Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

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

Кваліфікаційна робота

на тему *«Проєкт системи очищення газів, що утворюються при виплавці ферохрому»*

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.183З

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

спеціалізації
_____
(шифр і назва)
Д.С. Петренко
_

Керівник *доцент, к.т.н. Манідіна Є.А.*

Рецензент *доцент, к.т.н. Бєлоконь К.В.*
(

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

_____*Петренко Дмитро Сергійович*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Проєкт системи очищення газів, що утворюються при виплавці ферохрому»_____
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 високоефективну систему очищення технологічних газових викидів печей типу РКО при виплавці ферохрому: виплавлення низьковуглецевого ферохрому*_____
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Вступ. Характеристика технології виплавки ферохрому в феросплавному виробництві. Характеристика газових викидів при виплавці ферохрому та їх способи очищення. Аналіз способів очищення газів від відкритих феросплавних печей типу РКО. Розрахунок рукавного фільтру з імпульсною регенерацією. Аеродинамічний розрахунок газового тракту. Вибір димотяга. Охорона праці та техногенна безпека. Економічна частина. Висновки. Перелік джерел посилань*_____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
презентаційний матеріал на 11 слайдах (на 11 сторінках): основні апарати газоочищення

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Розділ 1	*Манідіна Є.А., доцент*	
Розділ 2	*Манідіна Є.А., доцент*	
Розділ 3	*Манідіна Є.А., доцент*	
Розділ 4	*Манідіна Є.А., доцент*	

7. Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Вступ*		
2	*Характеристика виробництва феросплавів*		
3	*Спеціальна частина*		
4	*Охорона праці та техногенна безпека*		
5	*Економічна частина*		
6	*Презентація*		

Студент _____ *Дмитро ПЕТРЕНКО*

Керівник роботи _____ *Євгенія МАНІДІНА*

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *Андрій ВАГІН*

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 61 с., 8 табл., 15 рис., 13 джерел

ФЕРОХРОМ, РУДНО-ВІДНОВНІ ПЕЧІ, РУКАВНИЙ ФІЛЬТР, УТИЛІЗАЦІЯ ПИЛУ, СТРОК ОКУПНОСТІ

Об'єкт дослідження – виробництво ферохрому в відкритих рудно-термічних печах.

Предмет дослідження – система газоочищення відхідних газів відкритих рудно-термічних печей.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити високоефективну систему очищення технологічних газових викидів печей типу РКО при виплавці ферохрому.

Встановлено, що відкриті рудно-відновні печі змушують оксид вуглецю (CO) з'єднуватися з киснем повітря, що спричиняє його горіння з утворенням CO_2. Цей процес також призводить до розкладу ціанідних сполук, але інші шкідливі речовини потрапляють в атмосферу. Газ, що виходить з відкритих очищається через витяжні системи, такі як зонти, встановлені над піччю. Газові потоки на очищення мають запиленість 1-3 г/м³.

Для сухого очищення газів відкритих феросплавних печей обрано рукавний фільтр з імпульсною регенерацією типу ФРІР-4600. В якості фільтрувальної тканини обрано голкопробивний поліефірний фетр з каркасом полотняного плетіння з філаментних ниток.

Розраховано термін окупності запропонованого проєкту - Ток=3,06 років.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЦТВА ФЕРОСПЛАВІВ 8
1.1 Характеристика технології виплавки ферохрому в феросплавному виробництві 8
1.2 Основне обладнання для виплавки низьковуглецевого ферохрому 18
1.3 Характеристика газових викидів при виплавці ферохрому та їх способи очищення 21
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА 24
2.1 Аналіз способів очищення газів від відкритих феросплавних печей типу РКО 24
2.2 Розрахунок рукавного фільтру з імпульсною регенерацією 31
2.3 Аеродинамічний розрахунок газового тракту 36
2.4 Вибір димотяга 40
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 42
3.1 Характеристика шкідливих та небепзпечних факторів феросплавного виробництва 42
3.2 Електрообладнання та безпека 44
3.3 Засоби індивідуального захисту 45
3.4 Протипожежний захист 47
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 51
4.1 Капітальні вкладення в будівництво системи газоочищення 51
4.2 Експлуатаційні витрати 53
4.3 Техніко-економічні показники 55
ВИСНОВКИ 58
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 60

ВСТУП

Феросплавне виробництво є важливою галуззю металургії, що забезпечує основні потреби сталеливарної промисловості. Феросплави, зокрема феромарганець, феросиліцій, ферохром та феровanадій, використовуються для легування сталі, покращення її властивостей, таких як міцність, корозійна стійкість і жаростійкість.

Світовий розвиток феросплавного виробництва спрямований на задоволення зростаючого попиту на сталь, зокрема в будівництві, автомобілебудуванні, енергетиці та машинобудуванні. Лідерами у виробництві феросплавів є Китай, Індія, Південна Африка, Казахстан, а також Україна. Завдяки зростанню інфраструктурних проєктів і розвитку промисловості, попит на феросплави продовжує зростати.

Ферохром є одним із ключових феросплавів, необхідних для виробництва високоякісної сталі. Він використовується як розкислювач і легуючий елемент, що зменшує вміст сірки та фосфору в сталі, покращуючи її механічні властивості.

Актуальність виробництва феромарганцю зумовлена такими факторами:

1. Зростання попиту на спеціальні марки сталі, зокрема у високотехнологічних галузях.
2. Забезпечення стабільного легування сталі, що є основою для багатьох промислових процесів.
3. Можливість використання локальної сировини, такої як марганцеві руди, що сприяє економічному розвитку країн-видобувачів.

Вплив феросплавного виробництва на довкілля

Феросплавна промисловість має значний вплив на навколишнє середовище через високий рівень споживання енергії та викиди шкідливих речовин.

Основні екологічні проблеми включають такі аспекти:

- забруднення повітря – виробництво супроводжується викидами вуглекислого газу, пилу, оксидів азоту і сірки;

- викиди металевого пилу і шлаків – накопичення важких металів може забруднювати ґрунти та водні ресурси.

- високе споживання енергії – електропічні процеси потребують великих об’ємів електроенергії, що підвищує екологічне навантаження через викиди від енергетики.

Для зменшення впливу на довкілля впроваджуються сучасні технології, такі як системи очищення газів, замкнені цикли водокористування та повторне використання шлаків.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЦТВА ФЕРОСПЛАВІВ

1.1 Характеристика технології виплавки ферохрому в феросплавному виробництві

Хром є одним із найважливіших легувальних металів. Додавання хрому підвищує межу міцності та текучості сталі, водночас дещо знижуючи її відносне подовження. У вуглецевих сталях наявність хрому збільшує твердість і зносостійкість. У складі жаростійких сталей міститься 3-12% Cr, тоді як у нержавіючих і кислотостійких – понад 12% Cr. Хром широко використовують у виробництві складнолегованих сталей, що забезпечує високі експлуатаційні характеристики за заданих властивостей матеріалу. Останніми роками дедалі активніше застосовують леговані хромом чавуни. Чорна металургія споживає близько 60% видобутого хрому.

Для легування сталі переважно використовують ферохром – сплав хрому та заліза, а також феросилікохром – сплав заліза, хрому й кремнію. У випадках, коли в хромистих сплавах необхідно обмежити вміст заліза, замість ферохрому застосовують металевий хром або спеціальні лігатури на його основі. Обмеження вмісту хрому у високо-вуглецевому ферохромі до понад 65% ускладнює використання менш багатих руд.

Процес отримання ферохрому з низьким вмістом вуглецю базується на відновленні хрому та заліза хромової руди кремнієм феросилікохрому в присутності оксиду кальцію (вапна). Це дозволяє знизити активність утвореного кремнезему та підвищити активність Cr_2O_3.

Відомо декілька способів отримання низьковуглецевого ферохрому. Так, низьковуглецевий ферохром отримують силікотермічним методом плавлення в печі, змішуванням хромо-вапняного розплаву з рідким (або твердим) феросилікохромом у ковші, а також із застосуванням вакууму. Деяка кількість ферохрому та металевого хрому виробляється за допомогою алюмінієтермічного методу. Загальна реакція відновлення оксиду хрому кремнієм виглядає так:

$$2/3\ Cr_2O_3 + Si + CaO = 4/3\ Cr + 2\ CaO\cdot SiO_2$$

Теплота процесу переходу кремнію з металу в шлак (окислення кремнію та розчинення SiO_2 у шлаку) реального складу становить 204,47 кДж/моль кремнію.

Одночасно в печі відбувається відновлення оксидів кальцію, магнію, фосфору, сірки тощо, на що вказує присутність цих елементів у сплаві. Ймовірно, наявність Cr_2O_3 у розплаві є причиною низької ефективності використання кремнію під час плавлення. Це пояснюється тим, що паралельно з відновленням хрому під дією кисню повітря може протікати така реакція:

$$CrO + ¼\ O_2 = 1/2\ Cr_2O_3.$$

Розрахунки свідчать, що кисень повітря окислює близько 20% кремнію, внесеного до плавки. Оскільки зі збільшенням кількості кремнезему в шлаку ускладнюється подальше відновлення оксиду хрому, до шлаку додають вапно, яке зв'язує SiO_2 у стійкі силікати за такими реакціями:

$$CaO + SiO_2 = CaO\cdot SiO_2;$$

$$2CaO + SiO_2 = 2CaO\cdot SiO_2$$

Завдяки цьому процес відновлення проходитиме більш ефективно, і його завершальний етап можна описати такою реакцією:

$$2CrO+ + Si + 2CaO = 2Cr + 2CaO\cdot SiO_2.$$

Під час визначення термодинамічної ймовірності перебігу реакції відновлення хрому в електропечі з хромової руди за допомогою феросилікохрому виникають труднощі, обумовлені такими факторами:

- хром відновлюється з хромшпінелідних сполук змінного складу;
- кремній у феросилікохромі при температурах плавлення переходить у силіциди;
- значний вплив на процеси відновлення мають нижчі оксиди хрому та кремнію;
- у шлаковому розплаві присутні значні кількості оксидів кальцію, магнію, алюмінію, заліза тощо.

Основними компонентами шлаку є γ-двокальцієві силікати (близько 6–9%), β-двокальцієві силікати (приблизно 5%), реліктові зерна хромшпінеліду з руди та хромова шпінель (20–25%), а також мервініт, меліліт, діопсид і скло. Хром у шлаку присутній у вигляді металевих включень змінного складу, а здебільшого в оксидній формі: як Cr_2O_3 у складі шпінелі та діопсиду, як CrO у синьому склі, а також у вигляді металевого хрому, що утворюється в результаті розпаду, який відбувається зі зниженням температури:

$$3CrO = Cr_2O_3+Cr,$$

Шлак за густиною можна розділити на кілька фракцій, які суттєво відрізняються за хімічним складом. У шлаку ферохрому міститься 0,6-2,2% металевих включень сплаву розміром 3,3-20 мкм, а також більші уламки.

Для виробництва низьковуглецевого ферохрому шихта складається з хромової руди, феросилікохрому (приблизно 50% Si та 0,03% C) і вапна. Перед подачею в піч руду сортують, дроблять до шматків розміром менше ніж 20 мм, а потім висушують у трубчастій печі.

Виплавлення низьковуглецевого ферохрому здійснюється періодичним процесом у стаціонарних, нахиляючих або обертових печах потужністю до 10 МВА з магнезіальною футеровкою. Схема процесу наведена на рис. 51. Для марок ФХ006 і ФХ010 зазвичай застосовують вторинну напругу 330–350 В і графітовані електроди. Бажано використовувати електроди з підвищеною

зносостійкістю, наприклад, просочені неорганічними солями, що дозволяє підвищити вихід високоякісних марок ферохрому. Інші марки ферохрому виплавляють при нижчій напрузі, використовуючи самоспікні електроди.

Феросилікохром завантажують у піч разом із рудою та вапном, завдяки чому відновлення руди відбувається одночасно з розплавленням шихти. Це скорочує тривалість плавки та знижує витрати електроенергії завдяки ефективнішому використанню тепла екзотермічних реакцій відновлення оксидів хрому й заліза кремнієм.

Процес у нахиляючих і обертових печах виглядає наступним чином: після випуску сплаву очищають борти печі та зливний носок. У разі переплавлення відходів їх завантажують до борту печі, а на подину кладуть феросилікохром перших двох порцій. Піч вмикають і поступово збільшують потужність протягом 10–15 хвилин. Перші три порції шихти (приблизно 2,1 т руди, 1,9 т вапна та 720–760 кг феросилікохрому на порцію) рівномірно завантажують до електродів, поступово підвищуючи потужність. Плавлення ведуть на короткій дузі для забезпечення стабільного процесу й уникнення занурення електродів у шлак.

При належному обслуговуванні печі повне розплавлення шихти досягається при витратах електроенергії 558-612 МДж (155–170 кВт·год) на 100 кг руди. Після виплавлення перших двох порцій з печі випускають шлак, очищають носок, знову вмикають піч і завантажують 80–90% феросилікохрому третьої й четвертої порцій. Потужність поступово збільшують, додаючи руду та вапно третьої й четвертої порцій.

За 20 хв до закінчення плавки залишок феросилікохрому вводять невеликими порціями протягом 10–15 хвилин. Після розплавлення третьої й четвертої порцій і досягнення нормального вмісту кремнію (0,5-1,0%) у сплаві його випускають разом зі шлаком. Температура шлаку при випуску становить близько 1800°С, а сплаву – 1760 °С.

Перед випуском шлак додатково відновлюють, додаючи шматковий феросилікохром. Якщо проби показують підвищений вміст кремнію у сплаві,

процес затримують і сплав рафінують, збільшуючи час перебування у печі. Це супроводжується додатковими витратами електроенергії (5400 МДж або до 1500 кВт·год) та внесенням у розплавлену ванну шихти без феросилікохрому.

Для прискорення рафінування розплав перемішують, зміщуючи холодну шихту з бортів у ванну. Якщо ці заходи не дозволяють отримати якісний сплав, зливають шлак і розпочинають нову плавку з меншим завантаженням феросилікохрому.

Підвищення вмісту кремнію у сплаві може бути зумовлене такими основними причинами:

Надмірна кількість феросилікохрому, про що свідчить сильне роз'їдання ванни та перегрів печі.

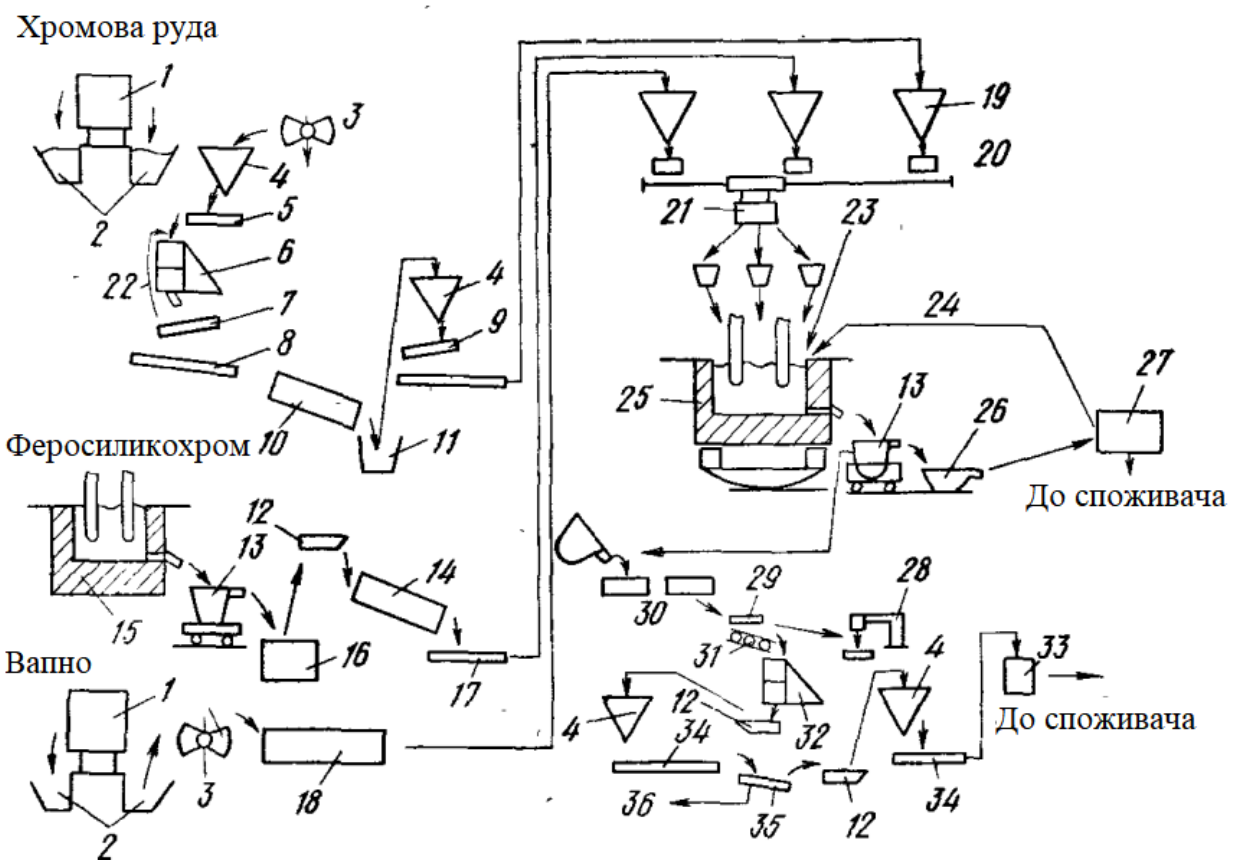
Недостатній вміст CaO у шлаку (нормальний рівень становить 50–52%), що може бути викликано недостатнім завантаженням вапна або низьким вмістом CaO у самому вапні.

Ознаками низької основності шлаку є:

- недостатнє нагрівання печі;
- утворення нашарувань на бортах ванни;
- рідкий шлак;
- холодний і в'язкий сплав.

Оптимальному технологічному процесу відповідає вміст оксиду хрому в шлаку на рівні 3,5–5%. Якщо оксиду хрому в шлаку більше, це свідчить про недостатнє нагрівання печі, нестачу вапна або феросилікохрому.

Випуск сплаву та шлаку за цією технологією (рис. 2.1) здійснюється через зливний носок або льотку у сталевий ковш, покритий шаром шлаку. Щоб уникнути руйнування подини (завдяки збереженню на ній захисного шару сплаву), максимальний кут нахилу печі не повинен перевищувати 25°.



1 – залізничний вагон; 2 – засіки; 3 – грейферний кран; 4 – бункер; 5 – пластинчастий живильник; 6 – щокова дробарка; 7 – односитовий грохот; 8 – стрічковий транспортер; 9 – живильник із ґратами; 10 – барабан для сушіння хромової руди; 11 – засіки для зберігання шихтових матеріалів; 12 – короб; 13 – ківш для сплаву; 14 – барабан для сушіння феросилікохрому; 15 – руднотермічна піч; 16 – бак для грануляції сплаву; 17 — транспортер; 18 – піч для випалу вапняку; 19 – дозувальні бункери; 20 – автоматичні дозатори; 21 – монорейкова роздавальна візок; 22 – велика руда; 23 – хромовмісні відходи власного виробництва; 24 – хромовмісна фракція; 25 – рафінувальна піч; 26 – шлаковня; 27 – установка для сепарації шлаку; 28 – каменебій; 29 – злиток; 30 – виливиці; 31 – рольганг; 32 – дробарка; 33 – барабан; 34 – живильник; 35 – ґрати; 36 – дріб’язок для переплавлення

Рисунок 2.1 – Технологічна схема виробництва низьковуглецевого ферохрому

К.к.д. рафінувальної печі складає 51,2%. Втрати через колошник печі становлять близько 20% від витраченої електроенергії, тому значним

резервом для зниження питомих витрат електроенергії є закриття печей куполом, бажано без охолодження, а також використання гарячої шихти. У деяких випадках початок плавки (до 2/3 год) ведуть на шлаках зниженої основності, що знижує вміст вуглецю в сплаві. Також показано, що зниження вмісту вуглецю в сплаві досягається при заливці в піч рідкого феросилікохрому. Розливка сплаву здійснюється в чавунні або сталеві плоскі виливиці, покриті вапняним розчином, товщина злитка – близько 100 мм. При розливці ферохрому всіх марок спостерігається значна ліквація домішок, яка зменшується із зменшенням товщини злитка.

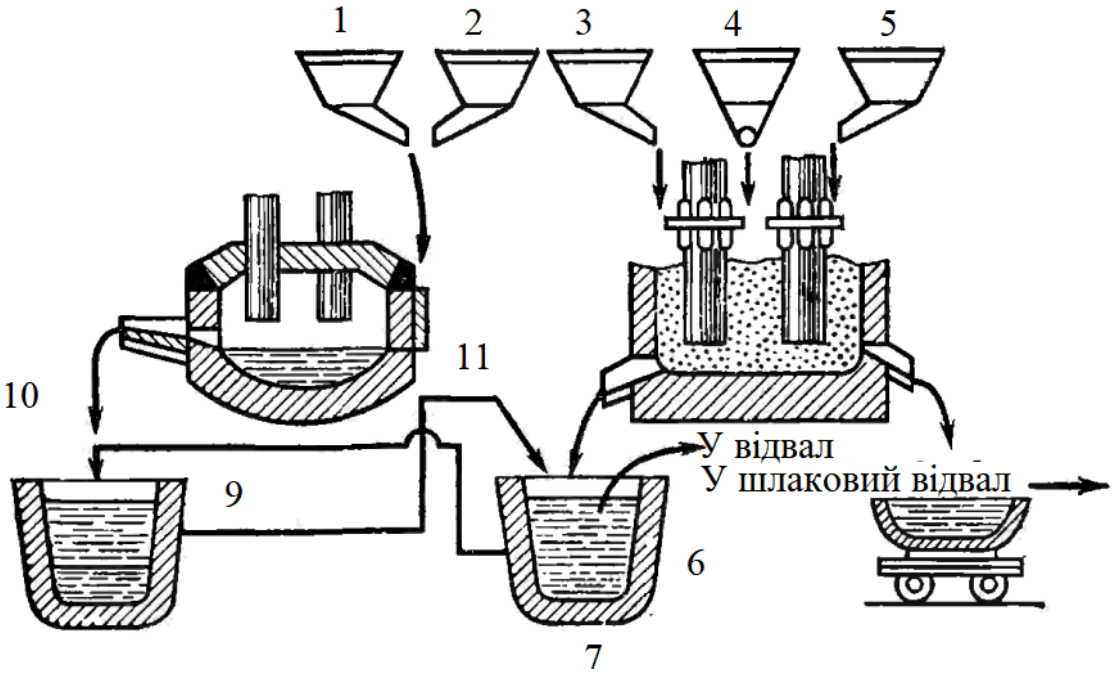
Зазвичай ферохром містить 0,05-0,15% O_2; 0,04-0,08% N_2 та 15-10 $см^3$/100 г H_2. З підвищенням вмісту хрому в сплаві збільшується розчинність у ньому азоту та водню. Для отримання щільного злитка ферохром вакуумується перед розливкою в спеціальній камері протягом 3-5 хвилин при залишковому тиску 3999-5332 Па.

Після вакуумування вміст газів у ферохромі зменшується приблизно на 30% (водороду на 50-60%), а щільність збільшується з 5 до 7,4 г/$см^3$, але це призводить до втрат 5-10% сплаву у вигляді настилів в ковші, тому отримання щільного злитка часто досягається шляхом розливки сплаву під шаром шлаку. В цьому випадку також забезпечується зниження газонасиченості сплаву приблизно в два рази. Розливка під шлаковим шаром, що проводиться з набагато більшими швидкостями, ніж у сталеві изложниці, дозволяє знизити вміст азоту до 0,035%.

Особливий інтерес викликає грануляція ферохрому за методом «грансхот». Розплавлений метал виливають із ковша на круглу вогнетривку плиту, розташовану над центральною частиною ванни з охолоджувальною водою. Краплі розплавленого металу, потрапляючи на плиту, дробляться на дрібні частинки, що утворюють гранули, які охолоджуються при попаданні у воду. Близько 95% гранул мають розмір від 2 до 25 мм. Гранули збирають у воронкоподібний контейнер із товстого сталевого листа, розташований у ванні. З контейнера гранули потрапляють до зборника і потім безперервно

видаляються звідти черпаковим конвеєром. Цей метод відзначається високою ефективністю та простотою, сприяє значному зменшенню витрат на розливку та обробку сплаву, поліпшує санітарно-гігієнічні умови та зменшує потребу в виробничій площі.

Шлак необхідно сепарувати для вилучення з нього корольків сплаву. Отриманий в результаті сепарації дрібний шлаковий порошок використовують у ливарному та скляному виробництвах, для вапнування кислих ґрунтів тощо. Найбільш сучасним процесом виробництва низьковуглецевого ферохрому є метод змішування рудо-вапняного розплаву з рідким (або твердим) феросилікохромом поза піччю, що забезпечує отримання сплаву з 0,02-0,06 %С при високих техніко-економічних показниках. Технологічна схема процесу представлена на рис. 2.2.



1 – хромистий концентрат; 2 – вапно; 3 - хромова руда; 4 – кварцит; 5 – кокс; 6 – шлак з 30% Cr_2O_3; 7 – шлак з 15% Cr_2O_3; 8 – ферохром; 9 – феросилікохром з 25% Si; 10 – феросилікохром з 45% Si; 11 – шлак з < 2% Cr_2O_3

Рисунок 2.2 – Технологія виплавки низьковуглецевого ферохрому шляхом змішування рідких феросплавів

У нахилених електропечах потужністю 10-15 МВА отримують рудо-вапняний розплав з хромової руди (концентрату) та вапна, який містить 30% Cr_2O_3, 7-8% MgO, 7-8% Al_2O_3, 10-12% FeO, 1-3% SiO_2 та 40-45% CaO. Такий розплав має високу активність при відновленні кремнієм і містить достатню кількість CaO для зв'язування утвореного кремнезему в двокальцієвий силікат. Розплав зливають у ковш (мішалку), в який потім додають вторинний ферросилікохром із вмістом 25% Si з іншого ковша.

В результаті реакції, що відбувається в умовах великого надлишку окислювача, отримують товарний низькокарбоновий ферохром, що містить 0,02-0,06% C і менше 0,8% Si, а також проміжний розплав із 14-16% Cr_2O_3. Цей розплав змішують у другому ковші з ферросилікохромом, що містить 45% Si і 0,01-0,02% C, який отримують у рудовідновлювальній печі. У результаті змішування в умовах великого надлишку відновлювача отримують відвальний шлак з 2-3% Cr_2O_3 та проміжний феросилікохром, який використовують на першій стадії процесу. Процес характеризується високим використанням кремнію в феросилікохромі (до 98%) і хрому (до 95%), а також низьким витратами вапна і електроенергії.

Запропонований метод для покращення техніко-економічних показників процесу – спільний обжиг хромової руди та вапняку з подальшим завантаженням гарячої суміші (близько 1100°C) у піч для виплавки рудо-вапняного розплаву – не знайшов широкого застосування через утворення настилів і незадовільні санітарно-гігієнічні умови. Очікуване зниження температури плавлення рудо-вапняного розплаву в практиці не було досягнуто, незважаючи на 100% використання кремнію.

Доцільно отримувати рудо-вапняні розплави з руд, які мають знижений вміст MgO та підвищений вміст оксидів заліза. На Серовському заводі феросплавів рудо-вапняний розплав отримують у печах потужністю 5-15 МВА. Для цього використовують хромову руду фракцією до 20 мм та вапно фракцією до 40 мм. Характер завантаження шихти залежить від крупності та мінералогічного складу руди. Мелку руду змішану з вапном завантажують

одночасно, в той час як кускову руду з підвищеним вмістом оксиду магнію завантажують поступово, щоб уникнути осідання великих шматків на підину. Це дозволяє уникнути накопичення дуже в'язкого розплаву на підині печі, що погано виходить з печі.

При використанні дрібної руди склад розплаву залишається рівномірним по всій глибині печі, утворюється гарнісаж, а маса і склад виплавленого розплаву (при стабільній якості руди) коливаються незначно (вміст оксидів хрому в межах ±1 %, коливання маси ±7 %). Виліт руди та вапна складає близько 1 %. Пил містить: Cr_2O_3 25—30 %, SiO_2 ~ 8 %, CaO ~ 22 %, MgO ~ 25 %, P 0,01-0,03 %, S ~ 0,07 %. Розплав випускають при температурі 1900°С у ковш з магнезіальною футерівкою.

Кількість феросилікохрому, що заливається в ковш, визначають, враховуючи стехіометричне співвідношення відновлення оксидів хрому та заліза з розплаву. Ковш заповнюється рудо-вапняним розплавом на 30 % об'єму, а потім в нього заливають рідкий ферросилікохром зі швидкістю 150—200 кг/хв. При такій швидкості заливання реакції швидко поширюються по всьому об'єму ковша, але без викиду розплаву. Кількість феросилікохрому розраховують на основі стехіометрії процесу відновлення.

Тепло, що виділяється під час екзотермічних реакцій, використовується для плавлення додаткової (до 30 %) кількості твердих шихт або відходів. Для більш повного протікання процесу розплав переливають кілька разів з одного ковша в інший. Видобуток хрому з руди становить близько 92 %. Зібрана пилюка (25-31 % Cr_2O_3; 25-33 % CaO; 11-16 % SiO_2; 0,2-1,1 % C; 12-16 % MgO; 4-7 % Al_2O_3; 7,1-9,0 % FeO) використовується для виробництва рудо-вапняного розплаву.

Ферохром має відносну щільність близько 7 г/см³ і наступний хімічний склад (Pb, Bi та Cd в сплаві не виявлені): Cr 70-76 %, Si 0,01-1,0 %, C 0,02-0,04 % та ін.

1.2 Основне обладнання для виплавки низьковуглецевого ферохрому

Конструкція РВП включає в себе кожух, пічну ванну, футеровану вогнетривкими матеріалами, механізм обертання ванни (для обертової печі), електроди, купол (для закритої печі), підведення струму, електропічні трансформатори, утримувачі електродів, розливні отвори, механізми переміщення та перепуску електродів, а також прожиг отвору.

Печі періодичної дії (з відкритою дугою). Характерним представником печей цього типу є рафінувальна піч РКО (рис. 2.3), яка призначена для виплавки безвуглецевого ферохрому, низьковуглецевого феромарганцю, рудо-вапняного розплаву, металевого марганцю та феровольфраму періодичним процесом.

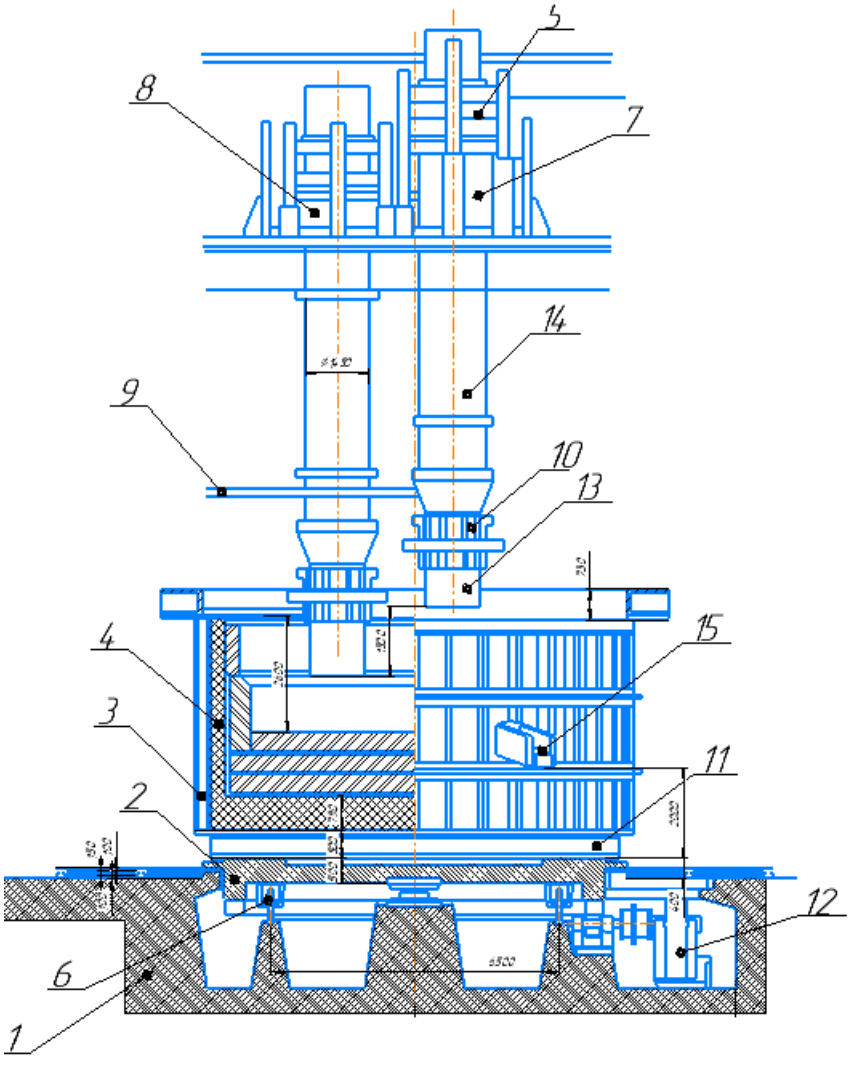
Конструкція печі виконана за типом дугових сталеплавильних печей. Піч обладнана трьохфазним електропічним трансформатором потужністю 3500 кВ-А і має циліндричний, футерований магнезитом кожух. Три графітовані електроди діаметром 0,350 м розташовані на вершинах рівностороннього трикутника.

Для феросплавних печей характерна подина великої товщини. Загальна товщина футерівки подини досягає 2,5 м. Така товщина подини забезпечує велику теплову інерцію та полегшує умови підтримання стабільної температури в плавильній зоні печі при короткочасних простоях.

В більшості феросплавних печей робочим шаром футеровки (рис.2.4) є так званий гарнісаж – настиль, утворений з проплавленої руди, шлаку та сплаву.

Купол печі. В РКО печах через колошник виділяється велика кількість тепла і відхідних газів, що призводить до нагріву обладнання та ускладнює роботу персоналу; крім того, на колошнику окислюється частина відновлювача, а в надпечному просторі безцільно згорає оксид CO, що міститься в відхідних газах (які містять близько 85 % CO).

Електродотримувач з електродами змонтований на вертикальній шахті, що розташована незалежно від пічної ванни. Піч оснащена механізмами нахилу та обертання ванни. Газ, що виділяється з печі, відводиться через витяжний короб (не показаний на рисунку), який закриває робочий простір по всьому об'єму. Через витяжний короб проходять завантажувальні лотки, що можуть переміщатися вручну для направлення шихтових матеріалів у визначену точку ванни.



1 – фундамент; 2 – плита; 3 – корпус; 4 – футерування; 5 – перепуск електродів; 6 – механізм обертання; 7 – система гідроприводу; 8 – гідропідіймач; 9 – мережа коротка; 10 – токопідвід; 11 – гребінка; 12 – привід механізму обертання; 13 – самообпалювальні електроди; 14 – навісний кожух

Рисунок 2.3 – Відкрита рудновідновлювальна піч типу РКО

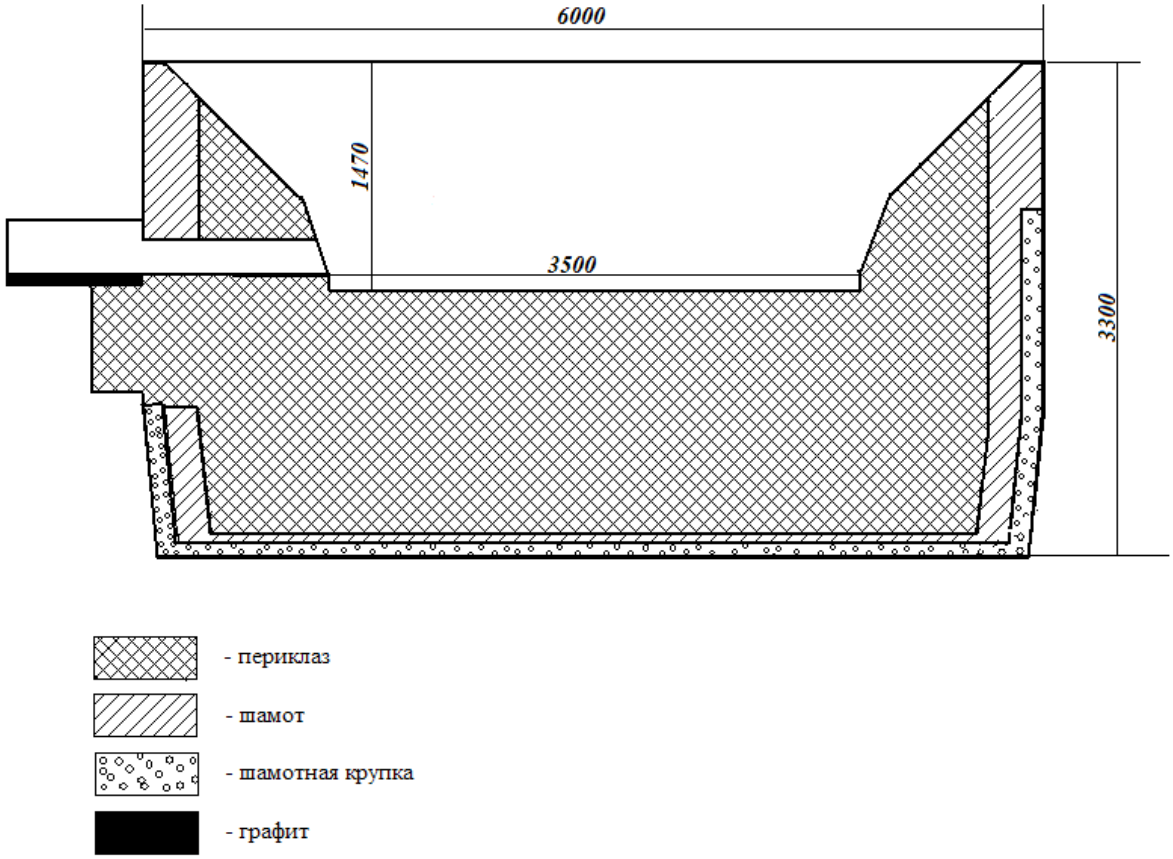


Рисунок 2.4 – Футерування печі РКО

Перепуск електродів здійснюється дистанційно за допомогою пружинно-пневматичної системи. Електричний режим підтримується автоматичним регулятором потужності, який здійснює налаштування за опором. Коротка мережа печі складається з шинного пакета, що підключається до електропічного трансформатора, гнучких кабелів та провідних труб електродотримувача. Футеровка печі виконана з магнезитового цегли. Піч оснащена гідравлічними циліндрами для нахилу ванни в сторону розливного носика на 40° та робочого вікна на 15°. Переміщення електродів у вертикальній площині здійснюється механізмом переміщення, який складається з постійно струмового двигуна з редукторами і системою управління двигунами, а також тросовою (або рейковою) передачею, яка забезпечує поступальний рух електродотримувача з електродами.

План цеху наведено на рис. 2.5.

1.3 Характеристика газових викидів при виплавці ферохрому та їх способи очищення

Феросплави виготовляють з руд або концентратів різними методами: електротермічним, алюмінотермічним, продуванням вуглецевих сплавів окислювальними газами, вакуумуванням рідких і твердих сплавів, а також методом змішування розплавів. У спеціалізованих печах виплавляються ферросиліцій, силікомарганець, ферохром, феромарганець, силікохром.

До недавнього часу феросплави вироблялися в відкритих рудно-термічних (рудовідновлювальних) печах, які є електричними дуговими печами, здебільшого з трьома електродами. Тепер для виробництва феросплавів використовуються більш перспективні закриті печі з колошником, перекритим склепінням.

При виробництві феросплавів як у відкритих, так і в закритих печах утворюються гази, що містять багато пилу та оксиду вуглецю (до 80% об’єму). Крім того, в цих газах є ціаніди, фториди, сірчисті та інші шкідливі речовини. Джерелами забруднення є також печі для сушіння та випалу шихтових матеріалів. Оскільки в складних вихідних газах міститься багато хімічних сполук, їх очищення потребує значних витрат. Наприклад, вартість очищення газів у закритій печі може становити 10% від загальної вартості установки, а для відкритих печей ця цифра досягає 90%.

Відкриті печі змушують оксид вуглецю (CO) з'єднуватися з киснем повітря, що спричиняє його горіння з утворенням CO_2. Цей процес також призводить до розкладу ціанідних сполук, але інші шкідливі речовини потрапляють в атмосферу. У закритих печах на кожну тонну продукції утворюється 400–800 м³ газу з пилом у кількості 15–30 г/м³. У сучасних феросплавних цехах очищення газів від пилу досягає 66–99,9%.

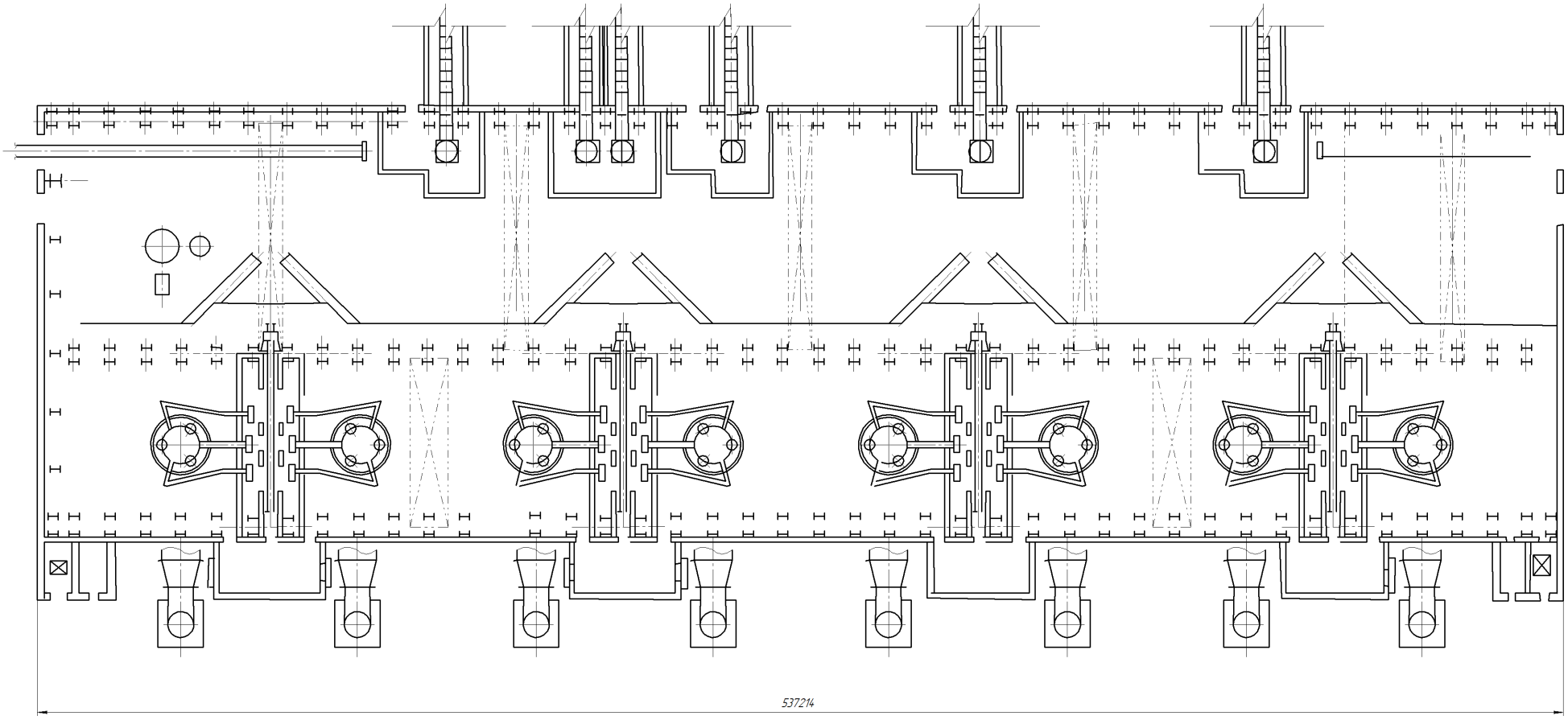


Рисунок 2.5 – План цеху феросплавного виробництва

Газ, що виходить з відкритих і закритих печей, очищається через витяжні системи, такі як зонти, встановлені над піччю. Під час очищення газ змішується з повітрям, і шкідливі компоненти горять. Однак великі об’єми таких газів потребують використання великих установок для очищення, що пов'язано з високими експлуатаційними витратами. Частина газу потрапляє в цех, забруднюючи робоче середовище. Газ видаляється через ліхтар. Газові потоки на очищення мають запиленість 1-3 г/м³. Для очищення газів використовують тканинні фільтри, швидкісні пиловловлювачі з трубами Вентурі та електрофільтри. Для малопотужних печей зазвичай застосовуються батарейні циклони з діаметром елементів 250 мм та ефективністю 50-80%. Удосконалені системи очищення включають двоступеневі схеми очищення.

Закриті феросплавні печі мають склепіння з отворами для електродів і подачі шихти. Газ виводиться через спеціальні отвори та газовідвідні стакани, кількість яких залежить від потужності печі та марки феросплаву. Основна частина газу складається з CO (70–90%), з меншим вмістом CO_2, H_2, CH_4, N_2 та O_2. Газ також містить шкідливі компоненти, які спричиняють корозію. Температура газу може коливатися від 400 до 1150 °C.

Пил, що міститься в газах, складається з SiO_2, CaO, MgO, Al_2O_3, $FeO+Fe_2O_3$, Cr_2O_3 та інших компонентів, змінюючи свій склад в залежності від типу сплаву. Запиленість газу коливається в межах 15–40 г/м³, з 65–80% частинок розміром менше 5 мкм. Основна частина газу (до 85%) виводиться на очищення, лише мала частина потрапляє в цех, де газ видаляється через ліхтар.

Фракційний склад пилу наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Фракційний склад пилу

Розмір часток, мкм	Менше 1	1-40	Більше 40
Вміст, %	49	39	12

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

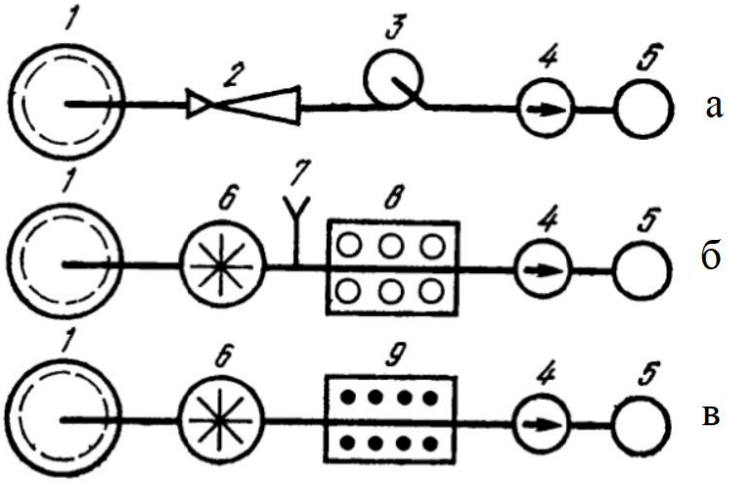
2.1 Аналіз способів очищення газів від відкритих феросплавних печей типу РКО

Під час роботи відкритих печей внаслідок змішування з повітрям та догорання горючих компонентів об'єм виділяючогося газу значно збільшується і досягає 150-200 тис. м³/год і більше за нормальних фізичних умов. Газ містить велику кількість CO_2 та водяних парів, які утворюються під час згоряння горючих складових. Через це температура газів не перевищує 200-300 °С, а їх запиленість знижена до 1-3 г/м³.

Відведення газів від відкритих печей здійснюється за допомогою зонтів, що розташовані над піччю і мають діаметр, який перевищує діаметр печі. На малопотужних печах для очищення використовують батарейні циклоны, які мають ефективність очищення 60-80 %, що не забезпечує необхідну концентрацію пилу в вихідних газах. Для печей середньої та великої потужності застосовують як мокре, так і сухе очищення (рис. 2.1).

Найперспективнішим є метод знепилення газів відкритих електропечей у тканинних фільтрах підвищеної термостійкості, що забезпечують кінцеву запиленість газу до 30 мг/м³ при найменших експлуатаційних витратах у порівнянні з іншими типами газоочистки. Очищення газів у тканинних фільтрах дозволяє використовувати уловлений пил, що особливо важливо при виплавці цінних феросплавів.

Для сухого очищення газів відкритих ферросплавних печей протягом тривалого часу у світі використовувалися рукавні фільтри з зворотнім продувом, в основному напірного типу.



а – з використанням скруберу Вентурі; б – з рукавним фільтром; в – з електрофільтром; 1 – піч; 2 – труба Вентурі; 3 – краплевловлювач; 4 – димосос; 5 – димова труба; 6 – полий форсунковий скрубер; 7 – підсмоктування повітря; 8 – рукавний фільтр; 9 – електрофільтр

Рисунок 2.1 – Схеми очищення феросплавних газів

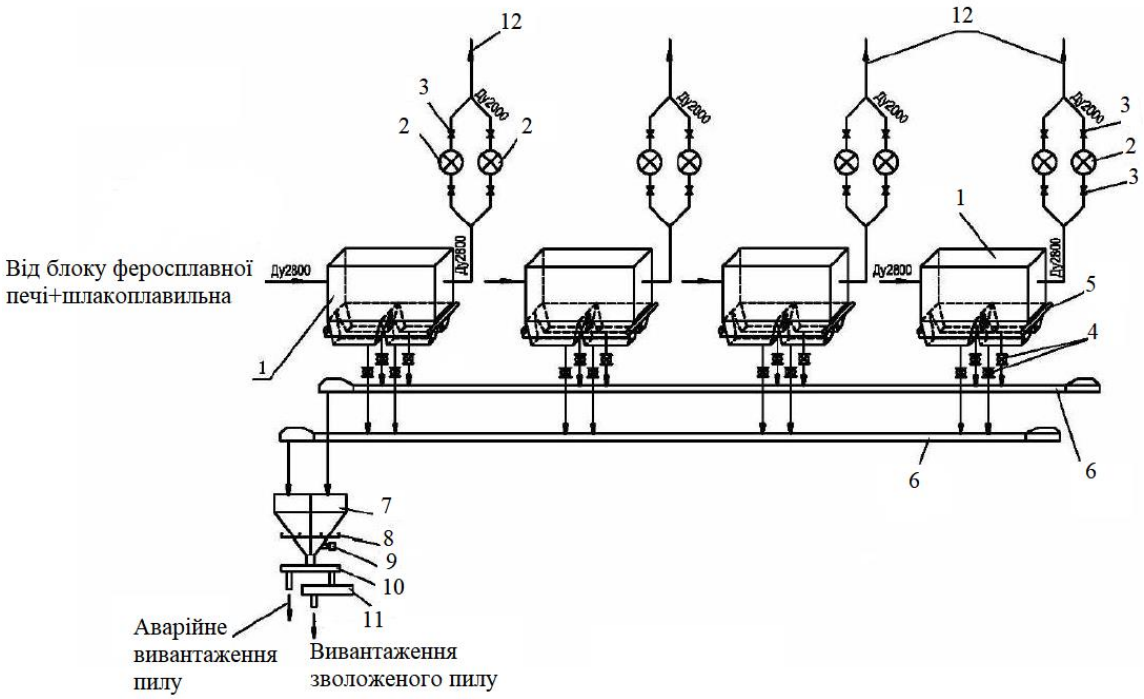
Напірний рукавний фільтр з зворотним продувом працює під надмірним тиском, який створюється димососом, встановленим перед фільтром на лінії "брудного", запилюженого газу.

Фільтрація запилюженого газу через фільтрувальний матеріал рукавів відбувається завдяки надмірному тиску димососа. Очищений газ викидається в атмосферу через жалюзні решітки або витяжні труби, розташовані над фільтром. Фільтрувальні рукава довжиною 9600 мм і діаметром 300 мм оснащені розпірними кільцями по висоті та закріплені між нижньою і верхньою рукавними плитами.

Регенерація рукавів здійснюється за допомогою зворотного продування. Патрубки та клапани для введення брудного газу та продувного повітря розташовані в нижній бункерній частині фільтра. Питоме газове навантаження на фільтрувальну тканину в напірних фільтрах із зворотним продуванням становить в середньому 0,5 $м^3/м^2 \cdot хв$.

Напірні рукавні фільтри при належному обслуговуванні забезпечують ефективне очищення газів РКО до залишкової запиленості – 20 мг/м³. Однак вони мають низку серйозних експлуатаційних і конструктивних недоліків.

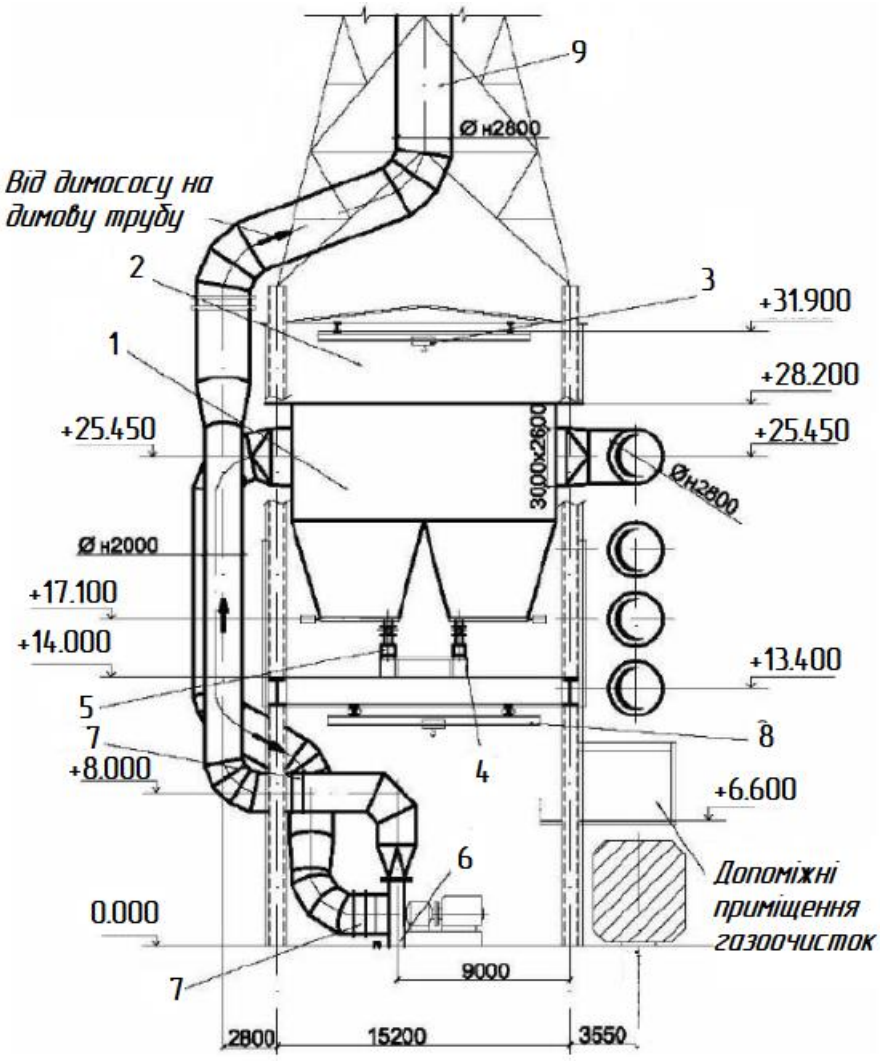
Останнім часом більш широке застосування знайшли рукавні фільтри з імпульсною регенерацією типу ФРІР (рис. 2.2). Рукава, виготовлені з високопрочного матеріалу типу "полиефірний фетр з каркасом з філаментних ниток", встановлюються на рукавній плиті з використанням дротяних каркасів всередині рукавів, що запобігає зминанню фільтрувальної тканини під дією розрідження. Закріплення рукавів проводиться з однієї сторони в верхній частині фільтра.



1 – рукавний фільтр ФРІР; 2 – димотяг; 3 – дросельні клапани, що відключають; 4 – шлюзові живильники; 5 – система пневмообрушення бункерів рукавних фільтрів; 6 – скребковий конвеєр; 7 – збірний бункер пилу; 8 – система пневмообрушення збірного бункеру пилу; 9 – вібратор; 10 – гвинтовий живильник; 11 – змішувач-зволожувач пилу; 12 – димова труба

Рисунок 2.2 – Схема газоочисток печей № 21-28, цех № 3 ВАТ “Запорізький феросплавний завод”

Регенерація рукавів здійснюється шляхом одностороннього імпульсного продування сушеним стиснутим повітрям за допомогою клапанів з підвищеною швидкодією.

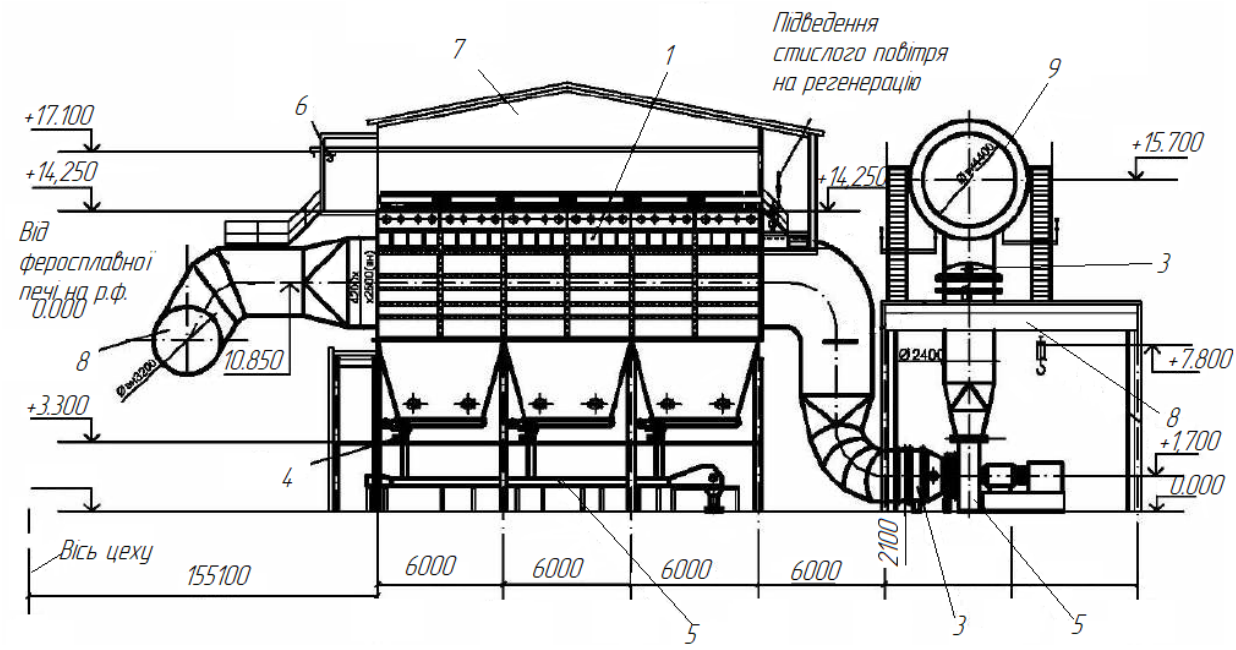


1 – рукавний фільтр; 2 – шатер-укриття рукавних фільтрів; 3 – кран-балка над фільтрами; 4 – шлюзові живильники; 5 – скребкові конвеєра; 6 – димососи; 7 – відсічні клапани; 8 – кран-балка над димососами; 9 – димова труба

Рисунок 2.3 – Устаткування газоочистки печей № 21-28, цех № 3 ВАТ “Запорізький феросплавний завод”

Фільтри з імпульсною регенерацією, забезпечуючи вищу ступінь очищення від пилу порівняно з іншими типами рукавних фільтрів, мають в

1,5-2 рази менші габарити завдяки більшому питомому газовому навантаженю, що досягає 1,5-2 м³/м²·хв.



1 – рукавний фільтр; 2 – димотяг; 3 – дросельний клапан; 4 – шлюзовий живильник; 5 – скребковий конвеєр; 6 – електрична таль; 7 – шатер рукавного фільтру; 8 – газохід забрудненого газу; 9 – газохід чистого газу

Рисунок 2.4 – Газоочистка феросплавної печі в феросплавному цеху

Технологічні параметри роботи газовідвідних трактів та рукавних фільтрів феросплавних печей залежать від виду феросплава, що виплавляється, (феросиліций, ферохром, силікомарганець, феромарганець та ін.) потужності руднотермічної печі, підключення до газоочищення аспіраційних систем

Система очищення газів кожної печі (рис. 2.2) включає:

- газохід від феросплавної печі до рукавного фільтра;
- рукавний фільтр із системою автоматичного керування регенерацією фільтру;
- димососи з електродвигунами;
- системи видалення пилу, які складаються з шнекових і шлюзових живильників, пилозатворів дискового типу, телескопічних пристроїв для

розвантаження пилу, вібраторів (вивантаження пилу з бункерів рукавних фільтрів проводиться періодично, прямо у транспортні засоби), далі пил огрудковується на чашкових окомковувачах (рис.2.5);

- захисні клапани для запобігання підсосу перед рукавними фільтрами (по два клапани на кожен фільтр: автоматичний регулювальний і швидкодіючий аварійний);
- ремонтні відсічні клапани, розташовані перед і після димососів;
- газоходи для очищених газів і димову трубу, в якій розміщена герметична осьова перегородка, що розділяє потоки очищених газів для кожної печі;
- автоматизовану систему керування технологічними процесами очищення газів (АСУ ТП).



Рисунок 2.5 – Чашковий окомковувач

Оперативний контроль, сигналізація та управління системами очищення газів здійснюються через АСУ ТП, яка відповідає сучасним технічним стандартам і забезпечує:

- автоматичне регулювання температури газів перед рукавним фільтром за допомогою клапанів підсосу повітря;
- контроль температури газів після зонта печі;
- контроль і сигналізацію температури підшипників димососів та електродвигунів;
- контроль розрідження перед рукавним фільтром;
- контроль розрідження після рукавного фільтра;
- контроль і сигналізацію перепаду тиску в рукавному фільтрі;
- контроль і сигналізацію тиску та витрати осушеного стисненого повітря для регенерації рукавного фільтра;
- контроль і сигналізацію тиску стисненого повітря для продувальних і відсічних клапанів.

Рукавні фільтри типу ФРІР встановлені відкрито, за винятком верхньої частини та бункерів. Над верхньою частиною системи регенерації та автоматики передбачений загальний утеплений захисний шатро для двох фільтрів.

Корпуси рукавних фільтрів виготовлені у вигляді самонесучих блоків, які витримують технологічні, кліматичні навантаження, вплив пилогазового потоку та захисного шатра. Вони складаються з опорних поясів, підвісних пилових бункерів і захисних панелей. Для обслуговування фільтрів у шатровому укритті встановлено дві електричні талі з вантажопідйомністю 1 тонна. Корпуси фільтрів спираються на опорні плити та постаменти через опорний пояс, а бункерна частина фільтрів розташована в опалюваному приміщенні.

Для захисту рукавних фільтрів від надмірно гарячих газів на газоходах перед фільтрами встановлені автоматичні клапани підсосу.

До недоліків напірних фільтрів із зворотною продувкою порівняно з сучасними високопродуктивними фільтрами з імпульсною регенерацією належать:

- швидкість фільтрації (питоме газове навантаження) у напірних фільтрах становить лише 0,4-0,6 м³/м²·хв, що в 3-4 рази менше, ніж у фільтрів з імпульсною регенерацією. Це збільшує габарити, матеріаломісткість і капітальні витрати на газоочистку;
- робота під тиском 3000–3500 Па створює потребу у високій герметичності бункерів і газоходів. Навіть невеликі витоки спричиняють викиди запиленого газу та забруднення приміщення;
- трудомісткість заміни рукавів через їх двостороннє кріплення (вгорі та внизу) значно вища, ніж у фільтрів з імпульсною регенерацією;
- для регенерації рукавів використовуються численні механізми зворотної продувки, яких немає в фільтрах із імпульсною регенерацією;
- очищені гази викидаються не через високу трубу, а через жалюзійні отвори або низькі витяжні труби, що не забезпечує централізованого викиду;
- димососи на напірних фільтрах працюють із запиленими газами, що викликає знос і забруднення обладнання.

До додаткових недоліків належить відсутність іскроуловлювачів перед рукавними фільтрами, що особливо важливо при встановленні фільтрів поблизу феросплавних печей.

2.2 Розрахунок рукавного фільтру з імпульсною регенерацією

Об’ємна витрата за робочих умов від однієї печі , Q_0', м³/год 350000

– температура газу попереду рукавного фільтру t, ºС 145

– щільність часток пилу ρ_n, кг/м³ 2700

– пористість тканини (глопробивний фетр з поліефірних волокон) ε_m 0,75

– питомий опір тканини $h_{тк}$, Па $3{,}5 \cdot 10^5$

– барометричний тиск $p_{бар}$, кПа 99,4

– запиленість газу попереду фільтру Z_1, г/м^3 3 г

Усереднений дисперсний склад пилу перед рукавним фільтром представлений в табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Усереднений дисперсний склад пилу

Розмір часток, мкм	Менше 1	1-40	Більше 40
Вміст, %	49	39	12

Графічним методом із застосуванням координаційної сітки, побудованої за скоригованою формулою Ромашова, визначено медіанний діаметр частинок пилу, який становить dm = 2,5 мкм.

Пористість пилу розраховуємо за формулою:

$$\varepsilon_n = 1 - 79 \times d_m^{0,47},$$

де d_m – середній медіанний діаметр часток пилу, мкм.

$$\varepsilon_n = 1 - 79 \cdot (53 \cdot 10^{-6})^{0,47} = 0{,}227.$$

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

$$\rho_г = 1{,}293 \cdot \frac{273}{(273+145)} \cdot \frac{(100-2{,}2)}{101{,}3} = 0{,}815 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

Для обраного для встановлення рукавного фільтра типу ФРІР питоме газове навантаження $v_ф$ становить 0,7-1,8 м^3/(м^2·хв).

Приймаємо $v_ф$ = 1,45 м^3/(м^2·хв). Тоді необхідна площа фільтрування F_a дорівнює:

$$F_a = \frac{Q_p}{v_ф} = 350000/1{,}45 = 4022 \text{ м}^2.$$

Обераємо рукавний фільтр типу ФРІР–4600 з площею фільтрації 4600 м^2 [16].

Витрата стисненого повітря для регенерації рукавного фільтру становить не більше 1200 м^3/год. Тиск стисненого повітря не менше ніж 0,5 МПа. Витрата стисненого повітря за робочих умов становить:

$$Q_{р.\ сж.} = Q_{0\ сж.} \cdot \frac{(273+t_в)}{273} \cdot \frac{101{,}3}{(p_{бар}+p_{сж})} = 1200 \cdot \frac{(273+25)}{273} \times \frac{101{,}3}{(99{,}4+500)} =$$

= 221,374 м^3/год = 3,690 м^3/хв.

Визначаємо фактичну швидкість газу у рукавному фільтрі:

$$v_ф^{'} = \frac{Q_р+Q_{р.сж.}}{F_a^{''}} = (5833{,}3+3{,}69)/4600 = 1{,}268 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ хв}) = 0{,}021 \text{ м/с}.$$

Визначаємо коефіцієнти фільтрації А и В:

$$A = 0{,}475 \cdot \frac{(1-\varepsilon_n)^2}{(\varepsilon_m)^{3{,}24} \cdot \varepsilon_n^3 \cdot d_m^{1{,}77}}.$$

$$A = 0{,}475 \cdot \frac{(1-0{,}227)^2}{(0{,}75)^{3{,}24} \times (0{,}227)^3 \times (2{,}5\times10^{-6})^{1{,}77}} = 1027{,}67\times10^6;$$

$$B = \frac{817\times(1-\varepsilon_n)}{(d_m)^2 \times \varepsilon_n^3 \times \rho_n}.$$

$$B = \frac{817 \cdot (1-0{,}227)}{(2{,}5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 0{,}227^3 \cdot 2700} = 3{,}19 \cdot 10^9$$

Визначаємо гідравлічний опір тканини Δp_1, Па:

$$\Delta p_1 = A \cdot v_ф^{'} \cdot \eta.$$

$$\Delta p_1 = 1027{,}67 \cdot 10^6 \cdot 0{,}024 \cdot 19{,}272 \cdot 10^{-6} = 475{,}33 \text{ (Па)}.$$

Встановлюємо час між регенерацію рукавного фільту:

$$t_p = \frac{\Delta p/(v_ф^{'}\times\eta)-A}{B\times v_ф^{'}\times Z_1},$$

де Δp – опір рукавного фільтру, Па.

Приймаємо гідравлічний опір рукавного фільтра ФРІР-4600 рівним 2,0 кПа. Тоді час між регенерацією рукавного фільтру, с:

$$t_p = \frac{2000/(0.021 \cdot 19.272 \cdot 10^{-6}) - 1027.67 \cdot 10^6}{3.19 \cdot 10^9 \cdot 0.021 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} = 19476.119$$

Тоді час між регенерацією становить 5,4 год.

Ступінь очищення від пилу в рукавному фільтрі $\eta_{оч}$ не менше ніж 99 %. Приймаємо ступінь очищення газу від пилу 99,5 %. Запиленість газу на виході з апарату Z_2 становить не більше, г/м^3:

$$z_2 = z_1 \times (1 - \eta_{оч}) = 3{,}0 \times (1 - 0{,}995) = 0{,}015.$$

Таким чином, кінцева запиленість газу після рукавного фільтру ФРІР-4600 (рис. 2.5) становить 15 мг/м^3.

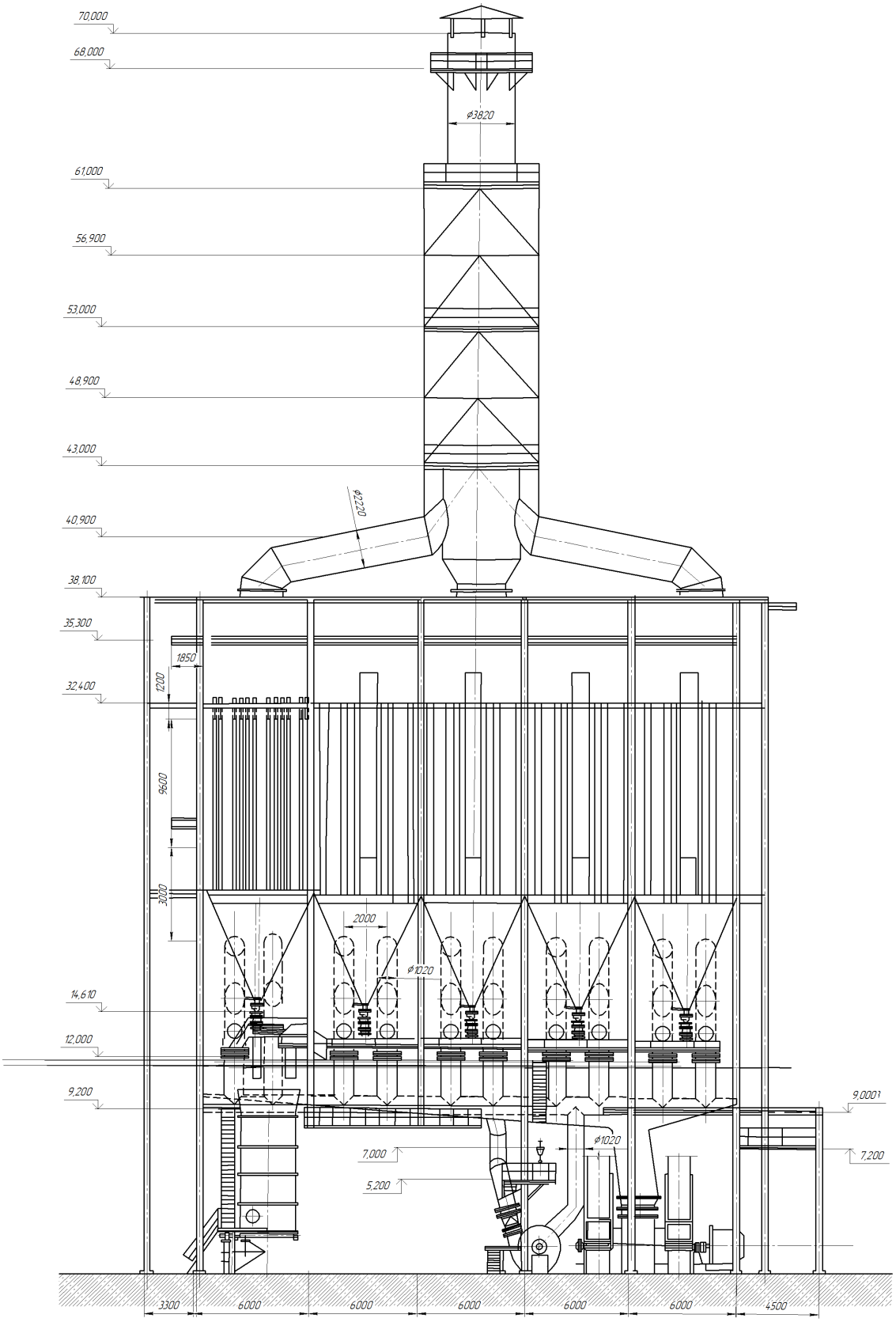


Рисунок 2.5 – Рукавний фильтр в системі газоочищення феросплавних газів від РКО

Таблиця 2.2. – Технічна характеристика фільтру ФРІР-4600.

Показники	Одиниці вимірювання	Значення
Продуктивність	тис. $м^3$/год	400
Питоме газове навантаження	$м^3/м^2$ хв	Не більш 1,5
Площа поверхні фільтрації	$м^2$	4792
Запиленість газів: - попереду фільтру - після фільтру	 $г/нм^3$ $г/нм^3$	 Не більш 20 0,02
Гідравлічний опір фільтру Розрідження в середині фільтру	Па Па	Не більш 2500 9000
Температура газу, що очищається	°С	Не більш 135
Габаритні розміри фільтру (без шатру): довжина висота ширина	 мм мм мм	 14950 6000 11520
Витрата стислого повітря	$м^3$/ч	Не більш 400
Тиск стислого повітря	МПа	0,4 ÷ 0,5
Крапка роси стислого повітря за рабочих умов	^{0}С	- 30
Вид регенерації рукавів		Імпульсна продувка
Кількість блоків	шт	8
Кількість рукавів в блоці по 18 рукавів в ряді	шт	288
Загальна кількість рукавів	шт	2304
Розмір рукава, довжина Внутрішній діаметр	мм мм	5140 128
Тип фільтрувального матеріалу		Голкопробивний поліефірний фетр з каркасом полотняного плетіння з філаментних ниток
Кріплення фільтрувальних рукавів на дошці		Однобічне верхнє з установленням жорсткого дротового каркасу

2.3 Аеродинамічний розрахунок газового тракту

Для розрахунку повного опору газового тракту необхідно знайти суму опору з'єднувальних газоходів, опору рукавного фільтру ФРІР-4600, витяжного зонта та врахувати опір димової труби. Отже, повний опір, Па, розраховується за формулою:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{газ.}} + \Delta P_{\text{р.ф.}} + \Delta P_{\text{дим.тр.}} + \Delta P_{\text{в.з}}$$

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

$\Delta P_{\text{дим.тр.}}$ – опір димової труби, Па;

$\Delta P_{\text{р.ф.}}$ – опір рукавного фільтра, Па;

$\Delta P_{\text{в.з.}}$ – опір витяжного зонта, Па.

Втрати тиску в системах з'єдувальних газоходів визначаються як втрати тиску на тертя по довжині трубопроводу $\Delta p_{тр}$ і втрат тиску на місцевих опорах $\Delta p_{м}$:

$$\Delta p = \sum_{i=1}^{m} \Delta p_{тр\,i} + \sum_{i=1}^{m} \Delta p_{м\,i},$$

де i – номер ділянки газоходу,

m – кількість розрахункових ділянок газоходу

Схема для розрахунку наведена на рис. 2.6. (для двох печей).

Втрати тиску на тертя по довжині трубопроводу визначають за такою формулою:

$$\Delta P_{тр} = \rho \cdot \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2}$$

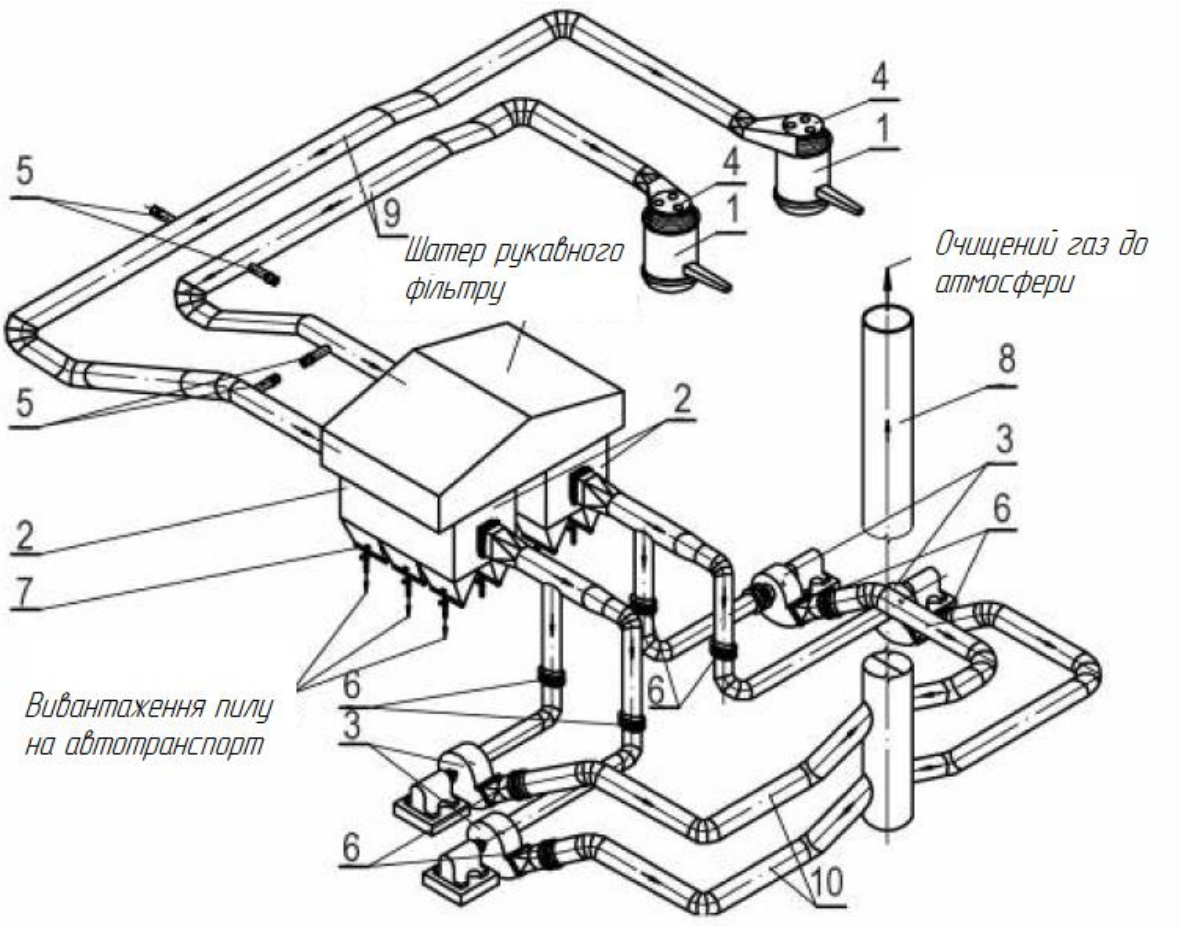
де λ – коефіцієнт Дарсі (гідравлічного тертя);

l – довжина відповідної ділянки, м;

d – діаметр трубопроводу на ділянці, м;

$v_{ср}$ – середня швидкість газів в трубопроводі, м;

$\rho_г$ – густина газів за робочих умов, кг/м^3.



1 – феросплавна піч РКО; 2 – рукавний фільтр; 3 – димосос; 4 – низький зонт; 5 – підсосний клапан; 6 – відсічний клапан; 7 – гвинтовий конвеєр в бункері рукавного фільтру; 8 – димова т руба; 9 – трубопровід забрудненого газу; 10 – газоходи чистого газу

Рисунок 2.6 – Розрахункова схема аеродинаміки газового тракту

Місцеві втрати тиску на ділянці визначаються формулою вигляду, Па:

$$\Delta P_м = \rho \cdot \xi \cdot \frac{v^2}{2}$$

де ξм – коефіцієнти місцевого опору

Отримані результати розрахунків заносимо до табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Результати розрахунку аеродинаміки

Номер ділянки	$Q_р$, м^3/с	Втрати тиску							
		l, м	d, м	V, м/с	Вид місцевого опору	$\xi_м$	$\Delta P_м$, Па	ΔP_l, Па	$\Delta P\sum$, Па
1	97,22	120	2,2	18,3	Вихід з витяжного зонту	0,28	42,19	10	154,18
				19,64	Секційне коліно, 90 ° Секційне коліно на 60, 2 шт	0,39 0,20	101,99		
2	97,22			10,6	Вхід в рукавний фільтр	0,12	6,06		6,06
3	Рукавний фільтр								2000
4	97,22			15,0	Вихід з рукавного фільтру	0,12	8		12,15
5	48,6	35	1,6	16,3	Трійник, розділення потоку Секційне коліно, 90 °	0,26 0,39	77,71	52,3	130,01
6	48,6				Димотяг				-
7	48,6	10	1,6	16,3	Вхід в трубу	0,5	59,7	14,94	72,84
8	48,6	9	Димова труба, висота Н= 70 м.						83,05
Витяжний зонт									500
Загальний тиск									2958,29

2.4 Вибір димотягу

Продуктивність димососу (Qд) визначається з урахуванням запасу 10%, м^3/год:

$$Q_д = 1{,}1 \cdot Q_р \cdot \frac{101{,}3}{p_{бар}}$$

Тиск, що створюється димотягом, Па:

$$\Delta p_{кат} = \beta_2 \cdot \Delta p_{заг} \cdot K_р$$

де β_2 – коефіцієнт запасу тиску;

$\Delta p_р$ – сумарний опір газовідвідного тракту, Па

$K_р$ – коефіцієнт перерахунку до умов з каталогу

Коефіцієнт перерахунку визначається за такою формулою:

$$K_р = \frac{\overline{T_{гі}}}{T_х} \cdot \frac{101{,}3}{p_{бар}} \cdot \frac{\rho_{0г\,і}}{\rho_{0в}},$$

де $T_х$ – температура, для якої складена характеристика вентилятора в каталозі, К;

$\overline{T_{гі}}$ – середня температура газу перед димовою трубою, К

$\rho_{0гі}$ – густина газу за нормальних фізичних умов перед димовою трубою, кг/м^3;

$p_{бар}$ – атмосферний тиск, кПа;

$\rho_{0в}$ – щільність повітря при нормальних фізичних умовах, кг/м^3.

На рис. 2.7 наведені характеристики димососів типу ДН.

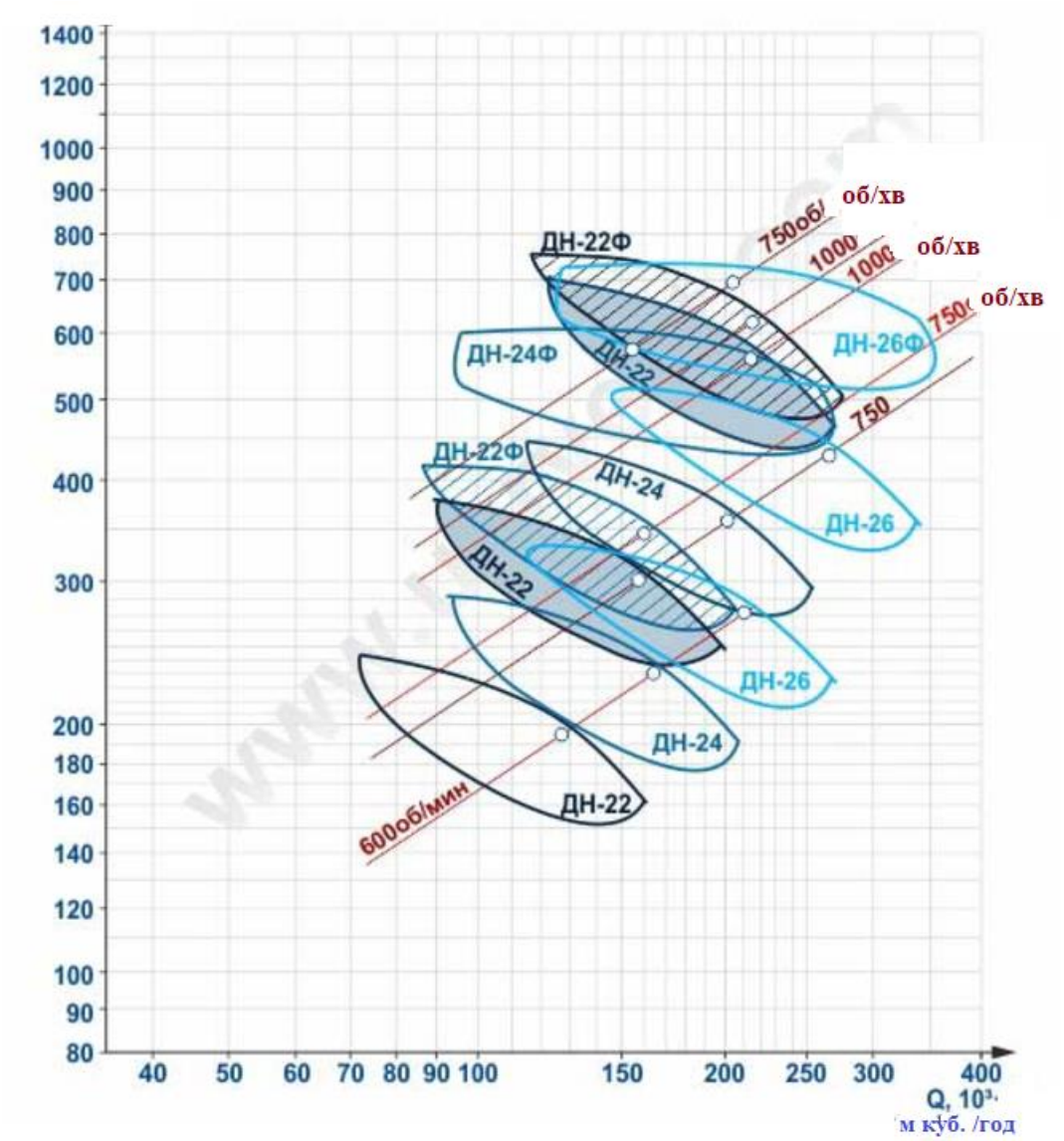


Рисунок 2.7 – Робочі характеристики димососів типу ДН

Отже, обираємо димосос типу ДН (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Технічна характеристика димососу ДН-26ФКГМ

Марка	Тип електродв.	Потужність	Об/хв	Напруження, В	Продуктивність		Повний тиск	
					При мак. ККД	В роб. зоні	При мак. ККД	В роб. зоні
ДН-26ФКГМ	ДАЗО4-450Y-10	315	600	6000	163	53-279	450	455-161
	ДАЗО4-560Х-8	630	750	6000	204	65-350	692	701-250

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Характеристика шкідливих та небезпечних факторів феросплавного виробництва

Виплавка феросплавів у руднотермічних печах є високотемпературним процесом, що супроводжується викидами газів, забруднених шкідливими домішками та високодисперсним пилом. Під час роботи електропечей шкідливі домішки виділяються з верхньої частини печі та льотки. Ці викиди захоплюються зонтом, розташованим над піччю, після чого надходять до газоочисних установок, де осідають на фільтрах і у безпечній кількості випускаються в атмосферу.

Під час виплавки низьковуглецевого ферохрому як відновник використовується вуглець, що вводиться до складу шихти у формі коксу. Процес відновлення компонентів шихти вуглецем супроводжується інтенсивним виділенням газу, який здебільшого складається з оксиду вуглецю.

Нормативні та фактичні значення показників виробничого середовища й трудового процесу наведено у таблицях 3.1 і 3.2.

Таблиця 3.1 – Показники параметрів в робочій зоні в феросплавному цеху

№ п/з	Найменування показників	Нормативні значення, ГДР, ГДК	Фактичні значення
1	Шум еквівалентний, dB	80,0	82,0
2	Параметри мікроклімату:		
	температура повітря, °С	15 – 26	31 – 37
	швидкість руху повітря, м/с	0,2 – 0,3	0,29
	відносна вологість повітря, %	55	34 – 41
3	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м^3	2,0	5,3

Таблиця 3.2 – Шкідливі хімічні речовини в повітрі робочої зони

Речовини	Нормативні значення, ГДК	Фактичні значення
1 клас небезпеки		
- оксиды марганца, мг/м³	0,05	1,124
3-4 класи небезпеки		
- кремния диоксид, мг/м³	2,0	3,68
- углерод оксид, мг/м³	20,0	5,85

Згідно з представленими даними, можна зробити такі висновки:

- рівень запиленості в цеху значно перевищує допустимі норми, що створює ризик забруднення легенів і подразнення шкіри.

- рівень шуму лише трохи перевищує допустимі значення і майже не впливає негативно на здоров'я людини.

- середня температура повітря у цеху становить 31-37 °C, що перевищує нормативні значення. Це призводить до зниження вологості з допустимих 55% до 34-41%, що погіршує комфортні умови праці.

Згідно з табл. 3.2, концентрація оксиду марганцю в повітрі біля плавильної печі перевищує гранично допустиму концентрацію у 22 рази, що з часом може призвести до манганоконусу. Оксид кремнію знаходиться практично у межах нормативів.

Наслідки для здоров’я:

- Висока запиленість робочого приміщення сприяє засміченню легенів і може викликати серйозні захворювання, такі як силікоз.
- Пари марганцю через дихальну систему потрапляють у кров і кісткові тканини, що спричиняє порушення в роботі центральної нервової системи.
- Підвищена температура й низька вологість висушують організм, що може викликати зневоднення і тепловий удар.
- Викиди оксиду вуглецю становлять ризик отруєння та задухи.

Проект опалення розроблено для підтримки допустимої температури в приміщеннях із урахуванням:

- тепловтрат через огороджувальні конструкції;
- витрат тепла на підігрів зовнішнього повітря;

- підігріву матеріалів, обладнання тощо;
- теплових потоків від освітлення, механізмів та інших джерел.

Поряд із природним боковим освітленням застосовується штучне, яке поділяється на:

Робоче освітлення: встановлене під фермами будівлі й на робочих місцях. Використовуються світильники з лампами накалювання потужністю до 1500 кВт або лампи ДРЛ до 250 Вт.

Аварійне освітлення: передбачене для роботи у разі відключення основного освітлення.

Евакуаційне освітлення: забезпечує мінімальну освітленість підлоги основних проходів і сходів.

Такі заходи спрямовані на створення безпечних і комфортних умов праці в цеху.

3.2 Електрообладнання та безпека

Електроприймачі цеху належать до другої категорії надійності електропостачання. Перерва в енергопостачанні може призвести до значних простоїв обладнання, транспорту і втрат продукції.

На робочій платформі встановлено кнопку аварійного відключення печі. Пічний трансформатор розташовано в окремому приміщенні з системою захисту відповідно до ПУЕ.

Пульт керування електричним режимом обладнаний контрольно-вимірювальними приладами для безпечної експлуатації. Для зручності моніторингу на робочій платформі встановлені дублюючі амперметри, а щити пульта обладнані світловою сигналізацією, яка вказує на стан печі. Блокувальні механізми запобігають доступу до струмопровідних частин мережі.

Гігієнічна оцінка умов праці у плавильному цеху феросплавного виробництва: умови та характер праці належать до III класу III ступеня.

Оцінка технічного та організаційного рівня: відповідає проектам, нормативно-технічній документації, стандартам безпеки та нормам охорони праці.

Атестація робочого місця. Робоче місце має два фактори III ступеня та один I ступеня. Згідно з цими показниками, робоче місце плавильника слід вважати таким, що має особливо шкідливі та особливо важкі умови праці.

3.3 Засоби індивідуального захисту

Засоби індивідуального захисту необхідні для забезпечення безпеки працівників від шкідливих і небезпечних впливів виробничого процесу. Виконуючи роботи, слід використовувати спецодяг, взуття та інші засоби захисту, передбачені нормами охорони праці. До таких засобів належать страхувальні пояси, захисні щитки та окуляри, діелектричні рукавиці, калоші, каски, рукавиці, респіратори тощо.

Під час виконання робіт необхідно дотримуватися правил використання спецодягу, спецвзуття та інших засобів індивідуального захисту:

- при роботі з розплавленим металом куртка повинна бути випущена поверх штанів, штани – надягнуті поверх взуття, а рукави перекривати верхній край рукавиць (рукавичок);
- при обслуговуванні верстатів, механізмів чи інших пристроїв, де існує ризик затягування одягу в рухомі частини, штани необхідно заправити у взуття, а рукави застебнути. Категорично забороняється закочувати рукави, працювати без головного убору або у невідповідному взутті, такому як тапочки, босоніжки чи інша легка незащитна обувь.

Для покращення захисту також рекомендується:

- проводити регулярну перевірку стану засобів індивідуального захисту перед початком роботи;

- використовувати додаткові засоби захисту, такі як теплозахисні фартухи або екрануючі щитки, залежно від характеру виконуваних завдань;
- забезпечувати своєчасну заміну пошкоджених або зношених засобів захисту.

Дотримання цих правил значно знижує ризики травмування та негативного впливу шкідливих факторів на здоров'я працівників.

Таблиця 3.3 – Річна необхідність в засобах індивідуального захисту робітників для 2-х плавильних печей РКО та кранових машиністів

№ п/п	Посада	Кількість робітників, що працюють на роб.місці	Засоби індивідуального захисту	Терм. прид, міс.	Загальна кіл. На рік
1	Плавильщик	16	суконна куртка суконні штани черевики захисні окуляри вачаґи каска натільна білизна щиток	12 6 6 6 1 - 12 6	16 32 32 32 192 - 16 32
2	Горновий	8	суконна куртка суконні штани черевики натільна білизна щиток захисні окуляри вачаґи каска	12 6 6 12 12 - 1 -	8 16 16 8 8 - 96 -
3	Кран. машинист	16	х/б костюм х/б рукавички черевики захисні окуляри каска	12 2 6 - -	16 96 32 - -

Респіраторами щозмінно забезпечується весь колектив зміни. Це необхідно для захисту працівників від шкідливих пилу та газів, які утворюються під час технологічного процесу. Респіратори повинні відповідати встановленим стандартам безпеки та забезпечувати належний рівень фільтрації, щоб мінімізувати вплив шкідливих речовин на організм

працівників. Всі працівники повинні регулярно перевіряти стан своїх респіраторів і за потреби замінювати їх на нові або очищати відповідно до інструкцій.

3.4 Протипожежний захист

Будівля плавильного корпусу побудована з вогнестійких матеріалів, таких як сталь, бетонні плити та цегла, що належать до групи вогнестійкості Г-2. Несучі колони захищені шаром негорючих матеріалів товщиною 10-15 мм. Для забезпечення безпеки будівля оснащена вільними входами та виходами з обох торців, а також передбачено шість аварійних виходів на випадок пожежі. Усі проходи повинні залишатися вільними від перешкод, і загромадження в них забороняється.

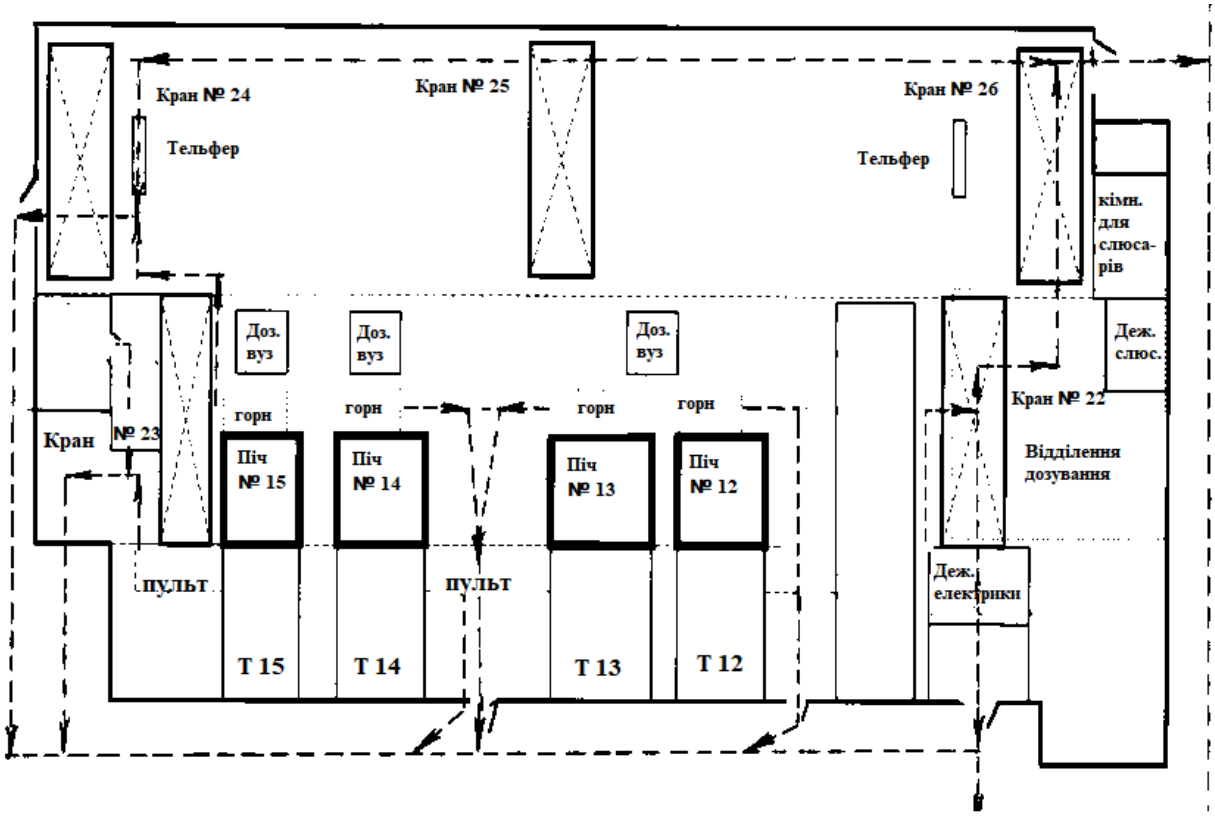


Рисунок 3.1 – Маршрути евакуації персоналу при виникненні надзвичайних ситуацій

Електродна, плавильна, горнові майданчики та робочі місця для горнового і плавильника повинні утримуватися в чистоті, не допускається

їхнє захламлення сторонніми предметами та горючими матеріалами (речовинами).

Електродвигуни для переміщення електродів, що знаходяться на редукторній майданчику печі, де існує загроза попадання продуктів плавлення під час їхнього викиду, встановлені в закритому вогнестійкому виконанні. Між ванною печі та редукторним майданчиком передбачена штора з негорючого матеріалу, що запобігає потраплянню розплаву на редукторну площадку.

Уся електропроводка для електродвигунів приводів печі, ланцюгів управління, сигналізації та освітлення повинна прокладатися в металевих трубах із проводами з негорючих електроізоляційних матеріалів на основі фторопласту та повинна бути заземлена.

Для уникнення деформації колон при виході металу з ванни печі (прогар кожуха) передбачена термоізоляція.

Для контролю наявності пожежі в камері трансформатора встановлено шлейф з температурними датчиками, що спрацьовують на зміну температури, і сигнал виведено на прилад сигналізації пожежі "Сигнал-37", встановлений на пульті управління печі.

На рис. 3.2 наведена схема розташування пожежних гідрантів цеху.

Для гасіння пожежі в камері трансформатора на пульті управління встановлено систему пожежогасіння пилову «ОПА – 100» у кількості 2 одиниць. Для гасіння пожежі на горновому майданчику встановлена установка пожежогасіння «апарат Іванова» – по одній на кожен майданчик. У кімнаті чергових електриків розташовані вогнегасники ОП-10, ОУ-10 – по два екземпляри. Для запобігання прогару ванни печі та витоку розплаву, що може призвести до виникнення пожежі, в конструкції ванни печі передбачена установка термопар, які контролюють температуру нагріву футеровки печі з виведенням сигналу на пульт управління.

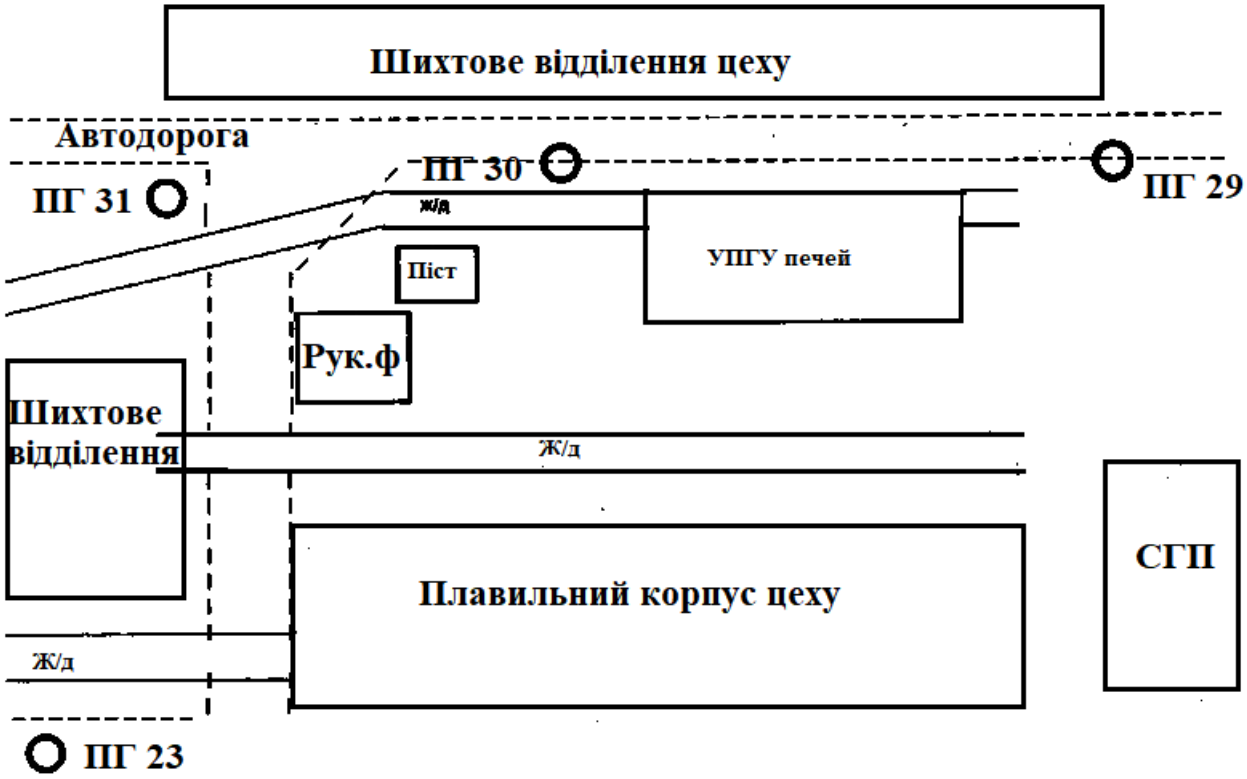


Рисунок 3.2 – Схема розташування пожежних гідрантів цеху

Захист від прямих ударів блискавки будівель і споруд плавильного цеху феросплавного цеху відноситься до 3 категорії за пристроєм і здійснюється за допомогою встановлення на будівлю та газовідвідні труби неізольованих стержневих і тросових блискавкозахисних систем.

При цьому блискавкоприймальна сітка, яка використовується для захисту від прямих ударів блискавки та укладається на плоский дах, повинна мати осередки розміром 150 мм² (наприклад, осередки 12 х 12 мм). Крім того, величина імпульсного опору заземлення для захисту від прямих ударів блискавки не повинна перевищувати 40 Ом, а в групах з питомим опором 500 Ом м та вище – допускається не більше 40 Ом.

Для металевих труб, веж та башт установка блискавкоприймальних пристроїв та прокладка токоотводів не вимагаються.

Для захисту зовнішніх металевих конструкцій і комунікацій від заносу високих потенціалів необхідно забезпечити їх з'єднання з заземлювачем з імпульсним опором не більше 20 Ом.

Як молніезахист приймається стержневий молніпровід, що складається з двох вертикальних стержнів, встановлених поблизу захищуваної споруди.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Капітальні вкладення в будівництво системи газоочищення

Необхідна сума капітальних вкладень у основні фонди визначається за допомогою методу прямого розрахунку окремих складових витрат.

Загалом капітальні вкладення включають такі основні статті витрат:

- будівництво та реконструкція будівель і споруд;
- закупівля та установка технологічного і енергетичного обладнання;
- придбання підйомно-транспортних механізмів;
- оснащення системами контролю та автоматизації;
- інші капітальні витрати, які можуть виникнути під час реалізації проекту.

Вартість основного обладнання наведена в табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Капітальні вкладення

№ п/п	Показники	Проєктний варіант		
		Кількість, шт.	Ціна за од., грн.	Сума, тис. грн.
1	Рукавний фільтр	4	5300000	21200
	Устаткування для розвантаження пилу	12	270000	3240
	Димотяг	4	240000	960
	Електродвигун	4	175800	703,2
	Устаткування ділянки утилізації вловленого пилу			245,5
Вартість основного устаткування				26348,7
	Димова труба з/б	4	115000	460
Вартість основного устаткування та споруд				26808,7
	Газоходи			460
	КВП			6587,175
РАЗОМ				33855,875
2	Вартість монтажу обладнання			10 018,763

	Вартість монтажу комунікацій			69
3	Вартість будівель			540
4	Накладні витрати			6 771,175
Всього капітальних вкладень		тис.грн.		51 254,813
Питомі капітальні вкладення		грн./ 1000м^3		5,262

Вартість контрольно-вимірювальних приладів становитиме 25% від загальної вартості газоочисного обладнання. Ці прилади необхідні для забезпечення точної роботи газоочисної системи, контролю за параметрами процесів і забезпечення відповідності екологічним стандартам. Вони включають датчики, вимірювальні прилади та системи автоматичного моніторингу, що дозволяють оперативно реагувати на зміни в процесі очищення газів і гарантують ефективність роботи всього комплексу.

$$C_{КВП} = 0{,}25 \cdot C_{ОСН.У.},$$

Вартість основного обладнання, включаючи витрати на встановлення димової труби, складе:

Це охоплює всі витрати на закупівлю, транспортування та монтаж основного технологічного устаткування, а також на будівництво або реконструкцію димової труби, необхідної для ефективного виведення відпрацьованих газів. Урахування цих витрат є важливим для точного розрахунку загальних капітальних вкладень у проект, оскільки димова труба є ключовим елементом для забезпечення безпеки й екологічних стандартів роботи установки.

Вартість встановлення і монтажу устаткування:

$$См.у. = 0{,}3 \cdot (Сосн.у.с, + Сквп), грн$$

Вартість монтажу комунікацій:

$$См.к. = 0,15 \cdotСком., грн$$

Накладні витрати, якщо монтаж здійснюється спеціалізованими організаціями:

$$Сн = 0,2 \cdot Су., грн.$$

Вартість будівель, приймаємо розміри шатра для фільтру: (10 х 30 х 4) м, за 1м^3 будівлі 450 грн.

4.2 Експлуатаційні витрати

Річні експлуатаційні витрати на очистку газів, грн./рік

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

де C_1 – витрати на електроенергію, грн.;

C_2 – витрати на основні та допоміжні матеріали, грн.;

C_3 – амортизаційні відрахування від основного та ремонтного фондів, грн.;

C_4 – основна і додаткова зарплата виробничих робітників, грн.;

C_5 – єдиний соціальний внесок, 22% від вартості основних фондів, грн.;

C_6 – витрати на поточний ремонт та утримання основних фондів, грн.;

C_7 – загальновиробничі витрати, грн.

Енергетичні витрати:

$$C_1 = r \cdot l \cdot N \cdot \tau,$$

де r – вартість електроенергії, для промислових підприємств, грн./кВт·год. ;

l – коефіцієнт, що враховує утримання обслуговуючого персоналу, приймаємо l =1,1;

N – сумарна потужність електродвигунів до димососів та агрегатам живлення, кВт, N =2549,6 кВт·год.

Амортизаційні відрахування від основних фондів ($С_З$) визначається множенням вартості основних фондів на відповідні норми амортизаційних відрахувань:

- для устаткування – 15%;
- для будинку й споруджень - 5%;
- для мереж і комунікацій – 5%;
- для КВП – 25%.

Результати розрахунку заносимо до табл. 3.2.

Витрати на поточний ремонт та утримання основних засобів становлять 15% від амортизаційних відрахувань:

$$Ср.ф. = 0,15 \cdot С_{заг},$$

де $С_{заг}$ - амортизаційні відрахування від основних фондів, грн

Тоді амортизаційні відрахування будуть складатися:

$$С_З = С_{заг} + Ср.ф.$$

Результати розрахунку заносимо до табл. 3.2.

Загальновиробничі витрати приймаємо в розмірі 30% від суми основної та додаткової заробітної плати основних виробничих робітників:

$$С_7 = 0,30 \cdot (С_4)$$

Економія від утилізації продуктів, що вловлюються в процесі очищення газу:

$$E_y = Q_{ут} \cdot Ц,$$

де $Q_{ут}$ – кількість утилізованого продукту, т/рік;

Ц – ціна відпускна за 1т, Ц = 326 грн.

Уловлений пил повертається у виробництво.

Результати розрахунку заносимо до табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Експлуатаційні витрати на очищення газу

№	Найменування	Один. виміру	Цена, грн		Проектний варіант	
					Величина витрат , грн/1000м^3	Витрати за год
1	2	3	4	5	6	7
1	Електроенергія	кВт·год	1.696	3.397	5.20337	50686953.11
2	Амортизаційні відрахування	грн			0.58228	5672098.75
3	ЗП основний робочих					
	- основна	грн			0.04274	416361.60
	- додаткова	грн			0.03307	322159.48
4	Єдиний соціальний внесок	грн			0.01668	162474.64
5	Витрати на ремонт та отримання обор.	грн			0.08734	850814.81
6	Загальновиробничі витрати	грн			0.02274	221556.32
7	Загальні витрати на очистку	грн			5.98823	58332418.71
8	Економія від утилізації			94		8238558.842
9	Зменшення екологічного налогу					
	- викиди від стаціонарних джерел		83.07			8089563.610
					4.27	41566075.050

4.3 Техніко-економічні показники

Термін окупності капітальних вкладень становить:

$$T_{0к} = \frac{K}{E_y} = \frac{51254813}{8238558,4} = 6,22 \text{ р.}$$

Визначаємо термін окупності капітальних вкладень з урахуванням екологічного податку:

$$T_{0к} = \frac{K}{E_у + \Delta П} = \frac{51254813}{8238558{,}4 + 8527784{,}82} = 3{,}06 \text{ років}$$

Тоді, далі розраховуємо коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень в реалізацію проєктних рішень:

$$E_{пр} = \frac{1}{T_{ок}} = \frac{E_у}{K} = 0{,}161 \text{ грн/(рік·грн)}$$

При врахуванні екологічного податкту величина коефіцієнту економічної ефективності капітальних вкладень буде становити:

$$E_{пр} = \frac{1}{T_{ок}} = 0{,}327 \text{ грн/(рік·грн)}$$

Нормативний термін окупності (Тн) становить 6,67 років, а нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень (Ен) дорівнює 0,15. Для запропонованого проекту, термін окупності (Ток) є меншим за нормативний (Ток < Тн), а проектний коефіцієнт економічної ефективності (Епр) перевищує нормативний (Епр > Ен). Це свідчить про те, що запропонована система очистки газів із утилізацією вловленого пилу є економічно обґрунтованою і доцільною для реалізації, оскільки вона забезпечує скорочення строків повернення інвестицій та перевищення вимог щодо економічної ефективності.

Згідно з результатами проведених розрахунків, зведені дані буде занесено до табл.3.3 для подальшого аналізу та прийняття рішень.

Результати розрахунків заносимо до табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Техніко-економічні показники запроектованої установки

№	Найменування	Один. виміру	Величина
1.	Річна продуктивність газоочисної установки	млн. $м^3$	9603,97
2.	Технічна норма продуктивності, від 4 печей	$м^3$/год	1400000
3.	Початкова запиленість	г/$м^3$	3,0
4.	Кінцева запиленість	г/$м^3$	0,015
5.	Кількість вловленого пилу	т	96010,89
6.	Кількість утилізованого пилу	т	86409,80
7.	Капітальні вкладення	грн	51254813
8.	Електроенергія	грн.	50686,953
9.	ЗП основний робітників		
	- основна	грн.	416361.60
	- додаткова	грн.	322159.48
10.	Економія від утилізації	грн.	8238558.842
11.	Зменшення екологічного податку		
	- викиди від стаціонарних джерел	грн.	8089563.610
12.	Загальні експлуатаційні витрати	грн.	41566075.050
13.	Термін окупності капітальних вкладень	рік	6,22
14.	Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень	грн./(грн·рік)	0,161
15.	Термін окупності капітальних вкладень з урахуванням екологічного податку	рік	3,06
16.	Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень з урахуванням еконалогу	грн./(грн·рік)	0,327

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи були отримані такі висновки:

1. При виробництві феросплавів як у відкритих, так і в закритих печах утворюються гази, що містять багато пилу та оксиду вуглецю (до 80% об’єму). Крім того, в цих газах є ціаніди, фториди, сірчисті та інші шкідливі речовини. Джерелами забруднення є також печі для сушіння та випалу шихтових матеріалів. Оскільки в складних вихідних газах міститься багато хімічних сполук, їх очищення потребує значних витрат.

2. Відкриті печі змушують оксид вуглецю (CO) з'єднуватися з киснем повітря, що спричиняє його горіння з утворенням CO_2. Цей процес також призводить до розкладу ціанідних сполук, але інші шкідливі речовини потрапляють в атмосферу.

3. Газ, що виходить з відкритих очищається через витяжні системи, такі як зонти, встановлені над піччю. Під час відведення газ змішується з повітрям, і шкідливі компоненти горять. Однак великі об’єми таких газів потребують використання великих установок для очищення, що пов'язано з високими експлуатаційними витратами. Частина газу потрапляє в цех, забруднюючи робоче середовище. Газ видаляється через ліхтар. Газові потоки на очищення мають запиленість 1-3 г/м³.

4. Для сухого очищення газів відкритих ферросплавних печей обрано рукавний фільтр з імпульсною регенерацією типу ФРІР-4600. В якості фільтрувальної тканини обрано голкопробивний поліефірний фетр з каркасом полотняного плетіння з філаментних ниток.

5. Нормативний термін окупності (Тн) становить 6,67 років, а нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень (Ен) дорівнює 0,15. Для запропонованого проекту, термін окупності (Ток=3,06 років) є меншим за нормативний (Ток < Тн), а проектний коефіцієнт економічної ефективності (Епр=0,327 грн./грн·рік) перевищує нормативний

(Епр > Ен). Це свідчить про те, що запропонована система очистки газів із утилізацією вловленого пилу є економічно обґрунтованою і доцільною для реалізації, оскільки вона забезпечує скорочення строків повернення інвестицій та перевищення вимог щодо економічної ефективності.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гасик М.І., Лякішев М.П., Гасик М.М. Фізико-хімія і технологія електроферосплавів : підручник. Дніпропетровськ : Системні технології, 2009. 452 с.

2. Гладких В.А., Гасик М.І., Овчарук А.М., Пройдак Ю.С. Проектування і обладнання електросталеплавильних і феросплавних цехів: підручник. Дніропетровськ : Системи технології, 2009. 692 с.

3. Охотський В.Б., Костьолов О.Л., Сімонов В.К. Теорія металургійних процесів : підручник. Київ : ІЗНН, 1997. 512 с.

4. Поляков О. І., Гасик М. І. Електрометалургія феросплавів, спеціальних сталей і сплавів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямком підготов. «Металургія». Дніпропетровськ : Журфонд, 2009. 116 с.

5. Козлов Г.О. Рудотермічні печі: навчальний посібник для самостійної роботи студентів спеціальності: 5.090409.01 «Електрометалургія сталі і феросплавів». Нікополь : НТ НМетАУ, 2005. 23 с.

6. Марганцеві руди України. Колективна монографія. Відділення морської геології та осадового рудоутворення ЦНПМ НАН України. Київ : Наукова думка. 172 с.

7. N.J.Welham. Activation of the carbothermic reduction of manganese ore. *International Journal of Mineral Processing.* Volume 67, Issues 1–4, November 2002, pp. 187-198. https://doi.org/10.1016/S0301- 7516(02)00045-5.

8. K.S.A. Halim, M. Bahgat, M.B. Morsi, K. Elbarawy. Pre-reduction of manganese ores for ferromanganese industry. *Ironmak Steelmak,* 38 (2011), pp. 279-284.

9. Guo Chen,Lei Li, Changyuan Tao, Zuohua Liu, Nanxiong Chen, Jinhui Peng. Effects of microwave heating on microstructures and structure properties of the manganese ore. *Journal of Alloys and Compounds.* Volume 657, 5 February 2016, Pages 515-5185 February 2016, Pages 515- 518.

10. Рукавний фільтр - Лазарев В.А. Веб-сайт. https://findpatent.ua/patent/223/2233697.html (дата звернення: 21.11.2024).

11. 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.

12. Геврик, Є.О. Охорона праці : навч. посібник для внз : [рек. М-вом освіти і науки України]. Київ : Ельга, Ніка-Центр, 2004. 279 с.

13. 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.