч}$  (за н.у);
- температура газу на вході в газоочистку  $t = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура відхідних газів  $t_r = 58 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- розрідження попереду газоочисткою  $P_r = -10 \text{ кПа}$ ;
- густина відхідних газів  $\rho_0 = 1,300 \text{ кг/м}^3$  (за н.у);
- початкова запиленість  $Z_1 = 3 \text{ г/м}^3$ ;
- тиск води, що поступає на зрошення  $P_v = 600 \text{ кПа}$ ;
- питома витрата води на зрошення  $m = 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3$ ;
- барометричний тиск  $B = 98 \text{ кПа}$ .

Визначимо об'ємний потік газу за умов роботи:

$$Q_p = \frac{Q_0}{3600} \cdot \frac{(273 + t_{\text{вих}})}{273} \cdot \frac{101,3}{(B \pm P_r)} = \frac{100000}{3600} \cdot \frac{(273 + 58)}{273} \cdot \frac{101,3}{(98 - 10)} =$$

$$= 38,8 \text{ м}^3/\text{с}$$

Прийняті для газоочистки труби Вентурі з регульованою горловиною мають площу перерізу:  $S = a \cdot b = 0,2 \cdot 0,12 = 0,0235 \text{ м}^2$ .

Знаючи витрату газу та площу перерізу горловини труби Вентурі, розрахуємо швидкість газу в горловині труб Вентурі:

$$w_{\Gamma} = \frac{Q_p}{n \cdot S_{\text{гор}}} = \frac{38,8}{12 \cdot 0,0235} = 136 \text{ м/с}$$

Густина газів на виході зі скрубера Вентурі:

$$\rho_{\text{в}}^{\text{вих}} = \rho_0 \frac{273}{(273+t_{\text{вих}})} \cdot \frac{(B \pm Pr)}{101,3} = 1,3 \frac{273}{(273+58)} \cdot \frac{(98-10)}{101,3} = 0,931 \text{ кг/м}^3$$

Гідравлічний опір сухої труби Вентурі:

$$\Delta P_c = \frac{\xi_c \cdot w_{\Gamma}^2 \cdot \rho_{\Gamma}^{\text{вих}}}{2} = \frac{0,13 \cdot 136^2 \cdot 0,931}{2} = 1135 \text{ Па}$$

де  $\xi_c$  – коефіцієнт гідравлічного опору сухої труби Вентурі,  $\xi_c = 0,13$  [7].

Коефіцієнт гідравлічного опору, що враховує введення в трубу рідинного обприскування:

$$\xi_{\text{ж}} = A \cdot \xi_c \cdot m^{1+B} = 0,63 \cdot 0,13 \cdot (10^{-3})^{-0,3} = 0,651$$

де  $A$  та  $B$  – емпіричні коефіцієнти, приймаємо  $A = 0,63$ ;  $1+B = -0,3$  (при центральному підводі зрошення в конфузор труби) [1];

$\xi_c$  – коефіцієнт гідравлічного опору сухої труби,  $\xi_c = 0,13$  [7];

$\rho_{\text{ж}}$  – густина зрошувальної рідини,  $\rho_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг/м}^3$  [7].

Гідравлічний опір труби, обумовлений введенням зрошувальної рідини:

$$\Delta P_{\text{ж}} = \xi_{\text{ж}} \frac{w_{\Gamma}^2 \rho_{\text{ж}}}{2} m = 0,651 \frac{136^2 \cdot 1000}{2} 10^{-3} = 6109 \text{ Па}$$

Гідравлічний опір труби-розпилювача при подачі в неї зрошувальної рідини зручно розглядати як суму складових:

$$\Delta P_{\text{скр}} = \Delta P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{ж}} = 1135 + 6109 = 7244 \text{ Па}$$

Діаметр горловини труби:

$$d_z = 1,13 \sqrt{\frac{Q_p}{w_z}} = 1,13 \sqrt{\frac{3,2}{136}} = 0,17 \text{ м}$$

Задаємо оптимальну швидкість газу по перетину циклона-краплеуловлювача  $w_{\text{ц}} = 3,5 \text{ м/с}$  [4].

Необхідний діаметр циклона-краплеуловлювача:

$$d_{\text{ц}} = 1,13 \sqrt{\frac{Q_p}{n \cdot w_{\text{ц}}}} = 1,13 \sqrt{\frac{38,8}{2 \cdot 3,5}} = 2,6 \text{ м}$$

Приймаємо до установки два паралельно працюючих циклони-краплеуловлювачі. Фактична швидкість газів у циклоні-краплеуловлювачі:

$$w_{\phi} = \frac{Q_p}{n \cdot S} = \frac{38,8}{2 \cdot 10,6} = 1,8 \text{ м/с}$$

Гідравлічний опір циклона-краплеуловлювача:

$$\Delta P_{\text{кап}} = \frac{\xi_{\text{с}} \cdot w_{\phi}^2 \cdot \rho_{\Gamma}^{\text{вих}}}{2} = \frac{32 \cdot 1,8^2 \cdot 0,931}{2} = 182,5 \text{ Па}$$

Енергія, що витрачається на очищення  $1000 \text{ м}^3$  газів:

$$K_q = \Delta P_{скр} + \Delta P_{кан} + P_{ж} \cdot t = 7244 + 182,5 + 6 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} = 8146 \frac{\text{кДж}}{1000\text{м}^3}$$

Число одиниць перенесення:

$$N_q = B \cdot K_q^x = 1,74 \cdot 10^{-6} \cdot 8146^{1,594} = 2,98$$

де  $B$  – коефіцієнти для пилу електросталеплавильних печей, що працюють на повітряному продуванні,  $B = 1,74 \cdot 10^{-6}$  и  $x = 1,594$  [7].

Ступінь вловлення пилу:

$$\eta = 1 - \exp(-BK_q^x) = 1 - \frac{1}{e^{2,98}} = 0,95 \quad (95 \%)$$

Кінцева запиленість газів:

$$Z_2 = Z_1 - (Z_1 \cdot \eta) = 3 - (3 \cdot 0,95) = 0,15 \text{ г/м}^3$$

Таким чином, відповідно до базового варіанту забезпечується уловлювання пилу на 95 %. Кінцева запиленість газів після скрубера Вентурі складе 0,15 г/м<sup>3</sup>.

### 2.3.2 Розрахунок необхідної швидкості газів в горловині труби Вентурі

У випадку нетоксичного пилу кінцева запиленість газів перед димовою трубою не повинна перевищувати: 0,1 г/м<sup>3</sup>,  $Z_2 = 0,1 \text{ г/м}^3$

Ступінь вловлювання пилу:

$$\eta = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1} = \frac{3 - 0,1}{3} = 0,97 = 97 \%$$

Число одиниць переносу:

$$N_q = \ln \frac{1}{1 - \eta} = \ln \frac{1}{1 - 0,97} = 3,401$$

Удельна енергія, витрачена на уловлювання пилу, визначається за формулою:

$$N_q = B \cdot K_q^x$$

Звідси:

$$K_q = \left(\frac{N_q}{B}\right)^{\frac{1}{x}} = \left(\frac{3,401}{1,74 \cdot 10^{-6}}\right)^{\frac{1}{1,594}} = 8846 \text{ кДж/1000м}^3 \text{ газів.}$$

де  $B$  – коефіцієнти для пилу електросталеплавильних печей, що працюють на повітряному дутті,  $B = 1,74 \cdot 10^{-6}$  и  $x = 1,594$  [7].

Гідравлічний опір скрубера Вентурі:

$$\Delta P_{\text{скр}} = K_q - P_{\text{ж}} \cdot m = 8846 - 6 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} = 8246 \text{ Па}$$

Необхідний діаметр циклона-краплевловлювача:

$$d_{\text{ц}} = 1,13 \sqrt{\frac{Q_p}{n \cdot w_{\text{ц}}}} = 1,13 \sqrt{\frac{38,8}{2 \cdot 3,5}} = 2,6 \text{ м}$$

Приймаємо до установки два паралельно працюючих циклоні-краплевловлювачі. Фактична швидкість газів у циклоні-краплевловлювачі:

$$w_{\phi} = \frac{Q_p}{n \cdot S} = \frac{38,8}{2 \cdot 10,6} = 1,8 \text{ м/с}$$

Гідравлічний опір циклона-краплевловлювача визначається за формулою:

$$\Delta P_{\text{кап}} = \frac{\xi_c \cdot w_{\phi}^2 \cdot \rho_{\Gamma}^{\text{вих}}}{2} = \frac{32 \cdot 1,8^2 \cdot 0,931}{2} = 182,5 \text{ Па}$$

Опір труби Вентурі:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{скр}} - \Delta P_{\text{кап}} = 8246 - 182,5 = 8063,5 \text{ Па}$$

Коефіцієнт гідравлічного опору труби Вентурі, який враховує введення в трубу Вентурі зрошуючої рідини:

$$\xi_{\text{жс}} = A \cdot \xi_{\text{с}} \cdot m^{1+B} = 0,63 \cdot 0,13 \cdot (10^{-3})^{-0,3} = 0,651$$

Необхідна швидкість газу в горловині труби:

$$w = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_{\text{тр}}}{\xi_{\text{с}} \cdot \rho_{\text{с}}^{\text{вих}} + \xi_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 8063,5}{0,13 \cdot 0,931 + 0,651 \cdot 1000 \cdot 10^{-3}}} = 145 \text{ м/с}$$

Розрахунок показав, що заданий рівень уловлювання пилу (97 %) в газоочистці досягається при швидкості газів у горловині труби Вентурі 145 м/с.

### 2.3.3 Розрахунок опору та ефективності високонапірного скрубера Вентурі (проектний варіант)

Згідно з проектним варіантом, остаточна запиленість не повинна перевищувати норму, тобто 0,1 г/м<sup>3</sup>.

Визначимо об'ємний витрат газу за робочих умов:

$$Q_p = \frac{Q_0}{3600} \cdot \frac{(273 + t_{\text{вих}})}{273} \cdot \frac{101,3}{(P_a \pm P_r)} = \frac{100000}{3600} \cdot \frac{(273 + 58)}{273} \cdot \frac{101,3}{(98 - 10)} = 38,8 \text{ м}^3/\text{с}$$

Густина газів на виході з скрубера Вентурі:

$$\rho_{\text{с}}^{\text{вих}} = \rho_0 \frac{273}{(273 + t_{\text{вих}})} \cdot \frac{(P \pm P_r)}{101,3} = 1,3 \frac{273}{(273 + 58)} \cdot \frac{(98 - 10)}{101,3} = 0,931 \text{ кг/м}^3$$

Гідравлічний опір сухої труби Вентурі:

$$\Delta P_c = \frac{\xi_c \cdot w_\Gamma^2 \cdot \rho_\Gamma^{\text{вих}}}{2} = \frac{0,13 \cdot 145 \cdot 0,931}{2} = 1272 \text{ Па}$$

де  $\xi_c$  – коефіцієнт гідравлічного опору сухої труби Вентурі,  $\xi_c = 0,13$  [7].

Коефіцієнт гідравлічного опору, що враховує введення в трубу орошувальної рідини:

$$\xi_{\text{ж}} = A \cdot \xi_c \cdot m^{1+B} = 0,63 \cdot 0,13 \cdot (10^{-3})^{-0,3} = 0,651$$

де  $A$  та  $B$  – емпіричні коефіцієнти, приймаємо  $A = 0,63$ ;  $1+B = -0,3$  (при центральному підведенні зрошення в конфузори труби) [2];

$\xi_c$  – коефіцієнт гідравлічного опору сухої труби,  $\xi_c = 0,13$ ;

$\rho_{\text{ж}}$  – густина зрошувальної рідини,  $\rho_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

Гідравлічний опір труби, зумовлений введенням орошувальної рідини:

$$\Delta P_{\text{ж}} = \frac{\xi_{\text{ж}} \cdot w_\Gamma^2 \cdot \rho_{\text{ж}}}{2} \cdot m = 0,651 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{145^2 \cdot 1000}{2} = 6843 \text{ Па}$$

Гідравлічний опір труби-розпилювача, при подачі в неї орошувальної рідини, зручно розглядати як суму складових:

$$\Delta P_{\text{скр}} = \Delta P_c + \Delta P_{\text{ж}} = 1272 + 6843 = 8115 \text{ Па}$$

Діаметр горловини труби:

$$d_z = 1,13 \sqrt{\frac{Q_p}{w_z}} = 1,13 \sqrt{\frac{3,2}{145}} = 0,585 \text{ м}$$

Оскільки отриманий діаметр перевищує найбільший діаметр горловини типорозмірного ряду високонапірних труб Вентурі (0,42 м), необхідно встановити шість нормалізованих і паралельно працюючих труб Вентурі діаметром  $d_\Gamma = 0,17 \text{ м}$ .

Задаємо оптимальну швидкість газу по перерізу циклона-краплевловлювача:  $w_{ц} = 3,5$  м/с [3].

Необхідний діаметр циклона-краплевловлювача:

$$d_{ц} = 1,13 \sqrt{\frac{Q_p}{n \cdot w_{ц}}} = 1,13 \sqrt{\frac{38,8}{2 \cdot 3,5}} = 2,6 \text{ м}$$

Приймаємо в установку два паралельно працюючі циклони-краплевловлювачі. Фактична швидкість газів у циклоні-краплевловлювачі:

$$w_{\phi} = \frac{Q_p}{n \cdot S} = \frac{38,8}{2 \cdot 10,6} = 1,8 \text{ м/с}$$

Гідравлічний опір циклону-краплевловлювача:

$$\Delta P_{\text{кап}} = \frac{\xi_c \cdot w_{\phi}^2 \cdot \rho_{\Gamma}^{\text{вих}}}{2} = \frac{32 \cdot 1,8^2 \cdot 0,931}{2} = 182,5 \text{ Па}$$

Енергія, що витрачається на очищення  $1000 \text{ м}^3$  газів:

$$K_{\text{ц}} = \Delta P_{\text{скр}} + \Delta P_{\text{кап}} + P_{\text{ж}} \cdot t = 8115 + 182,5 + 6 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} = 8897 \frac{\text{кДж}}{1000 \text{ м}^3}$$

Число одиниць перенесення:

$$N_{\text{ц}} = B \cdot K_{\text{ц}}^x = 1,74 \cdot 10^{-6} \cdot 8897^{1,594} = 3,5$$

де  $B, x$  – коефіцієнти,  $B = 1,74 \cdot 10^{-6}$  та  $x = 1,594$  – для пилу електросталеплавильних печей, що працюють на повітряному дуті. [7].

Ступінь уловлення пилу:

$$\eta_{\cdot} = 1 - \exp(-BK_{\text{ц}}^x) = 1 - \frac{1}{e^{3,5}} = 0,985$$

Кінцева запиленість газів:

$$Z_2 = Z_1 - (Z_1 \cdot \eta) = 3 - (3 \cdot 0,985) = 0,045 \text{ г/м}^3$$

Таким чином, відповідно до проектного варіанту забезпечується уловлювання пилю на 98,5 %, при швидкості газів у горловині 145 м/с, а кінцева запиленість газів після скрубера Вентурі складе 0,045 г/м<sup>3</sup>

### 2.3.4 Аеродинамічний розрахунок димової труби

Приймаємо, що у цеху встановлено чотири електродугові печі, за кожною з яких є власна газоочистка. Очищені гази після чотирьох газоочисток розсіюються в атмосфері через загальний димар, висотою 100 м. Діаметр гирла труби,  $D_{уст} = 5$  м.

Гідравлічний опір димової труби, Па, визначається за формулою:

$$\Delta P_{тр} = \lambda \frac{H}{D_{гирл}} \cdot \frac{w^2}{2} \rho_{г} = 0,05 \frac{100}{5} \cdot \frac{7^2}{2} 1,15 = 70$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт тертя, для бетонних труб  $\lambda = 0,05$  [8];

$\rho_{г}$  – густина газу попереду димової труби, кг/м<sup>3</sup>;

$D_{гирл}$  – діаметр гирла димової труби, м

Швидкість газів в гирлі димової труби:

$$W_{уст} = \frac{n \cdot Q_p}{S_{уст}} = \frac{4 Q_p}{\pi D_{уст}^2} = \frac{4 \cdot 137}{3,14 \cdot 5^2} = 7 \text{ м/с}$$

Динамічний тиск:

$$P_{дин} = \frac{w^2}{2} \rho = \frac{7^2}{2} \cdot 1,15 = 20 \text{ Па}$$

Сумарний гідравлічний тиск:

$$P_{\Sigma} = \Delta P_{тр} + P_{дин} = 70 + 20 = 90 \text{ Па}$$

Тяга, що створюється димовою трубою:

$$P_c = (\rho_a - \rho_g) \cdot g \cdot H = (1,189 - 0,8) \cdot 9,8 \cdot 100 = 381 \text{ Па}$$

де  $\rho_a$  – густина атмосферного повітря при 24 °С,  $\rho_a = 1,189$  кг/м<sup>3</sup>.

Потреба в додатковому тиску:

$$P_{\text{доп}} = P_{\Sigma} - P_c = 90 - 381 = -291 \text{ Па}$$

Отже, існує резерв розрідження, який забезпечує димова труба. Це дозволяє збільшити гідравлічний опір газоотвідного тракту на 291 Па при виборі відповідного газодувного обладнання. Загальний гідравлічний опір газоотвідного тракту визначається сумою опорів, які виникають на окремих ділянках тракту.

Кожен з цих ділянок потребує детального аналізу, для визначення лінійних втрат тиску, які залежать від довжини та характеристик трубопроводу, а також місцевих втрат тиску, пов'язаних з установкою фітінгів, клапанів, з'єднань і інших елементів, що створюють перешкоди для нормального потоку газу. Врахування всіх цих факторів дозволяє більш точно визначити оптимальні параметри для створення ефективної газоочисної системи, що забезпечить стабільну та безпечну експлуатацію обладнання.

При проектуванні газоотвідного тракту важливо також враховувати можливі коливання тиску, що можуть виникати внаслідок змін температури або потужності печі, а також специфічні умови роботи різних систем очищення, таких як фільтри або скрубери, для адаптації системи до реальних умов.

Лінійні втрати тиску на ділянці, Па:

$$\Delta P_l = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{W_g^2}{2} \cdot \rho_g$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт Дарсі;

$L$  – довжина газопроводу, м;

$D$  – діаметр газопроводу, м;

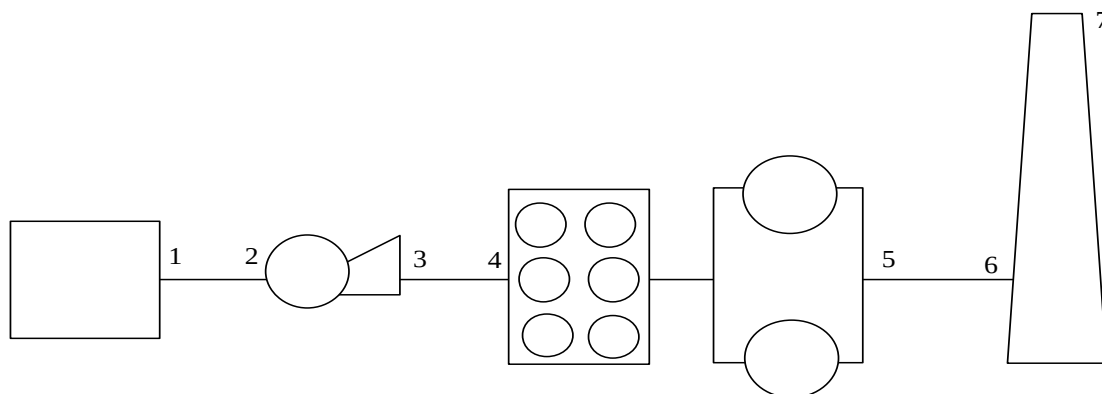
$W_g$  – швидкість газу, м/с;

Місцеві втрати тиску на ділянці, Па:

$$\Delta P_M = \sum \xi \frac{W_c^2}{2} \rho_c$$

де  $\sum \xi$  – сума коефіцієнти місцевих опорів.

З метою спрощення розрахунків газоотвідного тракту умовно розділимо його на наступні ділянки



- ділянка 1-2 – газопроводи від печі до димотягу;
- ділянка 2-3 – димотяг;
- ділянка 3-4 – газопровід від димотяга до скрубера Вентурі;
- ділянка 4-5 – блок труб Вентурі – краплєвловлювач;
- ділянка 5-6 – газопровід від скрубера Вентурі до димової труби;
- ділянка 6-7 – димова труба.

Рисунок 2.2 – Схема розрахунку аеродинаміки газового тракту

Аеродинамічний розрахунок виконано для проектного варіанту газоочистки. Аеродинамічні характеристики отримані з урахуванням параметрів для вхідного перетину відповідних умовних ділянок. Результати виконаних розрахунків наведено в табл. 2.1.

### 2.3.5 Вибір димотягу

Димосос обирають на основі аеродинамічного розрахунку газоотвідного тракту [9].

Продуктивність димососу:

$$Q_{\delta} = \frac{1,1Q_p \cdot 101,3}{B} = \frac{1,1 \cdot 40 \cdot 101,3}{98} = 30 \text{ м}^3/\text{с}$$

Коефіцієнт перерахунку:

$$K = \frac{(273 + t)101,3 \cdot \rho_z}{(273 + T) \cdot B \cdot \rho_e} = \frac{(273 + 170)101,3 \cdot 1,15}{(273 + 70) \cdot 98 \cdot 1,3} = 1,1$$

де  $t$  – температура газу попереду димотяга, °С;

$T$  – температура згідно даних в каталозі, °С.

Величина тиску, що створює димотяг:

$$\Delta P_{\text{д}} = 1,2 \cdot \Delta P_{\Sigma} \cdot K = 1,2 \cdot 13 \cdot 1,1 = 17 \text{ кПа}$$

де  $1,2$  – коефіцієнт запасу [9];

$\Delta P_{\Sigma}$  – сумарний опір газовідвідного тракту, кПа;

$K$  – коефіцієнт перерахунку.

Споживана димососом потужність визначається за формулою:

$$N = \frac{Q_{\text{кат}} \cdot \Delta P_{\Sigma} \cdot 10^{-3}}{\eta_{\text{кат}}} = \frac{N_{\text{кат}}}{K} = \frac{920}{1,1} = 836 \text{ кВт}$$

де  $N_{\text{кат}}$  – значення потужності за каталогом,  $N_{\text{кат}} = 920 \text{ кВт}$  [9].

На основі розрахованих параметрів для установки обираємо млиновий вентилятор ВМ-180/1100, який має об'ємну продуктивність 180 тис. м³/год, споживану потужність 920 кВт, частоту обертання ротора 1480 об/хв [9]. Цей вентилятор оптимально підходить для забезпечення необхідних показників ефективності газоочистки, завдяки своїм технічним характеристикам, таким як висока продуктивність і стабільна робота при великих навантаженнях.

Таблиця 2.1 – Результати аеродинамічного розрахунку газовідвідного тракту

| Діл.            | В,<br>кПа | Р <sub>г</sub> ,<br>кПа | Р,<br>кПа | t <sub>г</sub> ,<br>°C | Q <sub>г</sub> ,<br>м³/с | ρ <sub>г</sub> ,<br>кг/м³ | Геометричні параметри газопроводу |                  |       |                         | Втрати тиску                                            |      |                      |                      |                    |
|-----------------|-----------|-------------------------|-----------|------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|------------------|-------|-------------------------|---------------------------------------------------------|------|----------------------|----------------------|--------------------|
|                 |           |                         |           |                        |                          |                           | L,<br>м                           | d, м             | S, м² | W <sub>ф</sub> ,<br>м/с | Види місцевих опорів                                    | Σξ   | ΔР <sub>м</sub> , Па | ΔР <sub>Л</sub> , Па | ΔР <sub>Σ</sub> Па |
| 1               | 2         | 3                       | 4         | 5                      | 6                        | 7                         | 8                                 | 9                | 10    | 11                      | 12                                                      | 13   | 14                   | 15                   | 16                 |
| 1 - 2           | 98        | -1,5                    | 96,5      | 600                    | 98                       | 0,39                      | 20                                | 1,549            | 1,863 | 52                      | 2 поворота на 90 <sup>0</sup> , вхід в вентилятор       | 0,58 | 306                  | 212                  | 518                |
| 2 - 3           | 98        | 10                      | 108       | 170                    | 40                       | 0,8                       | вентилятор                        |                  |       |                         |                                                         |      |                      |                      |                    |
| 3 - 4           | 98        | 8,5                     | 106,5     | 160                    | 38                       | 0,89                      | 5                                 | 1,025            | 0,825 | 46                      | Вихід з вентилятору, 2 поворота на 90 °, поділ потоку   | 1,58 | 1487                 | 746                  | 2233               |
| 1               | 2         | 3                       | 4         | 5                      | 6                        | 7                         | 8                                 | 9                | 10    | 11                      | 12                                                      | 13   | 14                   | 15                   | 16                 |
| 4 - 5           | 98        | 8,5                     | 106,5     | 150                    | 37,8                     | 0,88                      |                                   | скруббер Вентурі |       |                         |                                                         |      |                      |                      | 8115               |
| 5 - 6           | 98        | 0,5                     | 98,5      | 58                     | 34,6                     | 1,07                      | 15                                | 1,325            | 1,379 | 24                      | Злиття потоків, 2 поворота на 90 °, вхід в димову трубу | 2,28 | 703                  | 104                  | 807                |
| 6 - 7           | 98        | 0,45                    | 98,45     | 50                     | 34                       | 1,15                      | Димова труба                      |                  |       |                         |                                                         |      |                      |                      | – 291              |
| ΔР <sub>Σ</sub> |           |                         |           |                        |                          |                           |                                   |                  |       |                         |                                                         |      |                      |                      | 11382              |

## 2.4 Утилізація відходів

Шлами газоочисток електросталеплавильних печей, на відміну від шламів мартенівських і конверторних газоочисток, мають значні коливання складу. Це пов'язано з особливостями роботи цих агрегатів. В одних і тих самих печах за короткий час можуть виготовлятися різні марки сталі, і зміна хімічного складу шихти в залежності від марок сталі впливає на склад шламів. Для очищення стічних вод газоочисток електросталеплавильних печей рекомендується використовувати відкриті гідроциклонні системи або радіальні відстійники. Система водопостачання повинна бути замкнутою, без охолодження водою. Світла технологічна вода подається для поповнення втрат і вводиться до очищувальних споруд. Шламова пульпа спрямовується на додаткове згущення та осушення з наступною нейтралізацією осаду та поверненням фільтрату в оборотний цикл.

Шлами з газоочисток електросталеплавильних печей мають наступний середній хімічний склад, % [10]: Fe загальне 15–45; SiO<sub>2</sub> 2–6; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1–2; CaO 5–15; MgO 2–13; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,04–0,25; S 0,1–1; Cr 0,3–6,5; Ni 0,15–4,0.

Ці шлами є дуже цінними, оскільки мають високу концентрацію хрому, нікелю та заліза. Залізо в шламах газоочисток представлено у вигляді магнетиту, гематиту, пирротину та піриту. Шлами містять велику кількість ферросилікатів і карбідів заліза, а хром і нікель — у вигляді оксидів [10].

Середній гранулометричний склад шламів газоочисток електросталеплавильних печей наведено нижче [10]:

|                |     |       |       |       |       |       |
|----------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| Крупність, мкм | >40 | 40–30 | 30–20 | 20–10 | 10–5  | <5    |
| Вміст, %       | 1–2 | 3–5   | 5–10  | 10–15 | 15–25 | 40–60 |

Найпоширенішим методом використання залізовмісних шламів у виробництві електросталі є їх додавання до шихти. Існує безліч різних методів підготовки та застосування шламів, вибір яких залежить від їх хімічного складу,

фізико-механічних характеристик та інших факторів. На рис. 2.3 показана схема установки для підготовки шламів газоочистки електросталеплавильного виробництва до утилізації, яка включає етапи осушення шламів у фільтр-пресі, термічної сушки та агломерації висушеного шламу.

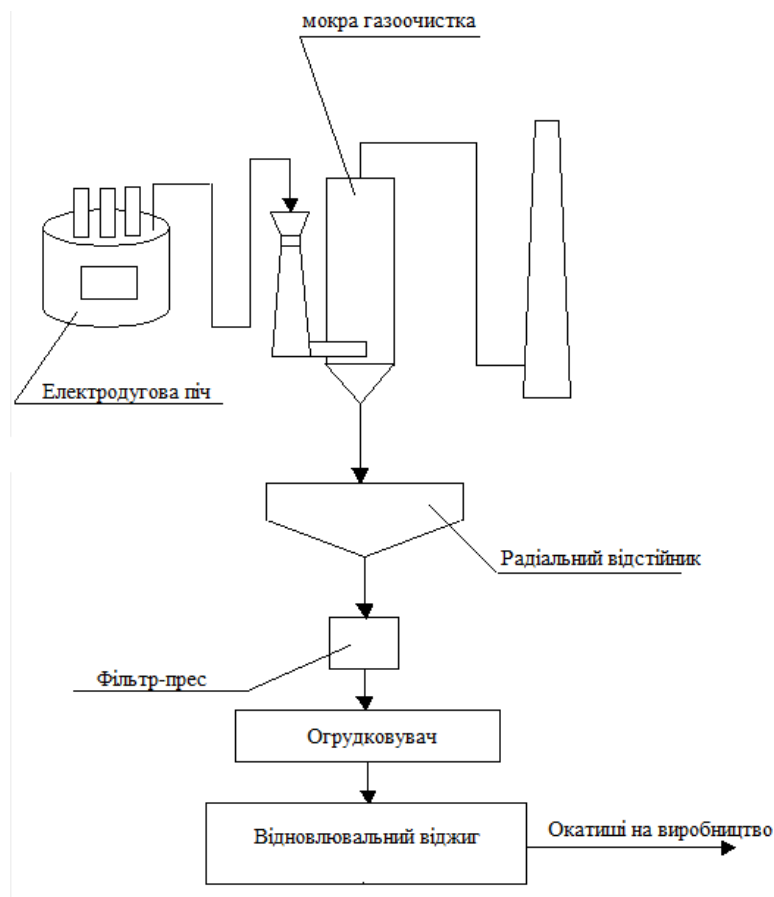


Рисунок 2.3 – Схема переробки шламу газоочисток

Шлам концентрується в радіальному відстійнику, злив з якого направляється через накопичувальний бак у замкнутий водопостачальний цикл газоочистки. Для прискорення процесів освітлення води та згущення шламів застосовують коагуляцію. Загущений шлам з відстійника через акумулюючий бак надходить на обезвожування у фільтр-пресі (рис. 2.4), після чого потрапляє в барабанну сушарку. Висушений шлам агломерується в окомковувальнику, а отримані гранули сортуються на вібраційному грохоті. Малі гранули направляються на утилізацію в шихту агломераційного заводу, а великі – на повторне окомковання. Після цього гранули піддаються відновній плавці та повертаються у процес електросталеплавильного виробництва.



Рисунок 2.4 – Фільтр-прес



Рисунок 2.5 – Огрудковувач

## РОЗДІЛ 3

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

#### 3.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів електросталеплавильного виробництва

Виробництво електросталі на підприємствах чорної металургії щороку зростає. В електричних печах плавлять високолеговані інструментальні, нержавіючі, жаростійкі та жаропрочні сталі, а також конструкційні сталі різних марок. У сучасних цехах електросталеплавильного виробництва активно впроваджуються механізація трудомістких операцій та автоматизація керування виробничими процесами.

Магнітні матеріали для плавки в електропечах завантажуються з вагонів у шихтовому дворі, де вони переміщуються за допомогою мостових кранів з електромагнітами, а немагнітні матеріали, такі як феросплави, вантажать за допомогою самозахоплюючих клещів. Для сипких матеріалів використовують грейфери.

Коли обслуговують основне обладнання електросталеплавильного цеху, важливо дотримуватись правил безпеки, зважаючи на специфіку конструкції та експлуатації печей. Працівники, які працюють поруч з токоведучими частинами печей, повинні бути обізнані з правилами електробезпеки. Це є вимогою при атестації та присвоєнні кваліфікаційних розрядів. Усі роботи на своді печі, такі як ремонт, ущільнення охолоджувальних пристроїв чи перепуск електродів, повинні виконуватися лише після вимкнення печі. Для запобігання її випадковому включенню в систему приводу масляного вимикача встановлюють розетку освітлювального типу, щоб оператор міг контролювати доступ до печі.

Процес завалки шихти в піч передбачає припинення інших робіт на печі, а працівники повинні знаходитися на безпечній відстані. Під час завантаження шихти в піч слід мінімізувати удар металевих уламків об підлогу, що

допомагає уникнути викидів матеріалів. Завалочні бадді повинні опускатися в піч якомога нижче, щоб зменшити силу удару, а замок бадді відкривати лише при закритому завалочному вікні.

Процес плавлення шихти може бути небезпечним через можливі обвали або викиди палаючих матеріалів. Тому жоден працівник не повинен перебувати в зоні завалочного вікна, а операції з додаткової завалки слід виконувати тільки при закритому вікні, з дотриманням усіх заходів безпеки. Керування плавленням регулюється через повороти печі, а в кінці плавлення, коли залишки шихти на стінках печі мінімальні, їх збивають спеціальними пристосуваннями.

В електросталеплавильному виробництві застосовуються комплексні заходи для боротьби з перегрівами: механізація робіт, теплоізоляція, аерація, водно-повітряне душення, а також використання спеціального одягу з металізованих тканин, покритих тонким шаром алюмінію. Такий одяг добре відбиває випромінювану енергію, знижуючи теплову навантаженість на організм. Важливу роль у боротьбі з перегрівами відіграє покращення умов праці, що сприяє зниженню тепловиділення організму та загальної кількості накопиченої в ньому тепла.

Великого значення для оздоровлення набувають раціональні режими праці та відпочинку. Нормалізація терморегуляції досягається тим, що під час перерв, які тривають до 20-30 хвилин, працівники перебувають у зонах сприятливого мікроклімату – повітряних оазисах, кабінах з водяними завісами, кімнатах відпочинку.

Важливим профілактичним заходом є запровадження фізіологічно обґрунтованого питного режиму: забезпечення працівників підсоленою та охолодженою до 18-20°C газованою водою.

Нагрівальне обладнання, особливо те, що працює під тиском, а також розгалужена мережа комунікацій є джерелами виділення газів у виробничі приміщення, зокрема оксиду вуглецю.

Оксид вуглецю, що є продуктом неповного згоряння палива, становить значну небезпеку. Максимально допустима концентрація цього газу складає 20 мг/м<sup>3</sup>. Інші гази, що виділяються, зазвичай мають незначну частку в загальному обсязі викидів і часто впливають на працівників тільки періодично.

Однією з основних заходів для попередження отруєння оксидом вуглецю та іншими газами є своєчасне виявлення місць їх виділення або скупчення. Такі зони є небезпечними для людей.

На заводі є спеціальна газоспасальна служба, що складається з кваліфікованих фахівців. Вона оснащена необхідною технікою для контролю газової забрудненості повітря, а також шланговими та ізолюючими протигазами.

На підготовчих операціях сталеваріння, таких як у шихтових відділеннях, дворах для викладок, під час підготовки ковшів та інших робіт, а також після плавки, у електросталеплавильних цехах утворюється інтенсивне пиловиділення.

В шихтових відділеннях спостерігається значне виділення пилу на всіх етапах переміщення та обробки сухих матеріалів: металевого лому, феросплавів, флюсів (вапно, вапняк тощо), а також футерувальних матеріалів.

Використання великої кількості речовин, серед яких є токсичні та подразнюючі, в шихтових матеріалах, може завдати шкоди здоров'ю працівників. Пил, що містить кремній, є професійним фактором, який визначає умови праці металургів у цехах та на ділянках підготовки шихти.

В плавильних відділеннях джерелами пиловиділення є плавлений метал в печах, а також різноманітні сипучі матеріали. У загальній масі пил має чорний колір ( $d_m = 13$  мкм;  $\sigma = 1,2$ ).

Максимально допустима концентрація нетоксичного пилу в повітрі робочих зон виробничих приміщень не повинна перевищувати 2 мг/м<sup>3</sup>.

Для боротьби з пилом широко застосовують методи зволоження та локалізації пиловиділення, встановлення місцевих укриттів і відсмоктувачів поблизу джерел пилу, безпилові способи прибирання приміщень (аспірація, гід-

равлічне очищення). Не дозволяється прибирання за допомогою стисненого повітря, оскільки це може призвести до вторинного пиловиділення.

Окрім теплових і пилових виділень, а також теплоізлучення, в електросталеплавильних цехах виникають такі небезпеки, як шум і вібрація, що з'являються під час роботи обладнання.

Технологічний процес супроводжується постійним збільшенням потужності та продуктивності обладнання, що досягається шляхом підвищення швидкостей роботи машин. Це, в свою чергу, призводить до зростання динамічних зусиль, вібрацій і шуму. Надмірний шум обмежує можливість збільшення потужності обладнання, ускладнює організацію виробничих процесів і негативно впливає на ефективність праці.

Шум, на відміну від звуку, є випадковим поєднанням різних звукових частот і рівнів інтенсивності, що має шкідливий вплив на людину. Він викликає втому, заважає концентрації уваги та може спричинити дратівливість. Тривала дія шуму може призвести до зниження слуху, а іноді навіть до глухоти. Шум також негативно впливає на серцево-судинну та центральну нервову системи.

На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях і на території підприємств максимально допустимий рівень шуму встановлено на рівні 80 дБА, при якому ймовірність пошкодження слуху є майже нульовою на будь-якому етапі роботи.

Шум середньої інтенсивності виникає в результаті руху кранів, залізничних складів як в цехах, так і поза ними, а також при переміщенні і перегрузці матеріалів. Іншим джерелом шуму в електросталеплавильних цехах є електродугова піч, що видає шум через електричні розряди на початкових етапах плавлення шихти. Цей шум зазвичай має високу і середню частоту коливань, інтенсивність досягає 100 дБА. Монотонний гул можна почути при продувці печі киснем.

Особливий інтерес з точки зору гігієни викликає характер вібрації в кабінах металургійних кранів. Вібрація в кабінах має як гармонічний, так і поштовхоподібний характер. Частота гармонічних коливань коливається від 2 до 10 Гц, з амплітудою від 0,15 до 3,5 мм. У прискореннях, які спостерігаються, іноді досягається 80-100 см/с<sup>2</sup>, а при підйомі важкого вантажу прискорення можуть бути в 5-6 разів більшими.

Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів та карта умов праці представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Оцінка факторів виробничого процесу  
Посада: оператор електродугової печі

| № п/п | Фактори виробничого середовища та трудового процесу                                                                                                                               | Нормативне значення                     | Фактичне значення        | 3 клас: шкідливі та небезпечні фактори та характер роботи |               |              | Тривалість дії фактору за зміну, % |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------|--------------|------------------------------------|
|       |                                                                                                                                                                                   |                                         |                          | 1 ступінь                                                 | 2 ступінь     | 3 ступінь    |                                    |
| 1     | 2                                                                                                                                                                                 | 3                                       | 4                        | 5                                                         | 6             | 7            | 8                                  |
| 1     | Шкідливі хімічні речовини, мг\м <sup>3</sup> :<br><b>1-й клас небезпеки</b><br>Ангідрид хромовий<br>Марганцю оксид                                                                | 0,01<br>0,05                            | 0,07<br>0,39             |                                                           |               | 7 р<br>7,8 р | 90                                 |
|       | <b>2-й клас небезпеки</b><br>Сірководень                                                                                                                                          | 10                                      | 10,8                     | 1,08 р                                                    |               |              | 90                                 |
|       | <b>3-й клас небезпеки</b><br>Азоту діоксид<br>Вуглецю оксид                                                                                                                       | 2,0<br>20,0                             | 0,55<br>5,0              | 0,27<br>0,25                                              |               |              | 90                                 |
| 2     | Пил переважно фіброгенної дії, мг\м <sup>3</sup>                                                                                                                                  | 4                                       | 18,4                     |                                                           |               | 4,6 р        | 90                                 |
| 3     | Шум, дБА                                                                                                                                                                          | 80                                      | 96                       |                                                           |               | 26           | 90                                 |
| 4     | Вібрація (локальна),дБ                                                                                                                                                            | 107                                     | 116                      |                                                           |               | 9            | 90                                 |
| 5     | Мікроклімат в приміщенні (теплий період):<br>- температура, °С;<br>- швидкість руху повітря, м\с;<br>- відносна вологість, %;<br>- інфрачервоне випромінювання, Вт\м <sup>2</sup> | 27<br>0,7<br>50<br>140                  | 34<br>0,71<br>39<br>1950 | 0,01                                                      | 1,1 р<br>1950 | 7            |                                    |
| 6     | Важкість та напруженість праці                                                                                                                                                    | Категорія робіт – важка, III, напружена |                          |                                                           |               |              |                                    |

### 3.2 Виробнича санітарія та вентиляція

Чисте повітря з відповідним хімічним складом, оптимальною температурою, вологістю та швидкістю руху є надзвичайно важливим для нормальної життєдіяльності людини. Для забезпечення цих параметрів відповідно до нормативів у електросталеплавильному цеху проводяться заходи з опалення та вентиляції.

Опалення виробничих приміщень здійснюється комбіновано, поєднуючи систему обігріву з припливною вентиляцією. Повітря подається через великі установки, розташовані групами. У зонах, де це дозволяє створити потрібні температурні умови та рівень руху повітря (0,15-0,3 м/с), використовується струменевий спосіб подачі повітря. У приміщеннях з низькими стелями та значною кількістю обладнання повітря розподіляється через насадки безпосередньо у робочу зону.

Вентиляція в електросталеплавильному цеху забезпечується великими централізованими системами. У приміщення подається повітря десятима припливними установками загальною продуктивністю 600 000 м<sup>3</sup>/год. Для покращення мікроклімату на робочих місцях передбачено чотири душуючі установки (за кількістю електродугових печей), які оснащені стандартними кондиціонерами. Кожна з них має продуктивність 20 000 м<sup>3</sup>/год, а повітря подається через перфоровані розподільники на висоті приблизно 3 метри від підлоги.

Раціональне освітлення також відіграє ключову роль у створенні комфортних умов праці. Невідповідне освітлення ускладнює виконання завдань, знижує продуктивність та може призводити до травм або захворювань очей. Освітлення в цехах забезпечується як природним, так і штучним світлом.

Природне освітлення надходить через вікна у стінах (бічне освітлення), через верхні світлові прорізи чи ліхтарі (верхнє освітлення) або ж комбінованим способом.

Рівень аварійного освітлення становить 0,3 лк, а коефіцієнт запасу дорівнює 1,7.

### **3.3 Інженерна розробка заходів захисту робітників від шкідливих факторів**

Тривалий вплив шуму або вібрації на організм людини може спричинити погіршення зору та слуху, підвищення артеріального тиску, порушення роботи нервової, серцево-судинної систем та опорно-рухового апарату. Такі функціональні зміни організму, а також тяжкі форми вібраційної хвороби можуть призводити до часткової або повної втрати працездатності.

Виробничий шум – це хаотичне поєднання звуків, які часто викликають дискомфорт, особливо при високочастотному шумі.

Гранично допустимий рівень звукового тиску для робочих місць з ультразвуковим обладнанням залежить від частоти: для середньої геометричної частоти 1/3 октавних смуг 12 500 Гц він становить 75 дБ, для частоти 16 000 Гц – 85 дБ, а при частотах 20 000 Гц і вище – 110 дБ.

Запобігання впливу ультразвуку на працівників включає ізоляцію обладнання від джерел шуму за допомогою звукоізоляційних матеріалів або його розміщення у герметичних камерах. Крім того, застосовуються інструменти та пристрої з еластичними ручками, а також засоби індивідуального захисту.

Заходи для зменшення шуму передбачають:

- заміну виробничих процесів, які створюють високий рівень шуму, на менш гучні аналоги;
- модернізацію обладнання, наприклад, заміну металевих деталей на пластикові або текстолітові;
- встановлення спеціальних фундаментів, незалежних від будівельних конструкцій, з акустичними швами;
- використання амортизаторів та ізолюючих прокладок;
- застосування звукоізоляційних кожухів для окремих шумних пристроїв або повну ізоляцію обладнання від робочих приміщень;
- використання засобів індивідуального захисту для працівників.

Розрахунок звукоізолюючої kabіни. Розробимо звукоізоляційну kabіну для оператора електросталеплавильного обладнання з розмірами в плані 3 x 4 м та висотою 2,5 м. Kabіна буде розташована на відстані 6 м від печі. У пічному прольоті висотою  $H = 20$  м, з інтервалом у 30 м одна від одної, розміщені чотири печі.

Параметр  $\gamma$  в октавних частотних смугах обчислюємо за формулою:

$$\gamma = q \cdot H,$$

де  $q$  – показник затухання звуку в повітрі,  $q = 1,4 \cdot 10^{-4}$  1/м (за середньо-геометричної частоти октавних смуг, що дорівнює 125 Гц) [24];

$H$  – висота пічного прольоту,  $H = 20$  м.

$$\gamma = 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot 20 = 2,8 \cdot 10^{-3}$$

Визначивши за схемою, наведеною на рис. 3.1, відстані в плані між розрахунковою точкою та акустичними центрами, обчислюємо параметри за формулою  $x_j = r_j / H_j = r_j / H = r_j / H$  для двох найближчих до розрахункової точки печей:

$$x_1 = 13/20 = 0,65$$

$$x_2 = 17/20 = 0,85$$

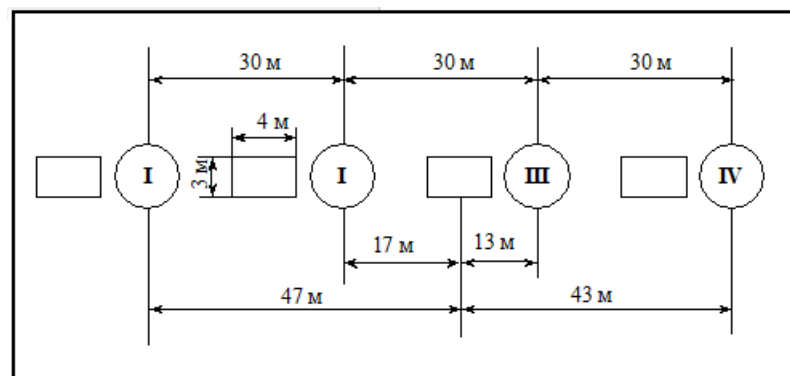


Рисунок 3.1 – Схема розташування печей 1-4 та kabіни керування в електросталеплавильному цеху

Шум від інших печей можна не враховувати в розрахунках, оскільки при відстанях від акустичних центрів печей до розрахункової точки, що перевищують дві висоти печного прольоту, їхній внесок у загальний рівень шуму не перевищує 1 дБА.

Далі визначаємо за графіком, поданим на рис 6 (б) [24], октавні значення функцій  $\Phi_B(x_1)$  та  $\Phi_B(x_2)$  в залежності від  $\gamma$ , де:

$$\Phi_B(x_1) = 0,42 \text{ (при } x_1 = 0,65);$$

$$\Phi_B(x_2) = 0,36 \text{ (при } x_1 = 0,85);$$

Обчислюємо октавні рівні звукового тиску  $L$  в розрахунковій точці всередині групи обладнання за формулою:

$$L = L_p + 10 \lg [\sum_{j=1}^n \Phi_{\epsilon}(x_j) + m \cdot \Phi_{\epsilon}(\bar{x}_m)] - 20 \lg H,$$

де  $L_p$  – октавний рівень звукової потужності джерела шуму,  $L_p = 123,6$  дБА;

$H$  – висота виробничого приміщення, м;

Приймаємо  $m = 0$ , так як печі розташовані в один ряд.

$$L = 123,6 + 10 \lg (0,42 + 0,36) - 20 \lg 20 = 96,6 \text{ дБА}$$

Тоді перевищення рівня шуму становить:  $L = 96,6 - 80 = 16,6$  дБА.

Кабіна спостереження має вікно площею  $2,5 \text{ м}^2$  та двері площею  $2 \text{ м}^2$ . Площа глухої частини стін становить  $30,5 \text{ м}^2$ , площа даху —  $12 \text{ м}^2$ . Необхідну звукоізоляцію конструкцій розраховуємо за формулою окремо для чотирьох різних елементів: вікна, двері, стіни, стелі.

$$R_T = L - L_{\partial} - 10 \lg B + 10 \lg S + 10 \lg n,$$

де  $R_T$  – необхідна звукоізоляція, дБА;

$L$  – рівень звукового тиску в цій октавній смузі частот, дБА;

$L_d$  – допустимий октавний рівень звукового тиску., дБА;

$V$  – постійна ізолюваного приміщення,  $m^2$ ;

$S$  – загальна площа однотипних огорожувальних конструкцій.,  $m^2$ ;

$n$  – число різнотипових огорожувальних конструкцій,  $n = 4$ ;

Постійна ізолюваного приміщення визначається за формулою:

$$V = k \cdot \mu \cdot V,$$

де  $k$  – для приміщень з звукопоглинальною облицюванням стелі та частини стін.,  $k = 0,6$ ;

$\mu$  - частотний коефіцієнт,  $\mu = 0,92$ ;

$V$  – об'єм приміщення,  $m^3$ .

$$V = 0,6 \cdot 0,92 \cdot 30 = 16,5 \text{ м}^2$$

$$R_T(\text{вікна}) = 96,6 - 80 - 10 \lg 16,5 + 10 \lg 2,5 + 10 \lg 4 = 11,4 \text{ дБА}$$

$$R_T(\text{двері}) = 96,6 - 80 - 10 \lg 16,5 + 10 \lg 2 + 10 \lg 4 = 10,4 \text{ дБА}$$

$$R_T(\text{стіни}) = 96,6 - 80 - 10 \lg 16,5 + 10 \lg 30,5 + 10 \lg 4 = 22,2 \text{ дБА}$$

$$R_T(\text{даху}) = 96,6 - 80 - 10 \lg 16,5 + 10 \lg 12 + 10 \lg 4 = 18,2 \text{ дБА}$$

### 3.4 Електробезпека

У зв'язку з великою кількістю металевих конструкцій, а також виділенням пилу, газів та підвищеними температурами, до обладнання та експлуатації електроустановок на електросталеплавильних підприємствах пред'являються підвищені вимоги.

Забезпечення електричною енергією всього цеху здійснюється через цехову підстанцію, яка відповідає за подачу, перетворення та розподіл електрич-

ної енергії. Всі підключення в підстанції виконуються з використанням висковольтного обладнання.

Розміщення та монтаж електрообладнання на підстанції мають бути організовані так, щоб обслуговування було безпечним. Однією з важливих умов є обмеження доступу до підстанції для сторонніх осіб.

Все обладнання високої напруги повинно бути огорожене постійними сітками висотою не менше 1,7 м. Для попередження неправильних дій під час обслуговування та запобігання потраплянню персоналу за огорожі при включеному обладнанні передбачена система блокувань та сигналізацій.

Передача та розподіл електроенергії в середині цеху здійснюються через кабелі, проводи або шини. Кабелі укладаються в каналах, тунелях або трубах, що відкриті вздовж стін, на переходах або під кранами. Місця, де токопроводи можуть бути доступні, мають бути огорожені сітками.

Електричне обладнання електросталеплавильного цеху включає синхронні та асинхронні електродвигуни змінного струму, інші апарати з напругою понад 1000 В, а також апарати управління, електрообладнання кранів та внутрішньоцехові електричні мережі з напругою до 1000 В. Усі токонесучі частини обладнання повинні бути закриті, щоб уникнути випадкових дотиків. Оскільки в цеху виділяється значна кількість пилу, всі закриті електродвигуни мають герметичні кришки, що щільно прилегають до корпусу.

Для включення та відключення електроустановок використовуються безконтактні схеми управління, які дозволяють знімати напругу з електричних машин і пристроїв без розмикання контактів у цеху.

Крани електричні оснащені складним обладнанням, яке розміщується на великих висотах на металевих фермах, що ускладнює обслуговування. Для захисту від механічних пошкоджень кабелі прокладаються в сталевих трубах, а пуско-регулююче обладнання розміщується в місцях, які відокремлені від робочої зони. Для забезпечення безпеки, крани мають систему автоматичного відключення проводів при виході оператора з кабіни.

Усі металеві корпуси електрообладнання кранів повинні бути заземлені. Проведення кабелів в цеху здійснюється в каналах, що мають знімні покриття з вогнестійких матеріалів.

Важливим є захист від переносу напруги на металеві частини, що не є провідними. Для захисту від електричних ударів всі неелектричні частини обладнання цеху повинні бути заземлені.

Електросталеплавильний цех відноситься до особливо небезпечних приміщень через велике використання електрообладнання, підвищену температуру повітря, значну кількість пилу, що проводить струм, та наявність постійної небезпеки одночасного контакту з металоконструкціями та частинами електроустановок.

Основні види травмування в цеху пов'язані з місцевими опіками, що виникають при миттєвих спалахах електричної дуги, особливо серед технічного персоналу, що порушує правила електробезпеки. Це часто трапляється при роботі з непокращеними електричними установками, заміні ламп або ремонті кранів.

Захист від випадкових пошкоджень ізоляції електрообладнання включає заходи, що запобігають появі напруги на металевих частинах обладнання. Для цього використовуються різноманітні системи ізоляції та огороження, а також автоматичні вимикачі та сигналізація.

Захист від електричних уражень може бути досягнутий шляхом застосування захисного заземлення, яке є найбільш поширеним та ефективним методом захисту в таких умовах.

### **3.5 Пожежна безпека**

Всі виробничі та складські приміщення класифікуються на шість категорій в залежності від кількості та небезпеки вибуху і пожежі, що пов'язана з ма-

теріалами, які знаходяться в цих приміщеннях. Категорії А і Б відносяться до вибухонебезпечних, а В, Г і Д – до пожежонебезпечних.

До категорії А належать виробництва, де використовуються: горючі гази з нижчим концентраційним межем вибуховості (займистості) 10% або менше об'єму повітря, рідини з температурою спалаху парів до 280°C включно, якщо вони можуть утворювати вибухонебезпечні суміші в об'ємі, що перевищує 5% повітря в приміщенні, а також речовини, що здатні вибухати чи горіти при взаємодії з водою, киснем чи іншими речовинами.

До категорії Б відносяться виробництва, в яких використовуються гази з нижньою межею вибуховості понад 10% об'єму повітря, рідини з температурою спалаху парів від 28 до 61°C включно, рідини, що нагріваються до температури спалаху парів у процесі виробництва, а також горючі пил і волокна з нижньою межею вибуховості до 65 г/м<sup>3</sup>, якщо ці речовини можуть утворювати вибухонебезпечні суміші, що перевищують 5% об'єму повітря в приміщенні.

До категорії В належать виробництва, де використовуються рідини з температурою спалаху парів вище 61°C, горючі пил та волокна з нижньою межею вибуховості понад 65 г/м<sup>3</sup>, тверді горючі речовини і матеріали, а також речовини, що можуть лише горіти при контакті з водою, киснем або іншими речовинами.

До категорії Г відносяться виробництва, де використовуються негорючі матеріали, що перебувають у гарячому, розплавленому чи розпеченому стані, і процес їх обробки супроводжується виділенням тепла, іскор та полум'я. Сюди також відносяться тверді речовини, рідини і гази, що спалюються або утилізуються як паливо.

До категорії Д належать виробництва, де використовуються негорючі матеріали в холодному стані.

За рівнем пожежної небезпеки електросталеплавильні цехи належать до категорії Г. В таких виробництвах за нормативами дозволяється не застосовувати захист металоконструкцій від впливу рідкого металу під час аварій чи ви-

кидів. В електросталеплавильних цехах вибухи і викиди рідкого металу можуть статися через завантаження вологого металобрухту або введення вологих розкислювачів і легуючих матеріалів в рідкий метал. Чим більше вологи в металобрухті, тим більше буде викид розплавленого металу. Тому навіть незначний вміст вологи в металобрухті може призвести до серйозних наслідків.

При проектуванні сталеплавильних цехів важливо враховувати, що деякі виробничі зони можуть бути вибухонебезпечними. Наприклад, газоочистка технологічних газів в електросталеплавильних цехах розміщена в приміщеннях, що належать до категорії Б за рівнем пожежної небезпеки. Тому проектування повинно включати всі необхідні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки для вибухонебезпечних виробництв.

У газовому господарстві чорної металургії вибухонебезпечними є виробництва, розташовані в закритих приміщеннях, де встановлене обладнання, що працює під тиском газу. Вибухонебезпечні суміші в таких приміщеннях можуть утворитися лише в разі несправностей або аварій. Вибухонебезпечні виробництва повинні бути розміщені в окремих будівлях або прибудовах до цехів. Прибудови мають бути відокремлені від основної будівлі цеху проти-пожежною стіною. Такі виробництва зазвичай розташовуються в одноповерхових будівлях.

Усі будівлі з вибухонебезпечними виробництвами та зовнішні установки повинні бути оснащені системою блискавкозахисту.

В електросталеплавильному виробництві найбільше споживання кисню, який сам по собі не горючий, але в його середовищі можуть загорятися багато негорючих матеріалів.

Для виробництв, де можливе підвищення концентрації кисню понад 23%, повинна бути передбачена примусова вентиляція та автоматичні газоаналізатори кисню. У разі перевищення допустимої концентрації кисню має спрацьовувати сигналізація. Також для запобігання загоряння кисневих тру-

бопроводів необхідно автоматично подавати азот або інший інертний газ у трубопровід під час аварії.

Усі електричні кабелі та гідропроводи біля місць розливу металу повинні бути захищені від механічних пошкоджень, а також від впливу теплових і металевих бризок.

Електросталеплавильний цех обладнаний різним електрообладнанням, для гасіння пожеж на таких об'єктах використовують порошкові вогнегасники, оскільки вони не проводять електричний струм і не викликають корозії. Труднощі при гасінні пожеж у кабельних тунелях зумовлені складністю їх конструкції, тому ці тунелі оснащують системами порошкового гасіння.

## РОЗДІЛ 4

### ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Для організаційної структури управління вибираємо лінійно-функціональну схему управління цехом. Виробничий майстер газоочисної установки (ГОУ) є адміністративно-технічним керівником технологів свого ділянки, підпорядковується начальнику зміни і самостійно вирішує всі питання, що виникають у процесі виробництва. Майстер ГОУ забезпечує безперебійну та ефективну роботу пило-газоочисної установки цеху, контролює дотримання технологічних параметрів та процесів, виявляє й усуває причини порушень, забезпечує повне завантаження та правильне використання обладнання, утримує його в справному стані, а також стежить за підтриманням порядку й чистоти на робочих місцях і на прилеглий території.

Оператор ГОУ здійснює моніторинг технологічного процесу очищення газів, контролює показання засобів вимірювання та регулювання цього процесу.

#### **4.1 Розрахунок капітальних вкладень**

Величина необхідних капітальних вкладень в основні фонди та оборотні засоби визначається методом прямого розрахунку окремих елементів вкладень.

В загальному вигляді капітальні вкладення включають такі статті витрат:

- будівництво будівель та споруд;
- технологічне та енергетичне обладнання;
- підйомно-транспортне обладнання;
- системи контролю та автоматики;
- інші капітальні вкладення.

Капітальні вкладення в базовому варіанті приймаються за заводськими даними. Капітальні вкладення за проектним варіантом визначаються з урахуванням технічних рішень щодо реконструкції системи газоочистки.

Всі дані щодо капітальних вкладень наведені в таблиці 5.1.

1. Вартість демонтажу обладнання становить 12% від вартості основного устаткування:

За базовим варіантом:

$$0,12 \cdot 2402420 = 288290 \text{ грн.}$$

За проектним варіантом:

$$0,12 \cdot 2112420 = 253490 \text{ грн.}$$

2. Вартість установки та монтажу нового обладнання складає 30% від вартості основного устаткування:

За базовим варіантом:

$$0,3 \cdot 2402420 = 720730 \text{ грн.}$$

За проектним варіантом:

$$0,3 \cdot 2112420 = 633730 \text{ грн.}$$

3. Вартість монтажу комунікацій становить 15% від вартості основного обладнання:

За базовим варіантом:

$$0,15 \cdot 2402420 = 360360 \text{ грн.}$$

За проєктним варіантом:

$$0,15 \cdot 2112420 = 316860 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.1 - Капітальні вкладення в впровадження газоочисного обладнання

| №<br>п/п                     | Показники                                                                                                                                                                      | Базовий варіант                  |                                                     |                                                                  | Проектний варіант               |                                                     |                                                                  |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
|                              |                                                                                                                                                                                | К-<br>ть,<br>шт.                 | Ціна,<br>грн                                        | Сума,<br>грн                                                     | К-<br>ть,<br>шт.                | Ціна,<br>грн                                        | Сума,<br>грн                                                     |
| 1                            | Вартість устаткування:<br>- скруббер Вентурі<br>- газоходи (всього)<br>- краплєвловлювач<br>- насос<br>- димотяг<br>- КВП<br>- Устаткування для<br>шламового госпо-<br>дарства | 12<br>-<br>2<br>4<br>1<br>1<br>- | 60000<br>-<br>56000<br>93830<br>42000<br>65000<br>- | 720000<br>479540<br>112000<br>375340<br>42000<br>65000<br>608560 | 6<br>-<br>2<br>4<br>1<br>1<br>- | 60000<br>-<br>56000<br>93830<br>42000<br>65000<br>- | 360000<br>549540<br>112000<br>375340<br>42000<br>65000<br>608560 |
| Всього:                      |                                                                                                                                                                                | 2402420                          |                                                     |                                                                  | 2112420                         |                                                     |                                                                  |
| 2                            | Вартість монтажу устаткування                                                                                                                                                  | -                                | -                                                   | 720730                                                           | -                               | -                                                   | 633730                                                           |
| 3                            | Вартість монтажу комунікацій                                                                                                                                                   | -                                | -                                                   | 360360                                                           | -                               | -                                                   | 316860                                                           |
| 4                            | Витрати на будівництво                                                                                                                                                         | -                                | -                                                   | 60500                                                            | -                               | -                                                   | 102400                                                           |
| 5                            | Вартість демонтажу                                                                                                                                                             | -                                | -                                                   | 288290                                                           | -                               | -                                                   | 253490                                                           |
| ВСЬОГО капітальних вкладень: |                                                                                                                                                                                | 3832300                          |                                                     |                                                                  | 3418900                         |                                                     |                                                                  |

#### 4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат та економії від утилізації пилю

Основне завдання планування витрат на очищення газів полягає в виявленні та використанні резервів для зниження витрат. Це включає оптимізацію процесів очищення, підвищення ефективності обладнання, а також застосу-

вання новітніх технологій для зниження енергоспоживання та покращення якості очищення газів. Важливо також забезпечити економічно вигідний вибір методів очищення з урахуванням специфічних умов виробництва та вимог до екологічних стандартів.

Річні експлуатаційні витрати на очистку газу визначаються за наступною формулою:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i$$

де  $\sum_{i=1}^n C_i$  – сума витрат за статтями калькуляції, грн.

Сума витрат за статтями калькуляції визначається за наступною формулою:

$$\sum_{i=1}^n C_i = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7,$$

де  $C_1$  – витрати на основні та допоміжні матеріали, грн;

$C_2$  – витрати на електроенергію, яка витрачається на виробничі потреби, грн;

$C_3$  – амортизаційні відрахування від основних фондів та ремонтний фонд, грн;

$C_4$  – основна та додаткова заробітна плата робітників, операторів газоочистки, грн;

$C_5$  – нарахування на зарплату, грн;

$C_6$  – витрати на поточний ремонт та утримання основних засобів, грн;

$C_7$  – загальновиробничі потреби, грн.

1. Розраховуємо суму витрат на основні матеріали:

$$C_1 = m_{\text{уд.}} \cdot Ц, \text{ грн.},$$

де  $m_{\text{уд.}}$  – питомі витрати матеріалів на 1 000 м<sup>3</sup> газу;

Ц – ціна матеріалів, грн.

Оцінемо витрати за базовим варіантом – вода технічна 580599 грн.;

Витрати за проєктним варіантом вода технічна 597 429

2. Витрати на електроенергію знаходяться за наступною формулою, грн:

$$C_2 = \frac{Ц \cdot N \cdot T_{\text{еф}}}{\eta_1 \cdot \eta_2}$$

де Ц – вартість електроенергії, грн/кВт·год;

N – потужність електродвигуна для вентилятору, кВт, обслуговуючому транспортування газу по тракту, а також потужність насосів для транспортування шламової води.

$T_{\text{еф}}$  – число годин роботи електродвигуна на рік: 8280 год (базовий варіант); 8520 год (проєктний варіант).

$\eta_1$  – коефіцієнт корисної дії для димососа приймаємо 0,92 – для великих двигунів.;

$\eta_2$  – коефіцієнт корисної дії для насосів, 0,85.

По базовому варіанту:  $C_2 = 8\,192\,750$  грн.

По проєктному варіанту:  $C_2 = 7\,835\,345$  грн.

3. Амортизаційні відрахування визначаються множенням вартості основних фондів на відповідні норми амортизаційних відрахувань. Для узагальнених розрахунків дозволяються середні норми амортизаційних відрахувань:

- для будівель та споруд – 5%;
- для обладнання – 15%;
- для контрольно- вимірювальних приладів – 25%.

За базовим варіантом: (дані з табл. 4.1)

$$C_3 = (2402420 - 65000) \cdot 0,15 + 60500 \cdot 0,05 + 65000 \cdot 0,25 = 369880 \text{ грн.}$$

За проєктним варіантом:

$$C_3 = (2112420 - 65000) \cdot 0,15 + 102400 \cdot 0,05 + 65000 \cdot 0,25 = 328480 \text{ грн.}$$

4. Витрати на заробітну платню (за базовим та проєктним варіантом співпадають) на 1000 м<sup>3</sup>

За базовим варіантом:

основна: 600000 грн

додаткова: 356000 грн

5. Витрати на поточний ремонт та на утримання основних фондів приймаються рівними 15 % від амортизаційних відрахунків:

За базовим варіантом:

$$C_6 = 0,15 \cdot 369860 = 55480 \text{ грн.}$$

За проєктним варіантом:

$$C_6 = 0,15 \cdot 32848 = 49270 \text{ грн.}$$

6. Відрахування на загально виробничі витрати включають витрати на різного роду послуги і становлять 25% від суми витрат на оплату праці робітників та амортизацію.

Ці відрахування охоплюють різноманітні адміністративні та обслуговуючі витрати, які є необхідними для підтримки ефективного функціонування підприємства.

За базовим варіантом:

$$C_7 = (600360 + 369890 + 55480) \cdot 0,25 = 256430 \text{ грн.}$$

За проєктним варіантом:

$$C_7 = (600360 + 328480 + 49270) \cdot 0,25 = 244530 \text{ грн.}$$

7. Економія від утилізації продуктів, що затримуються в процесі очищення газу, обчислюється на основі обсягу утилізованих продуктів за рік і їхніх роздрібних цін у гривнях. Це дозволяє оцінити потенційні фінансові вигоди від переробки та повторного використання матеріалів, що утворюються в процесі очищення, і забезпечити зниження витрат на виробництво та утилізацію відходів:

$$E_{y.} = Q_{y.} \cdot Ц,$$

де  $Q_{y.}$  – кількість продукту, який утилізується, т;

$Ц$  – відпускна ціна на реалізацію продукції, грн/т.

Отже, економія від утилізації пилу складає:

За базовим варіантом – шлам використовується як сировина в агломераційному виробництві, з вологістю 9% у кількості 11,2 кг на тонну агломерату. Цей матеріал є важливим компонентом для виробництва агломерату, оскільки допомагає покращити якість готової продукції, знижуючи витрати на основні матеріали. Використання шламу сприяє не тільки зменшенню витрат, а й зниженню впливу на навколишнє середовище, оскільки дозволяє повторно використовувати відходи виробництва.

$$E_{y.} = 637200 \text{ грн.}$$

Для проєктного варіанту:

$$E_{y.} = 667500 \text{ грн.}$$

Тоді загальні експлуатаційні витрати становлять (з урахування економії від утилізації пилу):

За базовим варіантом:  $C^6 = 9\,773\,939$  грн

За проєктним варіантом  $C^п = 8\,803\,554$  грн

#### **4.3 Розрахунок економічного ефекту від впровадження газоочисної системи**

Економічне обґрунтування доцільності обраних технічних та організаційних рішень, які використовуються в дипломному проєкті для управління та утилізації пилу і газів, полягає у розрахунках та складанні техніко-економічних показників для різних варіантів.

Витрати на одиницю продукції враховують загальну суму собівартості та нормованого прибутку, гривень. Цей розрахунок дозволяє оцінити ефективність обраних рішень щодо зниження впливу на навколишнє середовище та оптимізації виробничих витрат. Визначення таких показників є необхідним для оцінки фінансової доцільності інвестицій у технології очищення та утилізації газів і пилу, що в свою чергу може забезпечити скорочення витрат та збільшення доходів підприємства:

$$З = C + E_{\text{н.}} \cdot K,$$

де  $C$  – повна собівартість  $1000 \text{ м}^3$  газів, що очищаються, грн;

$E_{\text{н.}}$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, грн/рік/грн;

$K$  – питомі капітальні вкладення в одиницю виробничих фондів, грн.

Приймаємо нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень рівним  $E_{\text{н.}} = 0,15 \text{ грн./год /грн.}$

Тоді, за базовим варіантом:

$$З = (9\,773\,939 / (828 \cdot 10^6) + 0,15 \cdot 3832300 / (826 \cdot 10^6)) \cdot 1000 = 12,5 \text{ грн.}$$

За проєктним варіантом:

$$З = (8\,803\,554 / (852 \cdot 10^6) + 0,15 \cdot 3418900 / (852 \cdot 10^6)) \cdot 1000 = 10,9 \text{ грн.}$$

Строк окупності капітальних вкладень на проведення заходів, роки:

$$T_{\text{ор.}} = \frac{K_2}{(C_1 - C_2) \cdot \Pi'}$$

Розраховуємо для проєктного варіанту:

$$T_{\text{ок.}} = \frac{3832300}{(12,5 - 10,9) \cdot 0,852 \cdot 10^6} = 2,81 \text{ роки} < T_{\text{ок.норм.}} = 6,66 \text{ років}$$

Для характеристики ефективності капіталовкладень у нову техніку визначаємо коефіцієнт ефективності:

$$E = \frac{1}{T_{\text{ок.}}} = \frac{1}{2,81} = 0,36, \text{ т.е. } > E_{\text{н.}} = 0,15$$

Основні техніко-економічні показники установки наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Основні техніко-економічні показники впровадження системи газоочистки в електросталеплавильному цеху

| Показники                                             | Одиниці вимірювання                  | Базовий варіант | Проєктний варіант |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|-------------------|
| Річна продуктивна потужність газоочисної установки    | млн. м <sup>3</sup>                  | 828             | 852               |
| Вміст пилу в газі:<br>- до очистки<br>- після очистки | г/м <sup>3</sup><br>г/м <sup>3</sup> | 3<br>0,15       | 3<br>0,045        |
| Кількість вловленого продукту                         | т                                    | 2360            | 2472              |

|                                          |              |         |          |
|------------------------------------------|--------------|---------|----------|
| Капітальні вкладення                     | тис. грн.    | 3832,3  | 3418,9   |
| Експлуатаційні вкладення                 | тис. грн     | 9 773,9 | 8 803, 6 |
| Економічна ефективність капіталовкладень | грн. год/грн | -       | 0,36     |
| Строк окупності капіталовкладень         | років        | -       | 2,81     |

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи були зроблені наступні висновки:

1. Найбільш напруженим етапом плавлення сталі в електродуговій печі є продування розплавленого металу киснем, під час якого відбуваються найінтенсивніші пило- та газовиділення.

2. У цеху технологічні гази з печі відводяться через четвертий отвір у склепінні печі без розриву газового потоку, проте з невеликим підсмоктуванням повітря на початковій ділянці стаціонарного газопроводу. Це забезпечує догоряння оксиду вуглецю. Перед газоочищенням у газовий потік додатково підсмоктується значний об'єм повітря ззовні, що забезпечує охолодження газів до необхідної температури та, відповідно, зниження концентрації шкідливих речовин, присутніх у газах.

3. З метою більш ефективної локалізації газовиділень з електродугової печі прийнято рішення встановити над піччю укриття з повітряними завісами. Воно являє собою витяжний зонт, оснащений пристроями, які забезпечують укриття печі по периметру зонта повітряними завісами. Така конструкція не потребує жорсткого огороження та забезпечує достатню доступність під час обслуговування печі.

4. З метою підвищення ефективності роботи високонапірного скрубера Вентурі прийнято рішення замінити блок із 12 труб із регульованою горловиною на блок із 6 труб із горловиною діаметром 0,17 м. Це дозволить зменшити сумарну площу перерізу горловин труб, у результаті чого швидкість газів у горловинах труб зросте зі 136 м/с до 145 м/с, а отже, підвищиться ефективність пиловловлювання.

5. Розглянуто питання утилізації уловленого пилу. Уловлений продукт у вигляді кеку піддається огрудкуванню, а далі відновлювальному випалу. Після цього його можна утилізувати в електросталеплавильне виробництво.

6. У економічній частині проєкту розраховані техніко-економічні показники за базовим і проєктним варіантом. Термін окупності капіталовкладень становить 2,81 року.

7. В розділі охорона праці та техногенна безпека проаналізовані шкідливі та небезпечні фактори електросталеплавильного виробництва. Запроєктвана звукоізолюваний пост керування електродуговими печами.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сталеплавильне виробництво в Україні: сучасний стан та перспективи (огляд). URL: <https://www.metalsandcasting.com/index.php/mcu/article/view/26> (дата звернення 20.10.2024).
2. Виробництво виливків з чорних металів. Частина «Виробництво виливків зі сталі» для студентів напрямку 6.050402 «Ливарне виробництво»: конспект лекцій з дисципліни / А.П. Єременко. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2015. 51 с.
3. Шляхи розвитку «зеленої металургії». Частина 2. Технології виробництва сталі. URL: [https://metinvest-smc.com/ua/articles/sliaxi-rozvitku-zelenoyi-metalurgiyi-castina-2-texnologiyi-virobnictva-stali/?srsltid=AfmBOoo6C-O\\_OMjMUM0EnxdVjGd0i5ln7TeXrNWNFnW0IsX2cWkXvRBR](https://metinvest-smc.com/ua/articles/sliaxi-rozvitku-zelenoyi-metalurgiyi-castina-2-texnologiyi-virobnictva-stali/?srsltid=AfmBOoo6C-O_OMjMUM0EnxdVjGd0i5ln7TeXrNWNFnW0IsX2cWkXvRBR) (дата звернення 20.10.2024).
4. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посібник / А.М. Верховлюк, А.В. Нарівський, В.Г. Могилатенко / За ред. академіка НАН України В.Л. Найдека. Київ : Видавничий дім “Вініченко”, 2016. 224 с.
5. Плавлення металу та енергозбереження в різних типах плавильних печей. URL: <https://patriot-nrg.com/uk/metalurgia> (дата звернення 21.10.2025).
6. Виробництво сталі в електропечах. URL: <https://obrobka.pp.ua/2791-virobnictvo-stal-v-elektropechah.html> (дата звернення 22.10.2024).
7. Енергозбереження при виробництві чорних та кольорових металів. URL: [https://sbornik.college.ks.ua/downloads/sbornik4\\_9/pdf/18.pdf](https://sbornik.college.ks.ua/downloads/sbornik4_9/pdf/18.pdf) (дата звернення 23.10.2024).
8. Клименко В.М., Шиліна О.П., Осадчук А.Ю. Технологія конструкційних матеріалів. / Частина перша. Конструкційні матеріали: властивості, класифікація, виробництво : навчальний посібник. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. 97 с.

9. Буркинський Б., Савчук С. Інноваційний рівень виробництва та конкурентоспроможність чорної металургії України. *Економіка України*. 2006. №4. С.4-15.
10. Зниження технологічних викидів при виробництві сталі. URL: [http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/19975/1/25\\_03\\_24\\_%D0%A4%D0%B8%D0%BD%D0%BB%D1%8F%D0%BD%D0%B4%D0%B8%D1%8FMODERN-EDUCATION-ACCESSIBILITY-QUALITY-RECOGNITION-AND-PROBLEMS\\_.pdf](http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/19975/1/25_03_24_%D0%A4%D0%B8%D0%BD%D0%BB%D1%8F%D0%BD%D0%B4%D0%B8%D1%8FMODERN-EDUCATION-ACCESSIBILITY-QUALITY-RECOGNITION-AND-PROBLEMS_.pdf) (дата звернення: 25.10.2024).
11. Кожемякін Г.Б. Теоретичні основи та техніка захисту повітряного басейну: метод. вказівки до виконання курсового проекту та лабораторних робіт для студ. ЗДІА напряму 6.040106 "Екологія, охорона навкол. середовища та збалансоване природокористування". Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 115 с.
12. Павлюк Ю.С. Повітродувні та насосні станції: Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи для студ. ЗДІА спец. 7.090401 спец. "Екологіч. аудит та охорона навколиш. середовища" всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2007. 30 с.
13. Державні санітарні норми. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень/ М-во охорони здоров'я України. Головне сан.-епідем. упр, офіційне видання. Київ, 1999. 15 с.
14. Белоконь К.В., Манідіна Є.А. Методичні вказівки до виконання дипломних робіт (проектів) за освітньо-кваліфікаційним рівнем «Магістр» для студентів ЗДІА спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» денної та заочної форми навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 64 с.
15. Державні будівельні норми України. ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення / Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, офіційне видання. Київ, 2006. 81 с.
16. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці : +CD-ROM : підручник для внз : [затв. М-вом освіти і науки, молоді та спорту України]. Київ : Знання, 2010. 373 с.

17. Беренда Н.В., Троїцька О.О, Манідіна Є.А. Техніко-економічне обґрунтування проектних рішень: навч.-метод. посібник для студ. ЗДІА спец. 183 "Технології захисту навколишнього середовища", 263 "Цивільна безпека" всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 196 с.

18. Управління ризиками на робочому місці та системи управління безпекою і гігієною праці. Київ : ІЛО. Проект ЄС-МОП, 2018.

19. Чавун: пат. 97439 Україна. № 20101022; заявл. 19.08.2010; опубл. 10.02.2012; Бюл. №10. 2 с.