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 *«Розробка системи сухої очистки відхідних газів феросплавних печей при виплавці силікомарганцю»*

Виконав: студент ___*2*__курсу, групи *8.1833*_____

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

спеціалізації
_____
(шифр і назва)

___*М.Б. Кравченко*_____

Керівник *доцент, к.ф.-м.н. Вагін А.В.*_____

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

_____*Кравченко Михайло Борисович* _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) *« Розробка системи сухої очистки відхідних газів феросплавних печей при виплавці силікомарганцю»*_____
_____

керівник роботи_____*Вагін Андрій Вікторович*_____*к.ф.-м.н., доцент*____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від *"__"*_____ 2024 року *№* _____

2. Строк подання студентом роботи _____*06.12.2024*_____

3. Вихідні дані до роботи розробити системи очищення відхідних газів в умовах феросплавного цеху._____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *вступ, технологія виробництва силікомарганцю, екологія феросплавного виробництва, охорона праці та техногенна безпека, економічна ефективність запропонованих заходів, висновки, перелік джерел посилань.*_____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
*презентаційний матеріал на 14 слайдах (на 14 сторінках)*_____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Розділ 1	*Вагін А.В., доцент*	
Розділ 2	*Вагін А.В., доцент*	
Розділ 3	*Вагін А.В., доцент*	
Розділ 4	*Вагін А.В., доцент*	
Нормоконтроль	*Вагін А.В., доцент*	

7. Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Вступ*		
2	*Технологія виробництва силікомарганцю*		
3	*Екологія феросплавного виробництва*		
4	*Охорона праці та техногенна безпека*		
5	*Економічна ефективність запропонованих заходів*		
6	*Презентація*		

Студент _____ *Михайло КРАВЧЕНКО*

Керівник роботи _____ *Андрій ВАГІН*

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *Андрій ВАГІН*

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 82 стор., 18 табл., 5 рис., 15 джерел.

РУДНО-ТЕРМІЧНА ПІЧ, ВІДХІДНІ ГАЗИ, ЗАПИЛЕНІСТЬ, ГАЗООЧИЩЕННЯ, РУКАВНИЙ ФІЛЬТР, ГАЗОВІДВІДНИЙ ТРАКТ, ДИМОТЯГ, ДИМОВА ТРУБА.

Об'єкт дослідження – ділянка газоочищення феросплавного цеху.

Предмет дослідження – система сухого очищення відхідних газів від закритих руднотермічних печей при виплавці силікомарганцю.

Мета роботи – розробка системи очищення відхідних газів в умовах феросплавного цеху.

У кваліфікаційній роботі розглянуто технологію виплавки силікомарганцю, характеристику газів, що відбираються від феросплавної печі. Основним шкідливим компонентом газів, що відходять, є тонкодисперсний пил. Проаналізовано існуючі схеми очищення газів та обґрунтовано вибір сухого очищення газів у рукавному фільтрі. Здійснено розрахунок газоочисного апарату, газовідвідного тракту та вибір димотягу. Проаналізовано небезпечні та шкідливі фактори, що мають місце при виплавці силікомарганцю. Здійснено розрахунок теплового опромінення робітників на різній відстані від печі. Запропоновано заходи щодо забезпечення необхідних умов з охорони праці та техніки безпеки на робочому місці. Виконано розрахунки річної виробничої програми ділянки газоочищення та чисельності основних робітників. Розраховані капітальні та експлуатаційні витрати, річний економічний ефект від впровадження розробленого варіанту та термін окупності додаткових капітальних вкладень.

ЗМІСТ

ВСТУП . . . 6
1 ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА СИЛІКОМАРГАНЦЮ . . . 7
1.1 Технологія виробництва силікомарганцю 7
1.2 Технологічне обладнання процесу 11
1.3 Характеристика пилогазових викидів 14
2 ЕКОЛОГІЯ ФЕРОСПЛАВНОГО ВИРОБНИЦТВА . . . 18
2.1 Аналіз схем очищення відхідних газів феросплавних печей . 18
2.2 Опис проєктної системи очищення газів, що відходять від відкритих печей виплавки металевого марганцю 21
2.3 Розрахунок рукавного фільтра 29
2.4 Аеродинамічний розрахунок газового тракту . . . 36
2.5 Вибір димотяга 40
2.7 Утилізація уловленого продукту 45
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 49
3.1 Характеристика ступеня безпеки технологічного процесу виробництва силікомарганцю 49
3.2 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища 51
3.3 Технічні рішення з виробничої санітарії 54
3.4 Заходи з техніки безпеки 58
3.5 Заходи пожежної безпеки 59
3.6 Розрахунок рівня тепловиділень на різній відстані від джерела 61
4 ЕКОНОЧІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ 65
4.1 Організація роботи на дільниці очищення газів . . . 65
4.2 Розрахунок капітальних витрат на очищення газу . . 75
ВИСНОВКИ 80
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 81

ВСТУП

Все життя людини проходить у повітряному середовищі. Його здоров'я, працездатність, саме існування залежать від якості повітря, значною мірою від того, наскільки повітря вільне від забруднень.

Технологічні процеси в чорній металургії можуть вважатися прогресивними, ефективними тільки в тому випадку, якщо поряд зі збільшенням випуску продукції, підвищенням її якості та інших техніко-економічних показників досягається скорочення викидів у навколишнє природне середовище.

Завдяки очищенню викидів перед надходженням в атмосферу запобігається забруднення атмосферного повітря. Очищення газу дозволяє повернути у виробництво або використовувати для інших цілей речовини, що містяться у викидах. Це повністю або частково окупає витрати на очищення.

Вимоги до якості повітря постійно зростають. У зв'язку з цим необхідно цілеспрямовано впроваджувати нові методи та досконаліше обладнання для очищення газів від пилу.

Виробництво силікомарганцю супроводжується утворенням газів, що містять тонкодисперсний пил, що важко вловлюється та складається в основному з частинок менше 4 мкм. Пил містить цінні компоненти, такі як оксиди марганцю, заліза, кремнію. Мета даної кваліфікаційної роботи – зниження концентрації пилу в газах, що викидаються у навколишнє середовище, утилізація уловленого продукту, забезпечення нормальних умов праці на робочих місцях.

Мета кваліфікаційної роботи – зниження концентрації пилу в газах, що викидаються у навколишнє середовище, утилізація уловленого продукту, забезпечення нормальних умов праці на робочих місцях.

1 ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА СИЛІКОМАРГАНЦЮ

В даний час до складу ВАТ «Запорізький феросплавний завод» входить чотири плавильних цеха, в яких розташовані відкриті і закриті рудно-термічні печі потужністю 21, 23 27,6 МВА. Завод виробляє товарний і передовий силікомарганець, високовуглеродистий феромарганець, феросилікомарганець, марганець металевий, феросиліцій та інші феросплави.

Плавильний цех № 1 спеціалізується на виробництві товарного і передільного силікомарганцю. У цеху встановлено сім закритих рудно-термічних печей потужністю 23 МВА і відкрита піч № 8 тієї ж потужності.

1.1 Технологія виробництва силікомарганцю

Силікомарганець являє собою комплексний розкислювач, що широко застосовується під час виплавки сталі в кисневих конвертерах, електричних і мартенівських печах. Підвищення якості сталі під час заміни феросиліцію силікомарганцем обумовлює високі темпи збільшення обсягу його виробництва. За хімічним складом силікомарганець має задовольняти вимогам ГОСТ 4756-77 і ДСТУ 3548-97 (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Хімічний склад силікомарганцю

Марка сплаву	Масовий вміст, %					
	Si	Mn не меньше	C не більше	P		S
				клас А	клас Б	
				не більше		
МнС25	≥25,0	60	0,5	0,05	0,25	0,02
МнС22	20,0 – 25,0	65	1,0	0,10	0,35	0,02
МнС17	15,0 – 20,0	65	2,5	0,10	0,60	0,02
МнС12	10,0 – 15,0	65	3,5	0,20	0,60	0,02

Силікомарганець являє собою багатокомпонентний сплав. Вміст вуглецю в ньому залежить від концентрації кремнію: чим більше кремнію в сплаві, тим нижча розчинність у ньому вуглецю.

Сплави марок класу Б можуть вироблятися як з багатих, так і з бідних руд. На вилучення марганцю і допустиму відносну концентрацію фосфору (P/Mn) впливає в основному якість руди, основною характеристикою якої є відношення $(Mn)_р/(SiO_2)_р$. [1].

Шихта для плавки силікомарганцю з багатих руд найчастіше складається з марганцевої руди, кварциту, відновника - коксу і невеликих добавок флюсу, зазвичай доломіту. У разі використання бідної руди з вмістом у порожній породі 4...6 % CaO і MgO добавки флюсу майже не змінюють активності оксидів марганцю в шлаку і лише збільшують його кількість. Тому ефективнішим для підвищення вилучення марганцю з цих руд є введення в шихту карбонатних руд, особливо при введенні в шихту розпушувачів - газового вугілля і щепа [1].

Марки силікомарганцю класу А використовуються переважно як передільний напівпродукт - відновник для середньо- і маловуглецевого феромарганцю і металевого марганцю. Сплави зазвичай плавлять на шихті, що складається з малофосфористого шлаку (МФШ), кварциту і коксу або на суміші МФШ, багатого концентрату, шлаку середньовуглецевого феромарганцю, кварциту і коксу.

Висококремнистий силікомарганець виплавляють з руди. При виплавці товарного силікомарганцю марок МнС14 - МнС20 застосовують марганцеві концентрати або агломерат. Відмінною особливістю процесу виплавки передільного низькофосфористого і низьковуглецевого силікомарганцю є використання в шихті як компонента, що містить марганець, передільного низькофосфористого шлаку. Ця відмінність у якості марганцевмісного компонента шихти істотно впливає на кінетику процесу.

Утворення стандартного за вмістом кремнію сплаву відбувається в напрямку поступового збагачення вуглецевих частинок металу

відновлюваним кремнієм, постійно змінюються склад частинок сплаву, що ускладнює точний опис хімічного процесу отримання силікомарганцю за допомогою стехіометричної реакції. Хімізм процесу виплавки товарного і передільного характеризується однотипними реакціями відновлення марганцю вуглецем з шихти в твердо-рідкому стані і кремнію зі шлакового розплаву насиченого кремнеземом. Тому, не торкаючись механізму послідовності реакцій, утворення проміжного і кінцевого продукту - силікомарганцю, їх можна описати такими хімічними ланками.

Спочатку розвиваються процеси відновлення вищих оксидів марганцю на поверхні колошника за участю CO відповідно до принципу послідовних перетворень А.А. Байкова за схемою:

$$MnO_2 \rightarrow Mn_2O_3 \rightarrow Mn_3O_4 \rightarrow MnO.$$

Відновлювальні реакції з утворенням проміжних продуктів протікають за реакціями

$$2\ MnO_2 + CO \rightarrow Mn_2O_3 + CO_2\ ;$$

$$3\ Mn_2O_3 + CO \rightarrow 2\ Mn_3O_4 + CO_2\ ;$$

$$Mn_3O_4 + CO \rightarrow 3\ MnO + CO_2.$$

Крім того, оксиди марганцю можуть відновлюватися твердим вуглецем:

$$Mn_3O_4 + C \rightarrow 3\ MnO + CO\ ;$$

$$[MnFe]C_zSi_y + C \rightarrow [MnFe]_{13}C_2Si_3 + [MnFe]_5Si_3C_x + CO$$

Найбільш важко відновлюваним оксидом марганцю є MnO. Він відновлюється за високих температур переважно вуглецем. Реакція починається при температурі 1550...1700 К з твердої шихти і супроводжується утворенням карбідів Mn_3C і Mn_7C_3 [1] за реакцією [2]:

$$MnO + (1 + x)\ C = MnC_x + CO$$

$$\Delta G_т^0 = 196923 - 123{,}0\ T.$$

При p_{CO} = 0,1 Мпа $\Delta G_т^0 = 0$ при 1324 ^{0}C.

У зоні високих температур помітного розвитку набуває реакція відновлення кремнезему. Відновлення кремнію з чистого SiO_2 вуглецем відбувається за реакцією:

$$SiO_2 + 2\ C = Si + 2\ CO$$

$$\Delta G_т^0 = 697390 - 359{,}07\ T.$$

При p_{CO} = 0,1 Мпа $\Delta G_т^0 = 0$ при 1669 ^{0}C.

Утворені продукти відновлення MnC_x і Si взаємодіють між собою, утворюють розплав системи Mn-Si-C_x

$$SiO_2 + 2\ C + MnC_x = [Mn\text{-}Si\text{-}C_x] + 2\ CO.$$

Теоретична температура початку протікання цієї реакції визначається вмістом кремнію у сплаві.

Ймовірно протікання реакцій відновлення кремнію на межі розділу фаз оксидний і кремнеземистий шлаковий розплав - вуглецевий відновник і взаємодії вуглецю з розплаву з кремнеземом.

У діапазоні температур 1000...1500 ^{0}С протікають реакції:

$$CO_2 + C_{тв} \rightarrow 2\ CO$$

$$SiO_{газ} + 2\ C_{тв} \rightarrow SiC_{конд} + CO$$

Сполуки кремнію, проходячи через шар шихти змінної температури, постійно змінюються і реагують певною мірою одна з одною.

Виплавка силікомарганцю ведеться безперервним процесом з періодичними випуском металу і шлаку. Насправді процес має приховану періодичність. За даними І.Т. Жердева зі співробітниками про зміну будови ванни силікомарганцевої печі між випусками, після випуску в горн опускається слабко нагріта шихта, що має порівняно невеликий питомий електричний опір. У зв'язку з цим електроди після випуску піднімаються вгору. У процесі плавки утворюється значна кількість шихти і кінцевого шлаку, які змішуються з відновником і шихтою. Така суміш має вищий питомий електричний опір, ніж слабо нагріта шихта, внаслідок чого електроди опускаються вниз. Цей характер періодичності часто призводить до порушення ходу печі, що полягає в тому, що навколо електрода починає кипіти шлак із виходом на поверхню колошника. Для усунення цього доводиться дещо піднімати електроди і припиняти завантаження шихти під електроди, що є небажаним, оскільки знижує продуктивність печі.

1.2 Технологічне обладнання процесу

Для виплавки силікомарганцю використовують рудно-термічні печі (РТП) закритого типу РКЗ-23 і відкритого типу РКО-23.

Наведемо для прикладу технічну характеристику печі закритого типу РКЗ-23:

діаметр кожуха, мм	9640;
діаметр ванни, мм	7620;
висота кожуха, мм	5615;
глибина ванни від подини до склепіння, мм	3250;
діаметр електродів, мм	1200;
діаметр розпаду електродів, мм	3000.

Закриті печі обладнані трифазними трансформаторами типу ЕТЦП-23000/35 М з 17 ступенями напруги. Кожух печі овальний, виконаний з листової сталі. З метою кращого охолодження днища, кожух печі спирається на двотаврові балки, укладені на фундамент.

Для футерування печей застосовують шамотну цеглу і мастику для заповнення горизонтальних швів.

Печі РКЗ-23 вкриті водоохолоджуваними металевими склепіннями з вогнетривким захисним покриттям. Склепіння роз'ємне, з десятьма підвісними водоохолоджуваними плитами і завантажувальними воронками навколо електродів.

Електротримач складається з водоохолоджуваного кільця, контактних щік і натискного пристрою. Для кожної контактної щоки в кільце вмонтовано натискний пристрій, що складається зі сталевого стакана, виготовленого разом із кільцем.

Гідропідйомники служать для переміщення електродів по вертикалі. Основними вузлами гідропідйомника є: 2 плунжери, траверса, ущільнення, стакан.

Дозування шихтових матеріалів проводиться автоматично за допомогою візків, що саморозвантажуються, з вмонтованими вагами. Завантаження шихти в пічні бункери відбувається в міру її витрачання.

Завантаження шихти здійснюється труботечками з пічних бункерів через завантажувальні воронки, розташовані у склепінні печі навколо електродів. Проплавлення шихти у воронках неприпустиме, оскільки це

розгерметизує піч і призведе до зростання температури під склепінням внаслідок підсмоктувань повітря. Труботечки мають бути постійно заповнені шихтою. За необхідності, добавки шихти для коригування подаються на плавильний майданчик і завантажуються у лійки вручну Добавки коксику подаються труботечками на плавильний майданчик і, за необхідності, завантажуються в піч. Нормальна робота печей характеризується стійкою посадкою електродів, рівномірним сходом шихти. Тиск газу під склепінням має становити 3...5 Па.

Випуск сплаву здійснюється 4 рази на зміну. Оброблення льотки ведеться залізним прутом, а в разі потреби, пропалюється за допомогою графітового електрода. Випуск металу здійснюється у футерований, а шлаку - у сталеві ковші, встановлені каскадно. Тривалість випуску для нормально працюючої печі встановлюється 15...20 хвилин.

За будь-якого стану льотки біля горна печі завжди повинен знаходитися запасний ківш. Під час випуску відбирається проба сплаву для визначення вмісту кремнію. Після кожного випуску ківш має бути очищений від шлаку і металу і проконтрольований на справність футерування. Перед розливанням наявний у ковші шлак зливається до появи металу в струмені.

Розливання сплаву проводиться через копільник - приймач у глибокі виливниці, заправлені відсівами сплаву. Для збереження виливниць від роз'їдаючої дії проводиться їх обприскування вапняним розчином. Метал чергового випуску рівномірно розливається по всіх підготовлених виливницях шаром не більше 200 мм. Розливання металу від наступного випуску проводиться в ті самі виливниці на поверхню сплаву, що вже затвердів. Металом однієї плавки вважається весь силікомарганець, розлитий пошарово протягом однієї зміни.

Потім метал вивозиться в склад готової продукції. Готова продукція відвантажується з коробів через відвантажувальні бункери в залізничні вагони [3, 4].

1.3 Характеристика пилогазових викидів

Рівень пилогазових викидів є одним з основних показників досконалості технологічного процесу, оскільки він визначає ефективність використання сировини і палива та необхідні витрати на природоохоронні заходи. Специфіка феросплавного виробництва, пов'язана з переробкою вельми різноманітних за хімічним і дисперсним складом шихтових матеріалів, їхніми складними фізико-хімічними перетвореннями під час високотемпературних технологічних процесів, що відбуваються в недостатньо герметичних агрегатах, призводить до виділення значної кількості пилогазових викидів. Недостатня оснащеність численних джерел їх виділення ефективними системами локалізації, відведення та очищення сприяє забрудненню повітряного басейну і прилеглої до підприємств території токсичними речовинами в твердому і газоподібному стані (у вигляді плавильного пилу, оксидів вуглецю, азоту, сірчистого ангідриду).

Головним джерелом пилогазових викидів є феросплавні печі. Основними шкідливими речовинами є плавильний пил, оксид вуглецю, сірчистий газ, а також у невеликих кількостях оксиди азоту та особливо токсичні речовини - нітриди, ціаніди. Рівень і якісна характеристика викидів шкідливих речовин значною мірою залежить від марки сплаву, що виплавляється, потужності пічного трансформатора, ступеня герметичності технологічного агрегату [5].

Плавильний пил, що виділяється з феросплавної печі, утворюється як унаслідок випаровування (сублімаційний пил) основних та інших елементів у високотемпературному робочому просторі, так і шляхом механічного виносу частинок шихтових матеріалів. Хімічний склад сублімованого пилу визначається насамперед наявністю в ньому основного елемента.

Пил механічного походження має хімічний склад близький до вихідних шихтових матеріалів. Дисперсний склад плавильного пилу визначається співвідношенням у ньому перегінних і механічних частинок, що залежить від

потужності пічного трансформатора, швидкості руху пилогазового потоку по тракту та інших чинників. Пил механічного характеру утворюється під час завантаження шихтових матеріалів у піч.

Значна кількість пилу виділяється під час розливання феросплавів із печі в ківш і з ковша у виливниці, а також під час змішування різних сплавів у ковшах. У результаті взаємодії кисню атмосферного повітря з високотемпературним струменем сплаву, що випускається з печі, утворюється сублімований пил.

У високотемпературній реакційній зоні робочого простору феросплавної печі газова фаза утворюється в результаті процесів випаровування і розкладання вологи та горіння паливних складових шихтових матеріалів і електродів, а також фізико-хімічних перетворень у рідкому розплаві. Кількість і хімічний склад її визначається фізико-хімічними властивостями одержуваного сплаву, а також герметичністю робочого простору.

Оксид вуглецю в рудновідновних печах утворюється в результаті відновлення вуглецем оксидів основних елементів сплавів, що містяться в рудних складових шихтових матеріалів. Утворений оксид вуглецю частково згорає в робочому просторі печі.

Оксиди азоту у вигляді NO_x утворюються у високотемпературних зонах ванни печі внаслідок взаємодії азоту, що міститься в шихтових матеріалах і повітрі з киснем.

Джерелом утворення водню є волога шихтових матеріалів. Концентрація водню у відхідних газах визначається вологовмістом, температурою і ступенем окиснення газової фази в реакційній зоні печі.

Газ закритої руднотермічної печі РКЗ-23 характеризується постійністю складу і містить CO - 85...90 %; CO_2 - не більш як 15 %, H_2 - не більш як 4 %; O_2 - не більш як 1 %. Гази, що відбираються парасолькою над піччю, містять у % за об'ємом: SO_2 - 0,0001; CO - 0,019; NO_x - 0,0001; решта - повітря. Гази, що відбираються зонтом над піччю, містять у % за об'ємом: CO - 0,002 %;

решта - повітря. Хімічний склад газів, що виділяються під час виробництва силікомарганцю в закритій печі РКЗ-23 і відкритій печі РКО-23 наведено в таблиці 1.2

Характеристика газів, що відбираються від печей, наведена в табл. 1.3.

Характеристика пилу наведена в таблиці 1.4.

Таблиця 1.2 - Хімічний склад газів, що виділяються під час виробництва силікомарганцю

Компоненти, % по об'єму	Закрита піч	Відкрита піч	
		Зонт над колошником	Зонт над льоткою
CO	85	0,019	0,002
CO_2	12		
O_2	1		
NO_2		0,0001	
SO_2		0,0001	
H_2	2		
повітря		99,9808	99,998

Таблиця 1.3 - Характеристика газів, що відходять від печей виплавки силікомарганцю

Найменування показників	Закрита піч	Відкрита піч	
		Зонт над колошником	Зонт над льоткою
Кількість газів, що відходять, тис. $нм^3$/год	2,5…3,0	200…250	50…70
Температура газу, ^0C	350…400	150…200	60…80
Запиленість, г/$нм^3$	30…40	3	0,5…0,8

Таблиця 1.4 – Характеристика пилу

Найменування показників	Закрита піч	Відкрита піч	
		Зонт над колошником	Зонт над льоткою
Хімічний склад пилу, % за вагою:			
MnO_2	30	25	60
SiO_2	65	70	30
FeO			7
Інші	5	5	3
Насипна вага пилу, кг/м^3	450	450	500
Злипання, Па	1000	1000	відсутнє
Кут природного скосу	71	71	68
Щільність пилу, кг/м^3	3200	3200	4000
Питомий електричний опір, Ом·м	1×10^{10}	1×10^{10}	1×10^{12}

Пил здебільшого складається з частинок, менших за 4 мкм. Первинні частинки мають переважно сферичну форму. Великі фракції складаються здебільшого з частинок шихтових матеріалів, що мають неправильну (довільну) форму.

Дисперсний склад пилу відкритої феросплавної печі під час виплавки силікомарганцю, % (за масою) наведений у табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Дисперсний склад пилу відкритої феросплавної печі

Розмір фракцій	мкм	<1	1…2	2…4	4…6	6…8	>8
Вагова доля	%	20	20	35	20	4.4	0,24

2 ЕКОЛОГІЯ ФЕРОСПЛАВНОГО ВИРОБНИЦТВА

2.1 Аналіз схем очищення відхідних газів феросплавних печей

Для очищення газів у феросплавному виробництві застосовують мокру і суху схеми пилогазоочищення, які мають переваги і недоліки [5].

Застосування сухого очищення газів в одиночному циклоні недоцільне через високий об'єм газу, що відбирається. Батарейні циклони, хоча й дають змогу очищати ефективно газ великих витрат, проте мають низку недоліків, таких як:

- підвищена металоємність, отже, батарейні циклони вдвічі дорожчі, ніж поодинокі;

- менша надійність, оскільки спостерігається знос завихрювачів;

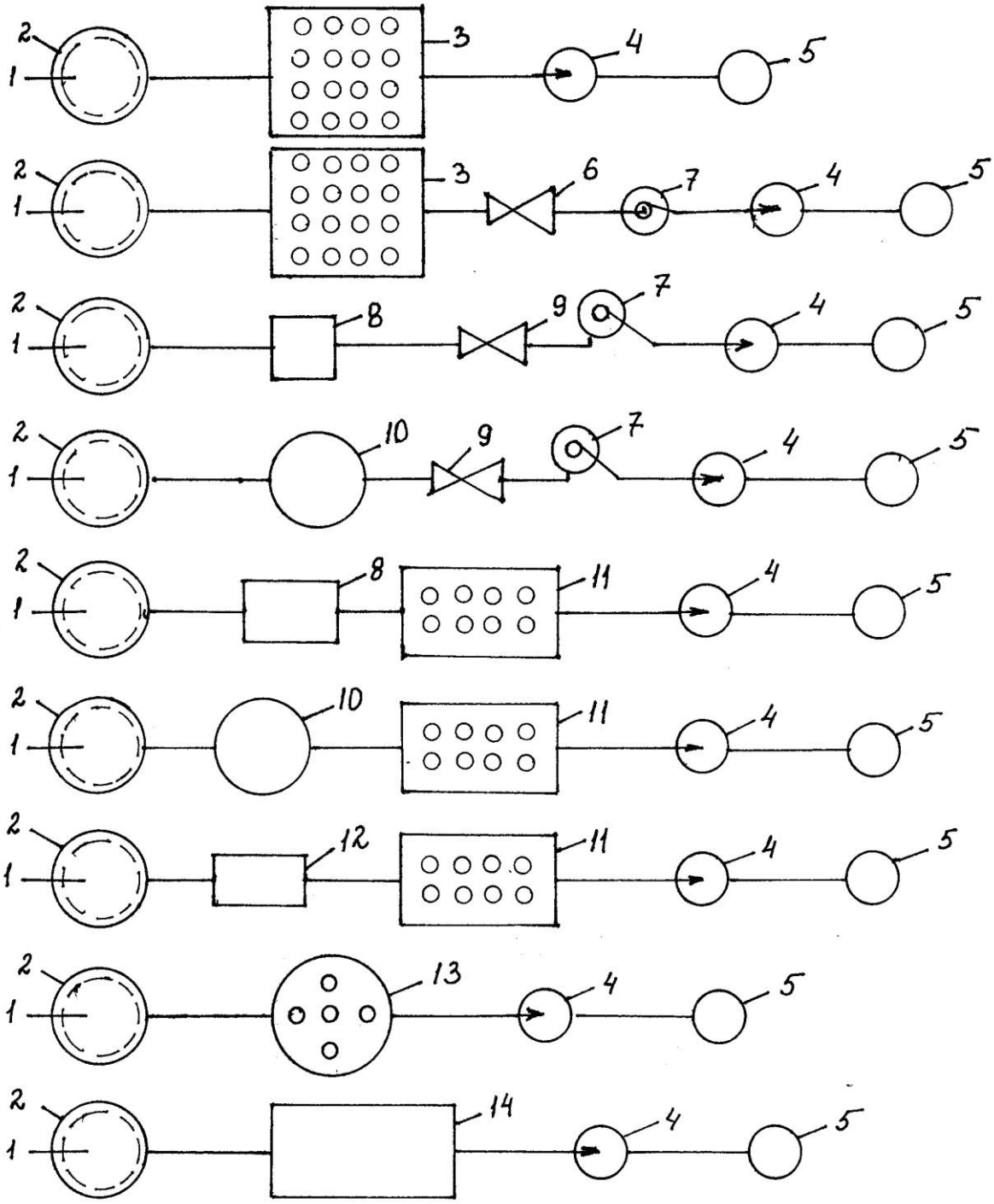
- ефективність на 20 % нижча за одиночні циклони за рахунок перерахунку газу через пиловий бункер.

Ефективність пиловловлювання в батарейних циклонах (рис. 2.1, а) найчастіше дорівнює 50...80 % [5].

Крім того, циклони ефективно вловлюють пил розміром понад 5 мкм, а у газах, що відходять, під час виробництва металевого марганцю вміст фракцій пилу до 5 мкм становить близько 70 %.

Встановлення після батарейних циклонів низьконапірного скрубера Вентурі (рис. 2.1, б) дає змогу підвищити ефективність пиловловлювання.

Під час мокрого очищення здебільшого застосовують високонапірні скрубери Вентурі, перед якими зазвичай установлено пилові камери або циклони (рис. 2.1, в, г). Однак, незважаючи на високу ефективність очищення, простоту конструкції апарата, невисоку його вартість, малі габарити, скрубери Вентурі мають також низку недоліків. До них можна зарахувати: значну витрату води й утворення відкладень у газовідвідному тракті та на лопатках димотягів, корозію обладнання та винесення крапель рідини, великі енерговитрати напилоочищення.



1 - феросплавна піч; 2 - зонт; 3- батарейний циклон; 4 - димотяг; 5 - димова труба; 6 - низьконапірна труба Вентурі; 7 - краплевловлювач; 8 - пилова камера; 9 - високонапірна труба Вентурі; 10 - циклон; 11 - електрофільтр; 12 - система охолодження та зволоження газу; 13 - мокрий електрофільтр; 14 - рукавний фільтр

Рисунок 2.1 - Схеми очищення відхідних газів феросплавних печей

Для ефективної роботи скруберів Вентурі необхідно підтримувати перепад тиску близько 14,7 кПа. Витрата електроенергії при цьому досягає 10% потужності печі [5]. Також для забезпечення роботи газоочищення з оборотним водним циклом потрібне очищення води від твердих частинок і розчинених речовин, обробка осаду. Громіздке шламове господарство - це великі додаткові площі та значні капітальні й експлуатаційні витрати.

На низці заводів із виробництва феросплавів для очищення газів використовують електрофільтри. Зазвичай перед ними встановлено пилові камери або циклони (рис. 2.1, д, е). До переваг електрофільтрів можна віднести такі якості як: порівняно мала енергоємність, велика пропускна здатність і висока ефективність очищення тонкодисперсного пилу. Застосування електрофільтрів у феросплавному виробництві обмежується тим, що для їх розміщення необхідна наявність великих площ через великі габаритні розміри фільтрів. Також у разі застосування електричного очищення необхідно вживати відповідних заходів для зниження високого питомого електричного опору (ПЕО) пилу феросплавних печей (для пилу металічного марганцю ПЕО становить 3·109 Ом·м, тобто пил належить до другої групи середньоомних пилів). Тому гази перед надходженням в елктрофільтр попередньо зволожують і охолоджують (рис. 2.1, ж) або додають кондиціонуючі реагенти.

Задовільні результати отримано під час очищення газів, що виділяються під час виробництва кременистих сплавів, у мокрих електрофільтрах (рис. 2.1, з). Однак для запобігання корозії апаратів мокрого типу їх виконують зі спеціальних матеріалів або застосовують нейтралізуючі реагенти, що значно здорожує очищення.

Одним із найпоширеніших варіантів сухого очищення газів є установка з тканинним фільтром. Основний недолік цієї установки - великі габарити, порівнянні з електрофільтром, відносно невисока механічна і термостійкість багатьох тканин і високі капітальні експлуатаційні витрати.

Однак правильний вибір і використання фільтрувального матеріалу для рукавів дає змогу підвищити тривалість терміну служби рукавів за високої ефективності їхньої роботи протягом усього періоду.

Використання рукавних фільтрів під час очищення феросплавних газів мають такі переваги порівняно з мокрим очищенням у скрубері Вентурі:

- відсутність шламового господарства, що значно знижує витрати на очищення;

- відсутність корозії газоходів;

- відсутність налипання пилу на лопатях димотягів. У результаті час на позапланові зупинки і ремонт скорочується;

- гідравлічний опір рукавного фільтра значно менший, отже, зменшуються енерговитрати;

- пил легше утилізувати, оскільки його легше підготувати до використання.

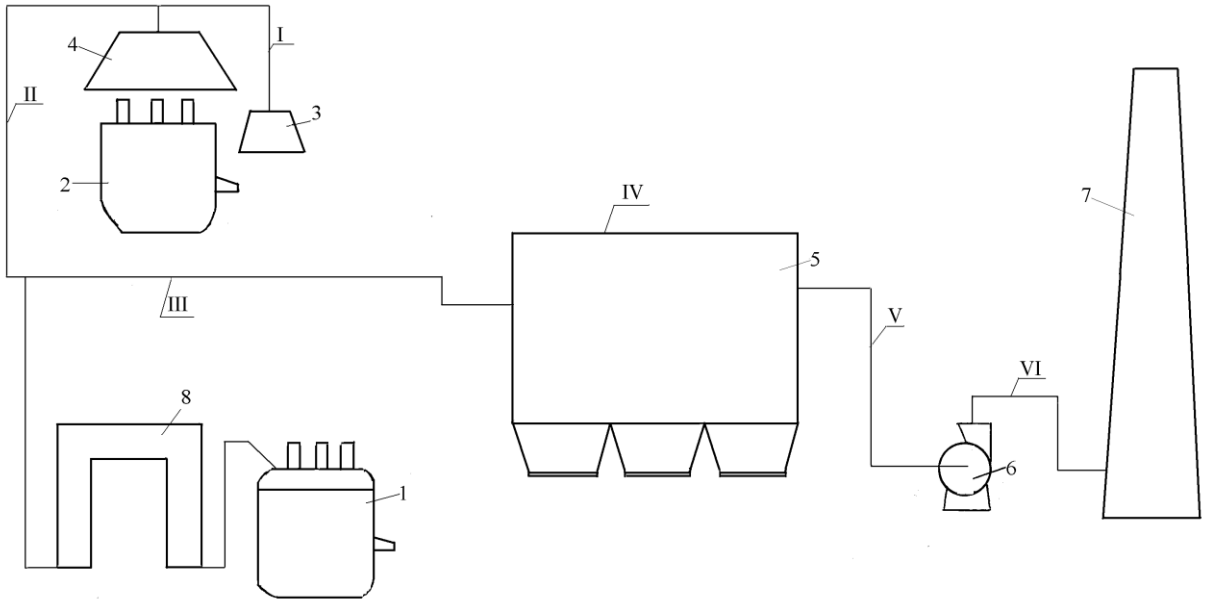
В порівнянні з електрофільтрами не потрібне попереднє кондиціонування пилогазоповітряного потоку. Рукавні фільтри надійніші в експлуатації.

2.2 Опис проєктної системи очищення газів, що відходять від відкритих печей виплавки металевого марганцю

У кваліфікаційній роботі запропоновано суху схему очищення в рукавному фільтрі.

Газ відбирають від склепіння закритої печі № 7 і від колошника та льотки відкритої рудно-термічної печі № 8 за допомогою двох зонтів. При цьому за рахунок підсосу навколишнього повітря відбувається розбавлення утворених під час виплавки і зливу силікомарганцю газів відкритої РТП у 10.....15 разів. За рахунок розведення запиленість і температура пилогазоповітряної суміші істотно знижуються. Газ від склепіння закритої РТП містить велику кількість горючих компонентів (CO і H_2). Допалювання

цих компонентів здійснюється в котлі утилізаторі з утилізацією тепла газів, що відходять, для вироблення пару на технологічні потреби та вироблення перегрітої води. Ці теплоносії нині купуються на стороні. Системою газоходів брудний газ надходить на очищення в рукавний фільтр. Запилений газ фільтрується через матеріал. Далі очищений газ за допомогою димотяга викидається через димову трубу у навколишнє середовище. Схему газоочищення представлено на рисунку 2.2.



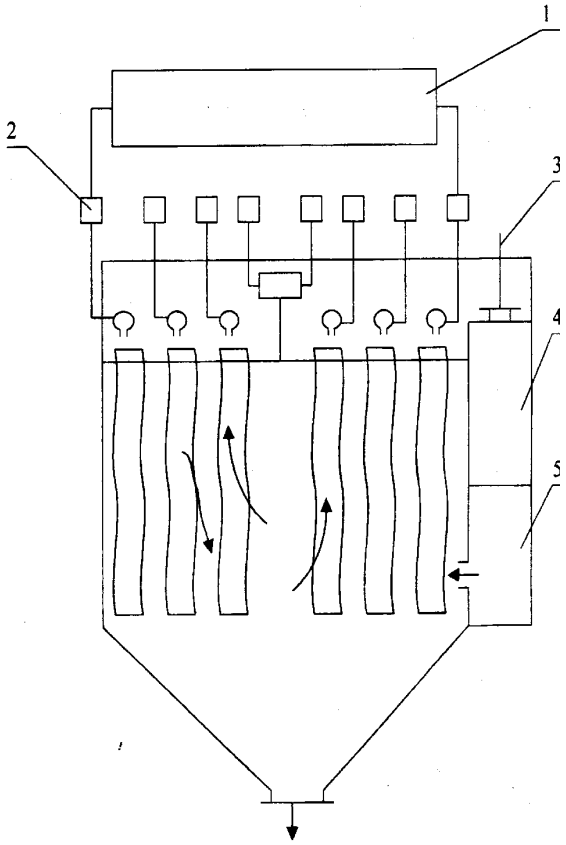
1 – закрита РТП; 2- відкрита РТП; 3- зонт над льоткою печі; 4- зонт над колошником печі; 5 – рукавний фільтр; 6 – димотяг; 7 – димова труба; 8 - котел-утилізатор

Рисунок 2.2 – Схема очистки газів, що виникають при виробництві силікомарганцю

Уловлений у рукавному фільтрі пил надходить на вузол утилізації.

Як газоочисний апарат кваліфікаційною роботою передбачено рукавний фільтр типу ФРІР. Як фільтрувальний матеріал пропонується голкопробивний поліефірний фетр.

Принципова схема роботи рукавного фільтра представлена на рис. 2.3. Запилений газ надходить у камеру «брудного газу». Напрямок руху потоку газу в колекторі організовано таким чином, щоб у міжрукавний простір кожної секції рукавного фільтра надходив запилений газ і, розподіляючись по секції, мав би складову векторів руху вертикально вниз.



1 - накопичувач стисненого повітря; 2 - мембранні клапани; 3 - відсічний клапан; 4 - колектор чистого газу; 5 - колектор брудного газу

Рисунок 2.3 -Принципова схема роботи рукавного фільтра типу ФРІР

Крім того, технологічну схему руху брудного газу в корпусі рукавного фільтра прийнято, виходячи з таких вимог:

- зниження швидкості газового потоку до 3-4 м/с на вході в рукавний простір у камери брудного газу;

- зміни напрямку руху газового потоку спочатку зверху вниз, а потім

знизу вгору за одночасного зменшення швидкості руху. Ця частина корпусу фільтра одночасно виконує роль осаджувальної камери для видалення з газового потоку великих часток пилу і шлаку;

- підведення брудного газу до верхньої частини рукавів і подальший рух газового потоку між рукавами зверху вниз. Подібна схема руху брудного газу в міжрукавному просторі збігається з напрямком осідання пилу під час регенерації рукавів.

Описана вище технологічна схема руху газового потоку є важливою технічною перевагою фільтра ФРІР порівняно з фільтрами інших конструкцій.

Також рукавні фільтри ФРІР мають такі переваги перед іншими фільтрами, що серійно випускаються: менші габарити за тієї самої продуктивності; закріплення рукавів відбувається з одного боку у верхній частині фільтра, що гранично спрощує заміну рукавів; підвищена ремонтопридатність фільтра; ефективність імпульсної регенерації, здійснюваної за допомогою клапанів із підвищеною швидкодією; розміщення на відкритому повітрі з укриттям тільки верхньої частини фільтра. З міжрукавного простору фільтра запилений газ проходить через фільтрувальні рукави у напрямку зовні всередину. При цьому пилоподібні забруднення відокремлюються перегородкою з фільтрувального полотна. Встановлені всередині фільтрувальних рукавів дротяні каркаси зберігають форму рукава, не даючи йому можливості скластися.

Для відновлення фільтрувальної здатності рукавів періодично здійснюється їхня регенерація. Через рівні інтервали часу (встановлювані в процесі пусконалагоджувальних робіт) під час короткочасного відкриття продувних клапанів із накопичувачів стисненого повітря подають стиснене повітря почергово до розподільчих колекторів протягом імпульсу з надлишковим тиском 0,4-0,5 МПа. Потім через сопла спеціальної форми роздавальних колекторів стиснене повітря з великою швидкістю витікає у фільтрувальні рукави.

Продувне повітря у вигляді ударної хвилі потрапляє у фільтрувальний рукав. При цьому наростає відповідний протитиск. Рукав, який до подачі імпульсу прилягав до корпусу дротяного каркаса, різко роздувається до свого повного об'єму і в кінцевому положенні різко гальмується, частинки при цьому продовжують за інерцією свій шлях і відриваються від зовнішньої поверхні фільтрувального полотна. З внутрішнього середовища фільтрувального полотна частинки пилу видуваються коротким, але сильним продувним струменем назад у бік «брудного газу». Виділений пил падає в бункер фільтра. Після закриття продувного клапана очищені рукави знову готові до нормального процесу фільтрування. Відповідно до заданої тривалості такту всі ряди рукавів будуть у певній послідовності в положенні регенерації на час тривалості імпульсу. Тривалість імпульсів і тактів регулюється за допомогою блоку автоматики (контролера), узгоджуючи їх із різними експлуатаційними умовами. Головним параметром введення рукавного фільтра в режим регенерації є підвищення опору вище деякої величини перепаду тиску (β). У разі зниження тиску нижче цієї величини процес регенерації припиняється, і система автоматики переходить у режим «очікування». Величину перепаду тиску визначають у процесі пусконалагоджувальних робіт залежно від досягнення проєктної продуктивності фільтрувальної установки. Пил, уловлений у рукавному фільтрі, накопичується в бункерах. Видалення пилу з бункерів здійснюється за допомогою системи пилоприбирання. Управління регенерацією фільтра здійснюється системою автоматики. Система передбачає пряму зміну гідравлічного опору фільтра за допомогою диференціального манометра з вторинним записуючим приладом. Побічно визначається відношення гідравлічного опору фільтра до витрати очищуваного газу.

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

Корпус рукавного фільтра слугує для розміщення та закріплення на ньому всіх вузлів і механізмів і має бути міцним, герметичним, стійким проти корозії, забезпечувати мінімальну теплопередачу та відводити статичну електрику (під час вловлювання електризуючих пилів феросплавного виробництва з УЕС $3 \cdot 10^9$ Ом·м).

За формою корпус рукавного фільтра типу ФРІР виконаний прямокутним. Прямокутний корпус забезпечує можливість просто й економічно розміщувати в них рукави, що дає змогу збирати із секцій компактний корпус. Дворядне розташування секцій прямокутного компонування дає можливість розташовувати колектори запиленого й очищеного газу між рядами секцій, зменшуючи при цьому витрати металу і трудомісткість виготовлення фільтрів.

Матеріалом для виготовлення корпусу відповідно до умов експлуатації та для забезпечення необхідної міцності й захисту від впливу навколишнього середовища слугує вуглецева сталь.

Корпус фільтра має камери брудного і чистого газів, розділені горизонтальними перегородками рукавними дошками з отворами для кріплення фільтрувальних рукавів. Фільтрувальні рукави розміщуються в камері брудного газу за допомогою рукавних дощок. Кріплення рукавів одностороннє з боку камери чистого газу. Верхня частина камери чистого газу обладнана знімними кришками для доступу до фільтрувальних рукавів. Камера брудного газу являє собою єдину секцію без перегородок. Камера чистого газу розділена вертикальними перегородками на 4 секції за кількістю можливого встановлення відсічних клапанів. Вихід чистого газу загальний.

Нижня частина корпусу рукавного фільтра закінчується бункером для збору вловленого пилу. Кут нахилу стінок бункера має бути більшим за кут природного укосу вловлюваного пилу, щоб уникнути його зависання. Тому кут нахилу стінок бункера становить 60º...65º.

У рукавному фільтрі типу ФРІР із прямокутним корпусом використовують пірамідальні бункери для кожної секції. Перевага

пірамідальних бункерів, як порівняти зі щілинними бункерами, полягає в простоті експлуатації рукавного фільтра і в підвищенні надійності його роботи, оскільки конвеєр для переміщення пилу не перебуває в середовищі очищуваного газу.

Корпус прямокутного рукавного фільтра виготовлений звареним у вигляді двох блоків: основної частини корпусу і бункера з рамою.

Для забезпечення жорсткості конструкції корпусу в місцях з'єднань встановлюють куточки або збирають корпус з елементів гнутого профілю з поверненими полицями назовні, що полегшує складання і контроль герметичності, але погіршує зовнішній вигляд апарату.

Для обслуговування і догляду за фільтрувальними рукавами корпуси оснащують монтажними і оглядовими люками круглої форми з кришками, що герметично закриваються.

Для доступу до монтажних і оглядових люків, системи і механізмів для регенерації рукавів передбачені майданчики і сходи, розташовані зовні по периметру корпусу апарата, а також усередині корпусу в нижній і верхній частинах.

Корпуси всмоктувальних фільтрів типу ФРІР розраховують на розрідження 3 кПа.

Очищуваний газ має температуру вищу, ніж повітря в навколишньому приміщенні, тому корпус рукавного фільтра покривають тепловою ізоляцією. Теплоізоляція служить для того, щоб не відбувалося охолодження газу нижче за точку роси 40º С, що призводить до різкого зниження пропускної спроможності фільтра за рахунок конденсації вологи, яка призводить до залипання пилом фільтрувальних елементів. Конденсація вологи на внутрішніх поверхнях апарату викликає їхню інтенсивну корозію.

У разі закритих знизу рукавів газ може подаватися у фільтр через колектор, розташований на одному з торців фільтра.

Колектори чистого газу і продувного повітря спільно з випускними клапанними коробками кріплять на кришці фільтра. Колектори виконують із

листової сталі циліндричними.

Найвідповідальніший вузол рукавного фільтра, що визначає якість очищення газів - фільтрувальні елементи.

Фільтрувальні елементи виконані у вигляді циліндричних рукавів. Як фільтрувальний матеріал у дипломному проєкті запропоновано голкопробивний поліефірний фетр, який відповідає таким вимогам: висока механічна міцність, розривне навантаження 2,2 кН, стійкість до стирання за температури 80...100 ºС, максимальна повітропроникність у рівноважно запиленому стані 70 $дм^3/(м^2 \cdot с)$, термостійкість у сухому середовищі 150ºС, подовження під час розриву по довжині 40%, питоме газове навантаження 1,5 $м^3/(м^2 \cdot хв)$.

Жорсткокаркасні фільтрувальні елементи мають цілу низку переваг перед безкаркасними фільтрувальними елементами. Жорсткий каркас дає змогу надати фільтрувальному елементу будь-якої форми (у цьому разі циліндричної), яка не змінюється ні в процесі фільтрації, ні в процесі регенерації. Крім того, забезпечує постійний натяг фільтрувального елемента, і здійснюють фільтрацію газу зовні всередину фільтрувального елемента.

Для рукавного фільтра типу ФРІР здійснюють імпульсну продувку стисненим повітрям. До складу пристроїв системи регенерації входять: накопичувач стисненого повітря, клапани продувні, колектори роздавальні. По осі кожного рукава над відкритою частиною розміщене сопло, встановлене на збірному колекторі, забезпеченому швидкодіючим електромагнітним мембранним клапаном, що забезпечує періодичну подачу імпульсів стисненого повітря через сопла в кількості 55...70 л за тиску 0,25...0,3 МПа протягом 0,1...0,3 с. При цьому очищений газ ежектується в рукав, унаслідок чого він різко роздувається і з нього опадає пил у пиловий бункер.

2.3 Розрахунок рукавного фільтра

Вихідні дані:

- об'ємна витрата газу за нормальних фізичних умов (НФУ) $Q'_{0\,г}$ нм^3/год — 293508,8
– температура газу перед рукавним фільтром t, ºС — 165,62
– розрідження перед рукавним фільтром, Па — 738
– щільність частинок пилу $\rho_п$, кг/м^3 — 3280
– пористість тканини (голкопробивний фетр поліефірні волокна) $\varepsilon_т$ — 0,9
– питомий опір тканини $h_{тк}$, Па — $8{,}1\cdot10^5$
– барометричний тиск $p_{бар}$, кПа — 100
– запиленість газу перед фільтром Z_1, г/м^3 — 3,6

Визначаємо густину газу за нормальних фізичних умов (НФУ).

Склад газу за даними підприємства наведений у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Склад газу

Компонент	O_2	SO_2	CO	CO_2	H_2O	N_2	NO_2
Об'ємний зміст, % об.	17,5	0,012	0,045	5,7	0,04	76,7	0,003
Щільність газу при НФУ, кг/м^3	1,429	2,927	1,250	1,977	0,768	1,251	2,050

$$\rho_{oг} = \frac{1}{100}\sum a_i \cdot \rho_{oi},$$

де a_i – вміст і-того компонента в об'ємних відсотках;

ρ_{oi} – густина і-того компонента при НФУ, кг/м^3.

$$\rho_{oz} = \frac{17,5 \times 1,429 + 0,012 \times 2,927 + 0,045 \times 1,25 + 5,7 \times 1,977 + 0,04 \cdot 0,768 + 76,7 \times 1,251 + 0,003 \times 2,05}{100}$$

= 1,32 кг/м^3.

Визначаємо середній медіанний діаметр частинок пилу d_m, мкм. Для цього за даними дисперсного складу пилу, наведеними в загальній частині, будуємо функції розподілу маса матеріалу за діаметрами частинок. Функція *D (d)* (від німецького терміна (Durchgang - прохід) дорівнює вираженому у відсотках відношенню маси всіх частинок, діаметр яких менший за d, у загальній масі пилоподібного матеріалу. Функція *R (d)* (від німецького терміна Ruckstand - залишок) визначається як виражене у відсотках відношення маси всіх частинок, діаметр яких більший за d, до загальної маси матеріалу. Виконуються співвідношення:

$D+R=100\%$; $D(d_{min})=0$; $D(d_{max})=100\%$;

$R(d_{min})=100\%$; $R(d_{max})=0$,

де d_{min}, d_{max} – найменший і найбільший діаметри частинок, що зустрічаються в цьому матеріалі.

У координатній сітці, що відповідає розподілу за виправленою формулою Ромашова, відкладаємо значення функції розподілу (рис. 2.4) [12]. При D=R=50% d_m=2,5 мкм.

Пористість пилу розраховуємо за формулою:

$$\varepsilon_m = 1 - 79 \cdot d_m^{0,47} = 1 - 79\left(2,5 \cdot 10^{-6}\right)^{0,47} = 0,82.$$

Максимальна температура газів, що очищаються, в рукавних фільтрах типу ФРІР не вище 135...140 ^{0}С. Для зниження температури газу до необхідної температури необхідний підсмоктування повітря з температурою 30 ^{0}С у кількості, нм^3/год:

$$Q_{0\,в} = Q'_{0\,г} \times \frac{t_г - 135}{135 - 30} = 293508{,}8 \times \frac{165{,}62 - 135}{135 - 30} = 85598{,}57 \text{ нм}^3/\text{год}.$$



Рисунок 2.4 - Розподіл за виправленою формулою Ромашова

Об'ємна витрата газу, що надходить на рукавний фільтр, з урахуванням підсосу повітря, дорівнює, нм^3/год:

$$Q_{0\,г} = Q'_{0\,г} + Q_{0\,в} = 293508{,}8 + 85598{,}57 = 379107{,}3.$$

Об'ємна витрата газу, що надходить на очищення в рукавний фільтр за робочих умов дорівнює:

$$Q_p = Q_{0\,г} \times \frac{(273 + t_r)}{273} \times \frac{101{,}3}{(p_{бар} - p_r)} = 379107{,}3 \frac{(273 + 135)}{273} \cdot \frac{101{,}3}{(100 - 0{,}738)} =$$

$$578210{,}68 \ \frac{м^3}{год} = 9636{,}84 \ \frac{м^3}{хв} = 160{,}61 \ \frac{м^3}{с}.$$

Густина газу за робочих умов дорівнює, кг/м^3:

$$\rho_r = \rho_{or} \frac{273}{(273 + t_r)} \cdot \frac{(p_{бар} - p_r)}{101{,}3} = 1{,}32 \times \frac{273}{(273 + 135)} \times \frac{(100 - 0{,}738)}{101{,}3} = 0{,}865.$$

Для прийнятих до встановлення рукавних фільтрів типу ФРІР питоме газове навантаження (що дорівнює швидкості фільтрації) $W_ф$ становить 0,7…1,8 $\frac{м^3}{м^2 \cdot хв}$ [6].

Приймаємо $W_ф = 1{,}8 \frac{м^3}{м^2 \cdot хв}$. Тоді необхідна площа фільтрації F_a рівна:

$$F_a = \frac{Q_p}{W_ф} = \frac{9636{,}84}{1{,}8} = 5353{,}8 \text{ м}^2.$$

Приймаємо до установки рукавний фільтр ФРІР-5700 з площею фільтрації 5925,1 м^2 [6].

Витрата стисненого повітря для регенерації становить не більше 350 нм^3/год. Тиск стисненого повітря не менше 0,5 МПа. Витрата стисненого повітря за робочих умов становить:

$$Q_{р.ст.} = Q_{о.ст.} \times \frac{(273 + t)}{273} \times \frac{101{,}3}{(p_{бар} + p_{ст})} = 350 \times \frac{(273 + 25)}{273} \times \frac{101{,}3}{(100 + 500)} =$$

$$= 64{,}5 \frac{м^3}{год} = 1{,}075 \frac{м^3}{год}.$$

Визначаємо фактичну швидкість фільтрації в рукавному фільтрі:

$$W'_ф = \frac{Q_p + Q_{р.ст.}}{F''_a} = \frac{9636{,}84 + 1{,}075}{5925{,}1} = 1{,}627 \frac{\text{м}}{\text{хв}} = 1{,}627 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \times \text{хв}} = 0{,}0271 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Динамічну в'язкість окремих компонентів, що входять до складу газу, що відбирається від рудно-термічної печі за робочих умов, визначаємо за формулою, Па·с:

$$\eta_i = \eta_{oi}\left(\frac{273+C_i}{273+t_r+C_i}\right)\cdot\left(\frac{273+t_r}{273}\right)^{1,5},$$

де C_i – коефіцієнт Сезерленда, що приймається за [, прил.2];

η_{oi} – динамічна в'язкість для окремих компонентів газової суміші при НФУ, Па·с [1].

$$\eta_{CO_2} = 13{,}7\cdot10^{-6}\left(\frac{273+254}{273+135+254}\right)\cdot\left(\frac{273+135}{273}\right)^{1,5} = 19{,}93\times10^{-6},$$

$$\eta_{CO} = 16{,}6\cdot10^{-6}\left(\frac{273+101{,}1}{273+135+101{,}1}\right)\cdot\left(\frac{273+135}{273}\right)^{1,5} = 22{,}29\times10^{-6},$$

$$\eta_{H_2O} = 8{,}8\cdot10^{-6}\left(\frac{273+467}{273+135+467}\right)\cdot\left(\frac{273+135}{273}\right)^{1,5} = 13{,}6\times10^{-6},$$

$$\eta_{N_2} = 16{,}5\cdot10^{-6}\left(\frac{273+104}{273+135+104}\right)\cdot\left(\frac{273+135}{273}\right)^{1,5} = 7{,}83\times10^{-6},$$

$$\eta_{NO_2} = 12{,}2\cdot10^{-6}\left(\frac{273+305}{273+135+305}\right)\cdot\left(\frac{273+135}{273}\right)^{1,5} = 18{,}07\times10^{-6},$$

$$\eta_{O_2} = 19{,}2\cdot10^{-6}\left(\frac{273+125}{273+135+125}\right)\cdot\left(\frac{273+135}{273}\right)^{1,5} = 26{,}19\times10^{-6},$$

$$\eta_{SO_2} = 11{,}6\cdot10^{-6}\left(\frac{273+306}{273+135+306}\right)\cdot\left(\frac{273+135}{273}\right)^{1,5} = 17{,}19\times10^{-6}.$$

Молярна маса газової суміші дорівнює:

$$M = \frac{1}{100}\sum a_i \cdot M_i,$$

де M_i – молярна маса окремих компонентів газової суміші,

a_i – об'ємний вміст окремих компонентів газової суміші, %.

$$M = \frac{1}{100} \times (5{,}7 \times 44 + 0{,}045 \times 28 + 0{,}04 \times 18 + 76{,}7 \times 28 + 0{,}003 \times 28 + 17{,}5 \times 32 + 0{,}012 \times 64) =$$

$$= 29{,}61 \ \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}.$$

Динамічну в'язкість газової суміші визначаємо за виразом:

$$\frac{M}{\eta} = \sum \frac{a_i \cdot M_i}{\eta_i}$$

$$\frac{M}{\eta} = \left(\frac{5{,}7 \times 44}{19{,}93} + \frac{0{,}045 \times 282}{22{,}29} + \frac{0{,}04 \times 18}{13{,}6} + \frac{76{,}7 \times 28}{7{,}83} + \frac{0.03 \times 48}{18{,}07} + \frac{17{,}5 \times 32}{26{,}19} + \frac{0{,}012 \times 64}{17/19} \right) \times 10^6 =$$

$$= 308{,}5 \times 10^8$$

Звідси:

$$\eta = \frac{M}{M/\eta}$$

$$\eta = \frac{29{,}61}{308{,}5 \times 10^6} = 0{,}1 \times 10^{-6} \text{ Па·с}$$

Визначаємо коефіцієнти фільтрації А і В:

$$A = 0{,}475 \frac{(1-\varepsilon_n)^2}{(\varepsilon_m)^{3{,}24} \cdot \varepsilon_n^3 \cdot d_m^{1{,}77}} = 0{,}475 \frac{(1-0{,}82)^2}{(0{,}9)^{3{,}24} \cdot (0{,}82)^3 \cdot (2{,}5 \cdot 10^{-6})^{1{,}77}} = 34{,}5578 \cdot 10^6$$

$$B = \frac{817(1-\varepsilon_n)}{(d_m)^2 \cdot \varepsilon_n^3 \cdot \rho_n} = \frac{817(1-0{,}82)}{(2{,}5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (0{,}82)^3 \cdot 3280} = 1{,}3488 \cdot 10^{10}$$

Визначаємо гідравлічний опір тканини, Па:

$$\Delta P_1 = A \cdot W'_{\phi} \cdot \eta = 34{,}5578 \times 10^6 \times \frac{1{,}626}{60} \times 0{,}1 \times 10^{-6} = 0{,}94.$$

Гідравлічний опір фільтра ФРІР-5700 не більше 2000 Па [13]. Тоді час міжрегенераційного періоду дорівнює:

$$t_p = \frac{\Delta P / \left(W'_{\phi} \cdot \eta\right) - A}{B \cdot W'_{\phi} \cdot Z_1}$$

де ΔP – опір фільтра ФРІР-5700, прийнятий рівним 1,8 кПа.

$$t_p = \frac{1800 / \left(0{,}0271 \times 0{,}1 \times 10^{-6}\right) - 34{,}5578 \times 10^6}{1{,}3488 \times 10^{10} \times 0{,}0271 \times 3{,}6 \times 10^{-3}} = 52949{,}92 \text{ с} =$$

$$= 14 \text{ год } 42 \text{ хв } 30 \text{ сек.}$$

Маса пилу, що затримується на 1 м^2 площі фільтрувальної поверхні, кг:

$$M_1 = Z_1 \cdot W'_{\phi} \cdot t_p$$

$$M_1 = 3{,}6 \times 10^{-3} \times 0{,}0271 \times 52949{,}92 = 511{,}49 \text{ кг}$$

Гідравлічний опір шару пилу дорівнює, Па:

$$\Delta P_2 = B \cdot M_1 \cdot W'_{\phi} \cdot \eta;$$

$$\Delta P_2 = 1{,}3488 \times 10^{10} \times 511{,}49 \cdot 10^{-3} \times 0{,}0271 \times 0{,}1 \times 10^{-6} = 1799{,}11$$

Сумарний опір тканини і шару пилу дорівнює, Па:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 = 0{,}94 + 1799{,}06 = 1800.$$

Запиленість газу на виході з апарата Z_2 за прийнятого в рукавному фільтрі ступеня очищення η (не менш як 99 %) становить не більше ніж г/м^3:

$$Z_2 = Z_1 \times (1 - \eta) = 3,6 \times (1 - 0,995) = 0,02$$

2.4 Аеродинамічний розрахунок газового тракту

Для аеродинамічного розрахунку газового тракту приймаємо такі вихідні дані, що наведені у табл. 2.2

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для аеродинамічного розрахунку газового тракту

Параметри	Місце заміру		
	Колошник закритої печі	Зонт над колошником печі	Зонт над льоткою печі
1. об'ємна витрата газів за нормальних фізичних умов (НФУ), тис. нм^3/год	2500	225	60
2. температура газів, ºС	400	180	70
3.запиленість газів, г/нм^3	40	3	0,8

Після злиття потоків приймаємо, що об'ємна витрата газу під час НФУ становить 293508,8 нм^3/год, запиленість 3,6 г/нм^3, температура газу t_c^o = 174,04 ^{0}С.

Схема газовідвідного тракту представлена на рис. 2.2. Розбиваємо тракт на розрахункові ділянки. Розрахунковою вважається ділянка, на якій витрата газу і поперечний розмір газоходу незмінні. Шість розрахункових ділянок від печі до димової труби пронумеровані римськими цифрами.

Прийнято такі довжини ділянок, що наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Довжини ділянок

Номер розрахункової ділянки	Довжина ділянки l_i, м
I	l_1=14,0
II	l_2=23,5
III	l_3= 84,2
IV	Рукавний фільтр
V	l_4 = 27,1
VI	l_6 = 17

Трубопровід сталевий, зварний, помірно заіржавлений. Для таких труб абсолютна еквівалентна шорсткість абсолютна еквівалентна шорсткість $k_э$=0,3…0,7 м [14]. Приймаємо $k_э$=0,5×10^{-3} м.

Падіння температури на 1м довжини газоходу приймаємо Δt_L=0,2 ºС [7].

Сумарні втрати тиску (енергії 1м^3 газу) ΔP складаються з втрат тиску на тертя по довжині (лінійні втрати) ΔP_L і втрат тиску на окремих місцевих опорах ΔP_M.

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{m} \Delta P_{Li} + \sum_{i=1}^{m} \Delta P_{Mi}\,, \qquad (2.1)$$

де i – номер розрахункової ділянки;

m – кількість розрахункових ділянок.

Втрати тиску на тертя по довжині розрахункової ділянки визначають за формулою Дарсі-Вейсбаха, Па:

$$\Delta P_{Li} = \lambda_i \frac{L_i}{d_{ei}} \cdot \rho_{zi} \frac{W_i^2}{2}, \qquad (2.2)$$

де λ_i – коефіцієнт гідравлічного тертя на ділянці;

l_i – довжина розрахункової ділянки, м;

d_{ei} – еквівалентний діаметр трубопроводу на ділянці. Для круглого трубопроводу еквівалентний діаметр дорівнює діаметру трубопроводу $d_{ei}=d_i$;

$\rho_{гi}$ – густина газу на ділянці, кг/м^3;

W_i – середня швидкість на ділянці, м/с.

Коефіцієнт гідравлічного тертя за ламінарної течії газу розраховується за формулою:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \tag{2.3}$$

При турбулентному режимі попередньо визначається зона опору. В області «гідравлічно гладких» труб (критерій зони турбулентності $Re \cdot \frac{k_э}{d} \le 10$) коефіцієнт гідравлічного тертя визначається за формулою Блазіуса:

$$\lambda = \frac{0{,}3164}{Re^{0{,}25}} \tag{2.4}$$

В області змішаного опору ($10 < \mathrm{Re} \cdot \frac{k_e}{d} \le 500$) справедлива формула Альтшуля:

$$\lambda = 0{,}11\left(\frac{68}{\mathrm{Re}} + \frac{k_e}{d}\right)^{0{,}25} \tag{2.5}$$

В автомодельній галузі ($\mathrm{Re} \cdot \frac{k_e}{d} > 500$) використовуємо формулу Шифрінсона:

$$\lambda = 0{,}11\left(\frac{k_e}{d}\right)^{0{,}25} \tag{2.6}$$

Витрату газу на розрахунковій ділянці за робочих умов визначаємо за формулою:

$$Q_{руі} = Q_{оі} \frac{\left(273 + \bar{t}^{o}_{гі}\right)}{273} \cdot \frac{101{,}3}{\left(p_{бар} \pm p_{гі}\right)}, \qquad (2.7)$$

де $\bar{t}^{o}_{гі}$ – середня температура газу на розрахунковій ділянці, ºС;

$p_{бар}$ – атмосферний тиск, Па. Приймаємо $p_{бар}$=100000 Па;

$p_{гі}$ – надлишковий тиск газу (або розрідження) на розрахунковій ділянці, Па.

Середня температура на розрахунковій ділянці дорівнює:

$$\bar{t}^{o}_{гі} = \frac{t_{нi} + t_{ki}}{2} \qquad (2.8)$$

Температура газу наприкінці розрахункової ділянки $т_{кі}$ визначається:

$$t_{ki} = t_{нi} - \Delta t_L \cdot L_i \qquad (2.9)$$

Щільність газу на розрахунковій ділянці визначаємо відповідно до виразу:

$$\rho_{гі} = \rho_{ог} \times \frac{273}{\left(273 + \bar{t}^{o}_{гі}\right)} \cdot \frac{\left(p_{бар} \pm p_{гі}\right)}{101{,}3} \qquad (2.10)$$

Діаметр трубопроводу на розрахунковій ділянці визначаємо з рівняння сталості об'ємної витрати, м:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi\, v}} \qquad (2.11)$$

Швидкість руху газу в трубопроводах брудного і чистого газу приймається в межах 15...20 м/с. Оскільки пил дрібнодисперсний, можна прийняти $\boldsymbol{v}$ =15 м/с. Фактична швидкість у газоході $v_{фі}$ визначається після визначення діаметра газоходу на ділянці за формулою:

$$V_{фі} = \frac{4Q_i}{\pi d_i^2} = 1{,}27\frac{Q_i}{d_i^2} \qquad (2.12)$$

Втрати тиску на місцевих опорах визначаємо за формулою Вейсбаха, Па:

$$\Delta p_{Мі} = \zeta_i \rho_{гі} \frac{v_i^2}{2}, \qquad (2.13)$$

де ζ – коефіцієнт місцевого опору.

Тут і у формулі (2.2) динамічний тиск на ділянці дорівнює:

$$p_{ді} = \rho_{гі} \cdot \frac{v_i^2}{2}. \qquad (2.14)$$

Значення ζ для окремих видів місцевих опорів приймаємо відповідно до [6, 7].

Результати розрахунків наведено в таблицях 2.4 і 2.5.

2.5 Вибір димотяга

Димотяг вибираємо на основі аеродинамічного розрахунку газоопалювального тракту. Продуктивність димотяга $Q_д$ приймаємо із запасом 10% [7] незалежно від температури газів, але з поправкою на барометричний тиск $p_{бар}$ = 100 кПа:

$$Q_д = 1{,}1 \times Q_p \times \frac{101{,}3}{p_{бар}} \qquad (2.15)$$

На четвертій розрахунковій ділянці, де встановлюємо димотяг, $Q_р$=162,494 м^3/с = 584977,975 м^3/ч при роюючих умовах.

$$Q_д = 1{,}1 \times 584977{,}975 \times \frac{101{,}3}{100} = 651840{,}957 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Таблиця 2.4 – Параметри газового потоку

Параметри	I ділянка (зонт-трійник)	II ділянка (тройник - трійник)	III ділянка (тройник - рукавний фільтр)	Рукавний фільтр	V ділянка (рукавний фільтр-димотяг)	VI ділянка (димотяг-димова труба)
Середня температура t, ºС	70	171,46	169,83	165,62		
Щільність газу $\rho_г$, кг/м^3	0,75	0,89	0,92		0,97	0,97
Кінематична в'язкість ν, м^2 /с	$70{,}16 \cdot 10^{-6}$	$31{,}53 \cdot 10^{-6}$	$31{,}34 \cdot 10^{-6}$		$22{,}5 \cdot 10^{-6}$	$22{,}45 \cdot 10^{-6}$
Витрата газу при НФУ Q_0, нм^3/год	60000	285000	293508,5	379107,3	379107,3	379107,3
Витрата газу за робочих умов $Q_р$, м^3/год	228476,3	238527,3	115848,3		110180,2	219436,8
Швидкість газу $\boldsymbol{\nu}$, м/с	15,24	15,9	17,6		15,19	19,35
Число Рейнольдса *Re*	1046338	1523750	1147826		1080178	1720000
Критерій зони турбулентності $Re \cdot (k_э/d)$	45,49	66,25	76,52		67,51	86

Таблиця 2.5 – Результати аеродинамічного розрахунку газового тракту

Розрахункова ділянка	Витрати газу при ДФУ $Q_р$, $м^3/с$	Довжина ділянки *l*, м	Діаметр d, м	Коефіцієнт тертя λ	Коефіцієнт місцевого опору ζ	Динамічний тиск $(\rho \cdot V^2)/2$, Па	Витрати по довжині p_L, Па	Витрати на місцевих опорах $p_м$, Па	Сумарні витрати тиску на ділянці (розрідження) $p_{пот\ і}$, Па
Зонт над колошником печі									100
I ділянка (зонт над колошником печі - трійник: злиття потоків): - вхід у трубу; - 2 плавних повороти на 120º з радіусом заокруглення 2d; - плавний поворот на 90º з радіусом заокруглення 1,5d; - засувка (h/d=0,8)	63,47	27,3	2,3	0,011	0,5 1,275 0,177 0,18	87,1	11,37	43,55 222,11 15,42 15,66	11,37 43,55 222,11 15,42 15,66
Разом I ділянка							11,37	296,74	308,11
II ділянка (трійник: злиття потоків - трійник - розділення потоків): - трійник (злиття потоків під кутом 90º) - 4 плавних повороти на 90º з радіусом заокруглення 1,5d; - трійник (поділ потоків у симетричному трійнику)	66,25	40,0	2,3	0,011	0,56 0,177 1,8	112,5	21,52	63,0 79,65 202,5	21,52 63,0 79,65 202,5
Разом II ділянка							21,52	345,15	366,67

Продовження табл. 2.5

Розрахункова ділянка	Витрати газу при ДФУ $Q_р$, $м^3/с$	Довжина ділянки *l*, м	Діаметр d, м	Коефіцієнт тертя λ	Коефіцієнт місцевого опору ζ	Динамічний тиск $(\rho \cdot V^2)/2$, Па	Витрати по довжині p_L, Па	Витрати на місцевих опорах $p_м$, Па	Сумарні витрати тиску на ділянці (розрідження) $p_{пот\ і}$, Па
III ділянка (трійник: розділення потоків - рукавний фільтр): - плавний поворот на 90º з радіусом заокруглення 1,5d; - засувка	31,18	10	1,5	0,012	0,177 0,18	142,49	11,4	25,22 25,22	11,4 25,22 25,22
Разом III ділянка							11,4	50,87	62,27
Рукавний фільтр								2000	2000
IV ділянка (рукавний фільтр-димотяг): - конфузор; - 2 засувки; - 2 складових коліна 90º із чотирьох ланок	32,39	11,4	1,6	0,012	4,4 0,18 0,39	118,79	10,16	522,68 42,76 92,66	10,16 522,68 42,76 92,66
Разом IV ділянка							10,16	658,1	668,26
Загальні втрати на ділянках I...IV							54,48	3450,86	3505,34
V ділянка (димотяг-трійник: злиття потоків у симетричному трійнику): - дифузор; -засувка (h/d=0,9) - 2 складових коліна 90º з чотирьох ланок	30,61	5,8	1,6	0,012	0,3 0.06 0,39	111,91	4,87	33,57 6,71 87,29	4,87 33,57 6,71 87,29
Разом V ділянка							4,87	127,57	132,44

Продовження табл. 2.5

Розрахункова ділянка	Витрати газу при ДФУ $Q_р$, $м^3/с$	Довжина ділянки *l*, м	Діаметр d, м	Коефіцієнт тертя λ	Коефіцієнт місцевого опору ζ	Динамічний тиск $(\rho \cdot V^2)/2$, Па	Витрати по довжині p_L, Па	Витрати на місцевих опорах $p_м$, Па	Сумарні витрати тиску на ділянці (розрідження) $p_{пот\ і}$, Па
VI ділянка (трійник: злиття потоків у симетричному трійнику - димова труба): - трійник; - дифузор; - 2 складових коліна 90º з чотирьох ланок; - вхід у димову трубу	60,95	3,4	2	0,011	 1,65 0,34 0,39 0,7	181,59	3,4	 299,62 61,74 141,64 127,11	3,4 299,62 61,74 141,64 127,11
Разом VI ділянка							3,4	630,11	633,51
Сумарний опір газовідвідного тракту							62,75	4208,54	4271,29

Створюваний димотягом тиск (розрідження), наведений до умов каталогу, за яким обирають димотяг $\Delta p_{кат}$, приймають рівним:

$$\Delta P_{кат} = 1{,}2 \times \Delta P_p \times K, \qquad (2.16)$$

де 1, 2 – коефіцієнт запасу;

Δp_p – сумарний опір газовідвідного тракту, отриманий у результаті аеродинамічного розрахунку;

K – коефіцієнт перерахунку.

Δp_p = 3784,933 Па [табл. 2.2]

$$K = \frac{(273 + t_г) \cdot 101{,}3 \cdot \rho_{ог}}{(273 + t_{кат}) \cdot p_{бар} \cdot \rho_{ов}} \qquad (2.17)$$

Густину газу за нормальних фізичних умов визначено в пункті 2.3. Вона рівна $\rho_{0\,г}$ = 1,32 кг/м^3; $t_{кат}$ =100ºС [7].

Середня температура газу на п'ятій розрахунковій ділянці $\bar{t}_г$ = 132,29 ^{0}С.

$$K = \frac{(273 + 132{,}29) \cdot 101{,}3 \cdot 1{,}32}{(273 + 100) \cdot 100 \cdot 1{,}293} = 1{,}12.$$

$$\Delta p_{кат} = 1{,}2 \times 3784{,}933 \times 1{,}12 = 5103{,}66 \text{ Па}.$$

Приймаємо до встановлення димотяг ДН-26 [7], який комплектується двигуном АДО-1000-8У1. Потужність електродвигуна 1000 кВт. Напруга в мережі 6000 В.

2.7 Утилізація уловленого продукту

Уловлений у рукавному фільтрі пил надходить у бункер приймання пилу відділення огрудкування. З бункера приймання пил вивантажується за

допомогою гвинтового конвеєра в живильник і надходить на скребковий транспортер. Одночасно на скребковий транспортер подається коксова дрібниця. Скребковий транспортер призначений для перемішування пилу від газоочищення феросплавної печі з коксовим дріб'язком. Змішування компонентів шихти проводиться всуху або з частковим змочуванням. Отримана суміш зі змішувача надходить у тарілчастий гранулятор діаметром 3000 мм. Гранулятор являє собою похилу чашу, що обертається навколо осі. Для перемішування пилу і унеможливлення його налипання на днище і бічну стінку в чаші встановлено три нерухомі очисні ножі.

Під час приготування окатишів для змочування матеріалу через форсунки тонкого розпилу в гранулятор з бака об'ємом 10 м^3 подається вода. Вода подається перед зоною подачі шихти на огрудкувач. Для зменшення розміру гранул зона зволоження зміщується до борту тарелі. За необхідності збільшення гранул зона зволоження зміщується до центру гранулятора. Вміст вологи в сирих окатишах не повинен перевищувати 8 ... 10% Розмір окатишів регулюється також кутом нахилу огрудкувача (від 300 до 700) і швидкістю його обертання (від 6 до 12 оборотів на хвилину).

За сучасними уявленнями огрудкування тонкодисперсного пилу відбувається в кілька стадій: утворення зародків, ріст і остаточне формування окатишів. Перший етап починається з моменту потрапляння краплі води в сипучий матеріал, унаслідок чого утворюється зародок майбутнього окатишів. Граничний розмір його прямо пропорційний розміру краплі і обернено пропорційний пористості грудкуваного пилу.

Друга стадія огрудкування - зростання зародків, перетворення їх на майже готові окатиші - здійснюється завдяки багаторазовим зіткненням їх один з одним під час огрудкування в грануляторі. Під дією динамічних навантажень грудочка ущільнюється. При цьому надлишкова волога збирається на її поверхні, внаслідок чого відбувається накочування на зародок все нових частинок пилу.

Третя стадія - завершальне ущільнення окатишів відбувається під дією численних ударів з різних напрямків, завдяки чому взаємне переміщення частинок пилу відбудеться тільки на тих ділянках, де в даний момент опір матеріалу мінімальний.

Загальний час перебування матеріалу в тарелі огрудкувача, год:

$$t_{преб} = \frac{V_м}{G_{ок}}, \quad (2.18)$$

де $V_м$ – кількість матеріалу, що перебуває на огрудкувачі, м^3. $V_м = \omega \times h$. Тут ω и h - робочі поверхня (м^2) і висота чаші (м) огрудкувача;

$G_{ок}$ - продуктивність огрудкувача за придатними окатишами, т/год. Продуктивність гранулятора становить 7 т/год.

$$t_{преб} = \frac{\pi \times r^2 \times h}{G_{ок}} = \frac{3{,}14 \times 1{,}5^2 \times 0{,}3}{7} = 0{,}3 \text{ год} = 18{,}2 \text{ хв.}$$

Під час надходження суміші в гранулятор, при приготуванні окатишів і просіванні відбувається значне запилення, тому від гранулятора передбачена примусова аспірація. Обсяг аспіраційного повітря 1150 м^3/год. Очищення аспіраційного повітря в рукавному фільтрі з імпульсною регенерацією ФРІ 15-130-V-01. Питоме газове навантаження на тканину 1,2 м^3/(м^2·хв).

Отримані окатиші, в міру їх накопичення в грануляторі, пересипаються через нижній край і по течці потрапляють на стрічковий транспортер, пройшовши який зсипаються в елеватор, звідки по течці пересипаються у вібраційний грохот ГВ-06.

Після грохочення утворюються дві фракції: готова продукція (5...25 мм) і просип (0...5 мм).

Готові окатиші транспортуються стрічковим конвеєром у підвісний бункер, з якого продукцію відвантажують у залізничні вагони і відправляють

у цех для переплаву. Окатиші «на воді» після просівання зберігаються в підвісному бункері, де природно сушаться до досягнення вологи не більш як 3%, окатиші пилекоксові застосовуються під час виплавки силікомарганцю і діляться на марки:

ОКП - окатиші коксопилові - частка коксу 50 %;

ОПК - окатиші пилекококосові - частка коксу 25 %.

Просип з-під вібраційного грохота стрічковим живильником пересипають у двовалковий змішувач шихти. Повернення (відсіви) сирих окатишів не повинно перевищувати 10 % від придатного.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Характеристика ступеня безпеки технологічного процесу виробництва силікомарганцю

До складу основних цехів ВАТ Запорізький феросплавний завод входить цех № 1. Цех є складним виробничим комплексом, оснащеним різноманітним механічним, електричним і підйомно-транспортним обладнанням. Виплавка товарного і передільного силікомарганцю ведеться в рудно-термічних печах (РТП) закритого і відкритого типу - агрегатах великої теплової потужності.

Виплавка силікомарганцю ведеться безперервним процесом з періодичними випуском металу і шлаку. Шихта для плавки силікомарганцю залежно від марки і класу складається з марганцевої руди, багатого концентрату, малофосфористого шлаку (МФШ), шлаку середньовуглецевого феромарганцю, кварциту, відновника і невеликих добавок флюсу.

Організація технологічних процесів дроблення, розсіву, змішування, плавки повинна здійснюватися з дотриманням вимог «Правил безпеки у феросплавному виробництві» [8]. Тверді компоненти шихти подаються в думпкарах і зберігаються в шихтовому відділенні цеху. Марганцеві концентрати попередньо просушують. Верхню межу вмісту вологи встановлює пункт 6.3.97 «Правил безпеки у феросплавному виробництві». У разі використання рідких шлаків, останні поставляються автоковшевозом або спеціальним залізничним транспортом за узгодженим графіком з дотриманням вимог інструкції ТН 144-Ф-31-01 «Автомобільне транспортування рідких розплавів».

Дозування і транспортування вапна, твердого шлаку здійснюють у металевих баддях з днищем, що відпускається. Зважування рідкого шлаку проводиться на розливних кранах із ваговимірювальними пристроями, похибка яких не повинна перевищувати ±0,5%. Дозована шихта подається в

бадді краном у завантажувальні бункери. Завантаження шихти в піч проводиться за допомогою завантажувальних лотків.

Регулювання електричного режиму ведення плавок автоматичне. Контроль електричного режиму печі здійснюється засобами АСУ «Мастер».

Водоохолоджувані елементи РТП є джерелом вибухонебезпечності. У разі несправностей герметичність їх порушується, і вода потрапляє в робочий простір печі; під дією високої температури при розкладанні води можливий вибух. Водоохолоджувані елементи печі піддають гідравлічному випробуванню, що перевищує робочий тиск охолоджувальної води в 2 рази. Водяне охолодження робочих вузлів печей автоматизовано, а контроль над охолодженням покладається на старшого плавильника.

Конструкцією кожуха електрода передбачаються надійне утримання електродної маси і нормальний перепуск електродів.

Конструкція РТП, її вузлів і механізмів забезпечує безпеку і зручність обслуговування. Піч забезпечена огороджувальними пристроями (кожухом, шторами, електроізоляцією та ін.), що забезпечують захист обслуговуючого персоналу, навколишніх будівельних конструкцій і устаткування від шкідливого впливу теплових випромінювань, високих температур і електричного струму.

Оброблення льотки ведеться залізним прутом, а в разі потреби, пропалюється за допомогою графітового електрода. Випуск металу здійснюється в ковші, встановлені каскадно. Під час оброблення льотки і під час випуску металу необхідно дотримуватися вимог інструкції 03.16-2002 «Інструкція для горнових плавильних цехів заводу».

Рівень механізації та автоматизації робіт у цеху є доволі високим, але для подальшого поліпшення умов праці необхідно продовжувати впроваджувати новітні машини та обладнання.

Під час виплавки феросплавів у рудно-термічній печі за високих температур відбуваються складні фізико-хімічні перетворення внаслідок плавлення шихти, взаємодії металу і шлаку, газів, вогнетривкої футеровки

робочого простору печі. Порушення параметрів безпеки процесу під час плавки мають різноманітний характер і розрізняються за періодами плавки. Для попередження відхилень процесу необхідно суворо дотримуватися технологічної дисципліни і виконувати вимоги безпеки.

3.2 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

Основними шкідливими факторами в цеху № 1 є тепло-, газо-, пиловиділення, а також шуми і вібрація. Окремі роботи пов'язані з фізичними навантаженнями. Найбільша кількість тепла виділяється під час виплавки і розливання силікомарганцю і шлаку, менше тепловиділень під час сушіння ковшів, випалювання льотки, затвердіння злитків.

Джерелом інтенсивних тепловиділень є колошник відкритої РТП (руднотермічної печі). Маючи температуру від 400˚С (на периферії) до 700...800˚С (у центрі між електродами), він завдяки випромінюванню тепла створює несприятливі умови праці, особливо в літній час. Інтенсивність опромінення на робочих місцях біля колошника залежно від його стану та відстані до нього коливається в широких межах, іноді до 7000 Вт/м^2. Під час виконання робіт в екстремальних умовах (наприклад, ручне осадження колошника) інтенсивність опромінення становить 8833 Вт/м^2 і вище.

На гірничому майданчику робітник піддається найбільшому тепловому опроміненню під час взяття проби одержуваного сплаву в момент підходу на близьку відстань до льотки печі. Інтенсивність теплової радіації коливається від 4750 до 5250 Вт/м^2 залежно від ступеня наповнення ковша, температури і величини струменя розплаву, що випускається з печі. Шурування льоточного отвору здійснюється з відносно далекої відстані, тому і величина опромінення під час цієї операції в межах 3667 Вт/м^2. Під час пропалювання льотки інтенсивність теплового випромінювання становить у середньому 3080 Вт/м^2.

У розливному прольоті джерелом теплової радіації є одержувані зливки. Так під час відриву злитка силікомарганцю від виливниці, перед підняттям його краном інтенсивність радіації в середньому становить 4170 Вт/м^2.

Другим за значимістю, але більш шкідливим фактором у виробництві силікомарганцю є виділення пилу і газу, основним джерелом яких є РТП. Кількість газів, що виділяються з колошника печі, їхній склад, температура і запиленість залежать від фізико-хімічних властивостей шихтових матеріалів, які використовуються, і силікомарганцю, який виплавляється. Склад газів змінюється під час плавки, але з огляду на їхню високу температуру (близько 700^{0}С) під час виходу реакційних газів на поверхню колошника відкритої РТП горючі компоненти (CO, H_2) повністю окислюються киснем підсмоктуваного під парасольку печі повітря, у зв'язку з чим основним шкідливим компонентом буде пил, що містить переважно Mn_2O_3 і SiO_2.

Процеси розливання металу і шлаку, їх вибивання, дроблення також супроводжуються процесами утворення аерозолів.

За постійного впливу великих доз двоокису кремнію в органах дихання можливі патологічні зміни, що повільно розвиваються, на кшталт хронічних катарів верхніх дихальних шляхів, хронічних бронхітів і пневмоконіозу (силікозу, силікотуберкульозу). ГДК для аерозолю кварцу і кварциту - 1 мг/м^3, при фактичному його вмісті в повітрі робочої зони близько 3 мг/м^3. За ступенем впливу на організм людини вони належать до помірно небезпечних речовин (до третього класу небезпеки) [9].

Сполуки марганцю є сильними протоплазматичними отрутами, що діють на центральну нервову систему. Отруєння марганцем хронічне. Захворювання починається зі скарг на слабкість у ногах, тремтіння рук, стомлюваність, печію, сонливість. Також може настати розлад ходи, утруднення мовлення, виникнення болю в кінцівках, потім виникають симптоми важкого ураження центральної нервової системи. При вдиханні

марганцевого пилу можливий розвиток професійної марганцевої пневмонії [10]. Для зазначених пилів ефект сумації та неповної сумації не характерний.

За неповного окиснення в повітрі робочої зони може бути присутнім оксид вуглецю (II). Значна кількість оксиду вуглецю (II) міститься у відхідних газах, що відбираються від склепіння закритої РТП.

Оксид вуглецю (II). Газ без запаху і кольору. Густина по відношенню до повітря становить 0,967.

Оксид вуглецю надходить в організм через дихальні шляхи. Володіючи спорідненістю з гемоглобіном у 300 разів більшою, ніж кисень, оксид вуглецю витісняє кисень і утворює карбоксигемоглобін, значно стійкішу сполуку, ніж оксигемоглобін. Карбоксигемоглобін дисоціює у 3000 разів повільніше, ніж оксигемоглобін. У результаті здатність крові переносити кисень до тканин різко знижується, настає гіпоксемія, у важких випадках аноксемія. Унаслідок кисневого голодування порушується головним чином функція центральної нервової системи. При видаленні потерпілого з приміщення окис вуглецю виділяється з організму з повітрям, що видихається. Картина гострого отруєння в легких випадках така: биття і відчуття тиску у скронях, запаморочення, головні болі, стиснення в грудях, слабкість, позиви до блювоти. У разі тяжких отруєнь спостерігається втрата здатності до довільних рухів (прикутість до певного місця), затемнена свідомість, аж до її повної втрати. При цьому можуть бути судоми, прикушування язика, мимовільне сечовипускання. Пульс малий, прискорений, неправильний, тони серця глухі, дихання поверхневе. З'являється психічне збудження, слухові та зорові галюцинації, порушення кольорового зору.

У разі гострого отруєння необхідно негайно винести потерпілого на свіже повітря. У разі несвідомого стану провести тривале штучне дихання, потім вдихання кисню або кисню з 5%-вою вуглекислотою, вливання фізіологічного розчину, застосувати серцеві засоби [11].

Також шкідливими факторами, що впливають на умови праці

робітників, є шум, вібрація, висока інтенсивність світіння електричних дуг і нагрітого матеріалу (яскравість).

Джерелами шуму є корпус готової продукції (дробарка готового продукту), вузол переробки шлаку (валкова дробарка), крани, електричні дуги, вентилятори тощо. Рівень шуму в цеху становить 84 дБ [11], за допустимого рівня 80 дБ, що негативно впливає на здоров'я працівників (знижується гострота слуху, погіршується зір, послаблюється увага тощо). Це призводить до зростання промислового травматизму).

Вібрації, здебільшого середньо- та низькочастотні, спостерігаються в кабінах кранівників. Поширеними є локальні вібрації з рівнем 90 дБ, за допустимого рівня 92 дБ [6]. Ці вібрації спричиняють спазми судин, порушення фізіологічних функцій організму, болі та відкладення солей у суглобах.

Під час обробки колошника і льотки можлива сліпуча дія променів видимого спектра, що поєднується з інфрачервоним, а іноді й з ультрафіолетовим випромінюванням.

У технологічних процесах цеху основними потенційними небезпеками є ураження електричним струмом, рухомі машини і механізми. Джерелами прихованої небезпеки впливу електричного струму служать електроустановки. Робота електротермічного обладнання створює небезпеку теплового ураження персоналу.

Дані оцінки факторів виробничого процесу на робочому місці плавильника в цеху №1 наведено в таблиці 3.1

3.3 Технічні рішення з виробничої санітарії

Будівля цеху відповідно до чинних норм і правил (СН 245-71, ОНТП 24-86) має прямокутну форму та розміри, які забезпечують сприятливі санітарно-гігієнічні та безпечні умови праці. Виробництво належить до I класу, якому відповідає санітарно-захисна зона 1000 м [12].

Таблиця 3.1 – Оцінка факторів виробничого і трудового процесу ВАТ ЗФЗ, цех № 1,професія - плавильник

№ п/п	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці			Тривалість дії фактора за зміну, %
				I	II	III	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3						
	1 клас небезпеки						
	2 клас небезпеки марганець та його сполуки (MnO)	0,3	0,07				92,36
	3-4 клас небезпеки вуглецю оксид	20	3,73				92,36
2	Пил переважно фіброгенного впливу, мг/м^3 двоокис кремнію (пил, що містить двоокису кремнію понад 70 %)	1	1,3	1,3			92,36
3	Вібрація (загальна та локальна), дБ	92	90				81
4	Шум, дБА	80	84	4			96
5	Інфрозвук, дБ						
6	Ультрозвук, дБ						
7	Неіонізуюче випромінювання (радіочастотний, промисловий, оптичний діапазони)						
8	Мікроклімат у приміщенні:						
	температура повітря, ^{0}C	26	38			12	92,36
	швидкість руху повітря, м/с	0,2…0,8	0,3				92,36
	швидкість руху повітря, м/с, %	40	32				92,36
	інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	140	5250			5110	92,36

Цех розташований з підвітряного боку по відношенню до житлової забудови шостого селища. Ця умова також задовольняється при розташуванні цеху на генеральному плані заводу, по відношенню до цехів, які не є джерелами виділення забруднювальних речовин у навколишнє

середовище.

У цеху на одного робітника обсяг виробничого приміщення становить не менше 15 $м^3$, площа – не менше 4,5 $м^2$.

Велике санітарно-гігієнічне значення мають озеленені ділянки, площа яких становить близько 10 % загальної площі заводу.

У цеху передбачена повітряна, поєднана з припливною вентиляцією система опалення. Використовуються радіатори з водяним і паровим теплоносіями.

У плавильному корпусі передбачена природна загальнообмінна вентиляція за допомогою аераційного ліхтаря на даху. Відстань від рівня підлоги до низу стулкових палітурок, призначених для припливу повітря в теплий період року, - не більше ніж 1,8 м, а до низу прорізів, що відчиняються, призначених для припливу повітря в холодний період року, - не менше ніж 4 м. Місцеву вентиляцію передбачають для пічних агрегатів. Над колошником відкритої і закритої РТП, льотками печей встановлені парасолі. Відбір газу здійснюється також від камери ковшів силікомарганцю. Приміщення пульта керування РТП обладнують механічною припливною вентиляцією.

Зоровий апарат людини бере участь у будь-якому трудовому процесі. Успішність же зорової роботи значною мірою залежить від умов освітлення. Світло впливає не тільки на функцію органа зору, а й на діяльність організму в цілому.

Недостатнє освітлення призводить до підвищеного напруження функцій зорового аналізатора, швидкої стомлюваності, головного болю і може спричиняти виробничі травми. Це може статися або в разі засліплення очей робітника надто яскравим світлом, або в разі утруднення в розрізненні рухомих частин машин за недостатньої освітленості.

Природне освітлення виробничих приміщень цеху здійснюється через вікна в бічних стінах і через верхні світлові прорізи.

Виконувані роботи за зоровою характеристикою належать до VII розряду (робота з матеріалами, що світяться, і з виробами в гарячих цехах). Коефіцієнт природного освітлення КЕО при верхньому та комбінованому освітленні дорівнює 2,7 %. Нормоване значення КЕО визначаємо за формулою:

$$e_н = e \times m \times c,$$

де e – значення КЕО (%), що визначається з урахуванням характеру зорової роботи;

m - коефіцієнт світлового клімату. Для IV поясу m = 0,9 [8];

c – коефіцієнт сонячності клімату. c = 0,85 [8].

$$e_н = 2{,}7 \times 0{,}9 \times 0{,}85 = 2{,}1.$$

Штучне освітлення призначене для освітлення робочих поверхонь у темний час доби або за недостатності природного освітлення. У пічному прольоті цеху № 1 застосовують лампи розжарювання, оскільки для виконуваних там робіт норма освітленості менше ніж 50 лк, і не висувають підвищених вимог до правильного розрізнення кольорів поверхонь. Використовується світильник «Глибоковипромінювач» середнього світлорозподілу Гс, з відкритим виконанням і прямим глибоким світлорозподілом, що доцільно в основних металургійних цехах. Потужність світильників Гс 1000 Вт [9].

Також у цеху є аварійне освітлення, що забезпечує освітленість робочих місць не менше ніж 5 % нормативного для робочого освітлення і не менше ніж 2 лк усередині будівлі.

До санітарно-побутових приміщень цеху належать приміщення, призначені для задоволення санітарних і побутових потреб працівників під час їх перебування на роботі. Це приміщення для приймання їжі, гардеробні, душові, вбиральні, умивальні, курильні, пральні та кімнати особистої гігієни.

У цеху передбачені місця відпочинку на робочих місцях і майданчиках у вигляді кабін для відпочинку, в яких знаходяться лави для відпочинку. У ці кабіни подають кондиціоноване повітря, питну або газовану підсолену воду. Відстань від робочих місць до питних установок не більше 75 м.

Для боротьби з виробничим шумом, загальною і локальною вібрацією застосовують інженерно-технічні та медичні профілактичні заходи. Для захисту від шуму застосовують обшивку і футерування апаратів спеціальними кожухами зі звукопоглинальних матеріалів. Для зменшення вібрації підлоги і стін у приміщеннях влаштовують спеціальні, не пов'язані з фундаментом стін, фундаменти для машин та інших вібруючих установок. Передбачено такі методи боротьби з вібрацією, як правильне балансування механізмів, використання амортизаторів. Також застосовують індивідуальні засоби захисту, які дають змогу знизити рівень сприйманого звуку на 7...38 дБ. Це протишумні навушники, вкладиші, шоломи і каски. На постах керування використовуються звукопоглинальні та звуковідбивні екрани.

Для захисту від теплових випромінювань і створення необхідних умов праці в цеху передбачено теплову ізоляцію поверхонь, що випромінюють тепло; прискорене проведення операцій, пов'язаних із відкриттям льотки, випуском силікомарганцю та шлаку; теплову ізоляцію й охолодження робочих місць (кабін машиністів, пультів керування); екранування робочих місць; природну та механічну вентиляцію; організацію на деяких робочих місцях місцевої припливної вентиляції у вигляді повітряного душіння, забезпечення необхідної кратності повітрообміну; спецодяг.

3.4 Заходи з техніки безпеки

Безпека технологічного процесу в цеху визначається безпекою виробничого устаткування, сировини, матеріалів і технологічних операцій, що використовуються.

У цеху передбачено такі заходи з техніки безпеки: комплексна механізація та автоматизація виробництва, застосування дистанційного керування операціями і технологічними процесами, що супроводжуються небезпечними та шкідливими факторами; герметизація виробничого обладнання; застосування засобів колективного захисту працюючих.

З метою безпеки застосовується ізоляція гарячих поверхонь, що оберігає робітників від опіків і впливу теплових випромінювань; герметизація приладів освітлення у вибухонебезпечних місцях; блокування; огороджувальні пристрої та ін.

Безпека експлуатації електроустановок забезпечується такими захисними заходами: недоступність струмоведучих частин, застосування ізоляції, блокування, застосування малих напруг, застосування трифазного струму з ізольованою нейтраллю, захисне заземлення, а для пересувних електроустановок - захисне відключення [10, 11]. Підлоги колошникового майданчика, робочого майданчика проти льотки печі, а також робочих майданчиків обслуговування електродів виконують неелектропровідними.

3.5 Заходи пожежної безпеки

У цеху №1 досить багато джерел виникнення пожежної небезпеки: відкритий колошник руднотермічної печі (РТП), високотемпературний продукт при виході з льотки печі під час розливання, потужне електрообладнання, велике кабельне господарство тощо. Причинами пожеж і вибухів у цеху можуть стати завалювання в печі сирих матеріалів, зіткнення розплавленого металу і шлаку з водою, несправності електромереж та електрообладнання тощо.

З урахуванням характеру технологічних процесів і використовуваних сировинних та інших матеріалів у цеху № 1 складено перелік виробництв за категоріями вибухопожежної та пожежної небезпеки, наведений у таблиці 3.2 [12].

Будівля цеху має ступінь вогнестійкості IIIа. Межі вогнестійкості конструкцій і межі поширення вогню по них наведено в таблиці 3.3 [12].

Таблиця 3.2 – Перелік виробництв за категоріями вибухопожежної та пожежної небезпеки

№ п/п	Найменування відділень, приміщень, дільниць	Категорія виробництв за ОНТП-24-86	Класифікація за ПУЕ
1	Шихтове відділення	В	II-IIа
2	Корпус готової продукції	Д	
3	Приміщення камер пічних трансформаторів	В	II-IIа

Таблиця 3.3 – Межі вогнестійкості конструкцій цеху

Ступінь вогнестійкості будівлі	Минимальные пределы огнестойкости строительных конструкций, ч (над чертой) и максимальные пределы распространения огня по ним, см (под чертой)								
	Стіни				Колони	Сходові марші, сходинки, балки та марші	Елементи покриттів		
	Несучі та сходових клітоk	Самонесучі	сумісні (з навісних	Внутрішніх несуча (поперечна)			(з утеплювачем і	Балки, ферми, арки та рами	
IIIа	$\frac{1}{0}$	$\frac{0,5}{0}$	$\frac{0,25}{40}$	$\frac{0,25}{40}$	$\frac{0,25}{0}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{0,25}{0}$	$\frac{0,25}{25}$	$\frac{0,25}{00}$

Камери трансформаторів печей обладнані вуглекислотними вогнегасниками і ящиками з піском. Шихтове відділення електропічного корпусу обладнано пожежними кранами, вогнегасниками та ящиками з піском [12].

Виробничі приміщення цеху № 1 залежно від належності до категорії пожежної небезпеки обладнані різними засобами пожежогасіння. Корпус готової продукції обладнано пожежними щитами з інвентарем, ящиками з піском, пожежними кранами зі шлангом і стволом.

Для запобігання пожежам, що виникають від коротких замикань, на лініях і відгалуженнях електричних мереж, послідовно включають запобіжники (вставки). При проходженні надмірно великого струму плавкі запобіжники перегорають і, тим самим, розривають електричний ланцюг, запобігаючи небезпечному з точки зору пожежі нагріванню проводів [12].

Для запобігання поширенню пожежі дотримуються протипожежні розриви між будівлями, установками, передбачаються пристрої автоматичного пожежогасіння, здійснюється систематичний нагляд за дотриманням заходів пожежної безпеки, наявністю та справним станом протипожежного інвентарю та первинних засобів пожежогасіння.

У будівлі забезпечено можливість швидкої безпечної евакуації людей у разі виникнення пожежі. Допустима тривалість евакуації залежить від часу досягнення критичних для людини умов: критичної температури (60°С), зменшення концентрації кисню, втрати видимості через задимлення. Швидкість руху людей під час вимушеної евакуації становить від 8 до 16 м/хв. Довжина шляхів евакуації (відстань від найвіддаленішого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу) в електропічному корпусі (категорія В, ІІ-ІІа) не перевищує 100 м, що відповідає вимогам пожежної безпеки[12].

3.6 Розрахунок рівня тепловиділень на різній відстані від джерела

Основним джерелом тепловиділень у цеху № 1 є дугова рудно-термічна піч. Розмір льоток для випуску металу 0,24 м^2 . Температура металу під час випуску 1500 ºС (1773 К).

Інтенсивність теплового опромінення від нагрітої поверхні рекомендується визначати за формулами [8].

для $l_i \geq \sqrt{F}$ $$E = \frac{0{,}91 \cdot \sqrt{F} \cdot \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - 110 \right]}{l_i^2};$$

для $l_i < \sqrt{F}$ $$E = \frac{0{,}91 \cdot \sqrt{F} \cdot \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - 110 \right]}{l_i},$$

де E – інтенсивність теплового опромінення, Вт/м^2;

F – площа випромінювальної поверхні, м^2;

T – температура випромінювальної поверхні, К; Т=1273 К;

l_i – відстань від центру випромінювальної поверхні, м.

Площу випромінюваної поверхні приймаємо рівною площі робочих вікон.

Задаємося відстанню від центру випромінювальної поверхні, приймаємо l_i = 1; 2,5; 5; 10; 15; 20; 25 м. Так як F = 0,31 м^2, отже, для всіх відстаней виконується умова $l_i > \sqrt{\mathrm{F}}$.

Інтенсивність теплового опромінення на заданих відстанях:

при l_i = 1 м $$E = \frac{0{,}91 \cdot \sqrt{0{,}24} \cdot \left[\left(\frac{1773}{100} \right)^4 - 110 \right]}{1^2} = 44004{,}6 \ Вт/м^2$$

при l_i = 2,5 м $$E = \frac{0{,}91 \cdot \sqrt{0{,}24} \cdot \left[\left(\frac{1773}{100} \right)^4 - 110 \right]}{2{,}5^2} = 7040{,}8 \ Вт/м^2$$

при l_i = 5 м $$E = \frac{0{,}91 \cdot \sqrt{0{,}24} \cdot \left[\left(\frac{1773}{100} \right)^4 - 110 \right]}{5^2} = 1760{,}2 \ Вт/м^2$$

при l_i = 10 м $$E = \frac{0{,}91 \cdot \sqrt{0{,}24} \cdot \left[\left(\frac{1773}{100} \right)^4 - 110 \right]}{10^2} = 440{,}1 \ Вт/м^2$$

при l_i = 15 м $$E = \frac{0{,}91 \cdot \sqrt{0{,}24} \cdot \left[\left(\frac{1773}{100} \right)^4 - 110 \right]}{15^2} = 195{,}6 \ Вт/м^2$$

при l_i = 20 м $$E = \frac{0{,}91 \cdot \sqrt{0{,}24} \cdot \left[\left(\frac{1773}{100} \right)^4 - 110 \right]}{20^2} = 110{,}0 \ Вт/м^2$$

при l_i = 25 м $$E = \frac{0{,}91 \cdot \sqrt{0{,}24} \cdot \left[\left(\frac{1773}{100} \right)^4 - 110 \right]}{25^2} = 70{,}4 \ Вт/м^2$$

Результати розрахунку подано на рис. 3.1.

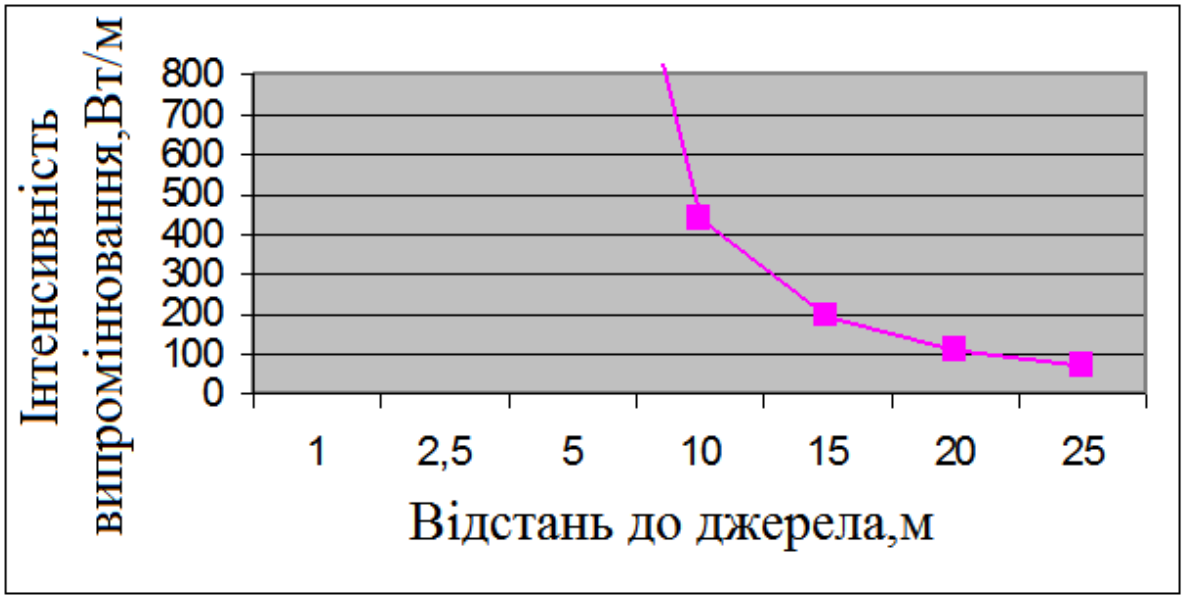


Рисунок 3.1 – Діаграма залежності інтенсивності теплового випромінювання від відстані до печі

Для умов виплавки силікомарганцю інтенсивність теплового випромінювання не повинна перевищувати 140 Вт/м^2 [8]. Отже, має місце перевищення норми на відстані lu менше 17 м. Це означає, що здійснюваних у цеху заходів теплозахисту недостатньо для забезпечення нормальних умов праці на виробничій ділянці.

Кваліфікаційною роботою пропонується здійснити такі заходи щодо боротьби з тепловипромінюванням:

- здійснити екранування стінок печі, застосувати відбивні екрани у вигляді алюмінієвих листів товщиною 1,5...2 мм;

- застосувати повітряне душирування на робочому місці плавильника;

- використовувати індивідуальні засоби захисту, такі як: щитки, маски, спецодяг, спецвзуття, які дають змогу збільшити ступінь захисту працюючого від теплового випромінювання.

4 ЕКОНОЧІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ

4.1 Організація роботи на дільниці очищення газів

Для організаційної структури управління приймаємо лінійно-функціональну схему управління цехом. Виробничий майстер газоочисної установки (ГОУ) є адміністративно-технічним керівником робітників-технологів своєї дільниці, підпорядковується начальнику зміни і всі питання, що виникають у процесі виробництва, вирішує самостійно. Майстер ГОУ стежить за забезпеченням безперебійної ефективної роботи пилогазоуловлювальної установки цеху, контролює дотримання технологічних параметрів і процесів, виявляє й усуває причини та порушення, забезпечує повне завантаження і правильне використання обладнання, утримання його в справному стані, а також належний порядок і чистоту на робочих місцях і прилеглій до дільниці території [13].

Оператор ГОУ спостерігає за перебігом технологічного процесу очищення газів, контролює показання приладів контролю і регулювання процесу.

Базовим варіантом є одноступенева схема очищення, що складається з восьми труб Вентурі та чотирьох краплевловлювачів. Труби Вентурі круглого перетину з горловиною діаметром 420 мм. Краплевловлювачі відцентрового типу (КЦТ-3500) діаметром 3500 мм і заввишки 12000 мм призначений для вловлювання крапельної вологи і пилу. Краплевловлювач оснащений гідравлічним затвором колінного типу діаметром 200 мм. Як спонукачі тяги використовують млинові вентилятори марки ВМ-20. Вони служать для відсмоктування технологічних газів від печі та подачі їх на газоочистку. Вентилятор комплектується електродвигуном ДАЗО-13-62-4 потужністю 800 кВт, напругою 6000 В, числом обертів 1500 об/хв. Вентилятори встановлені перед трубою Вентурі з краплевловлювачем. Початкова запиленість газів становить 3,6 г/м^3, кінцева запиленість становить

0,07 г/м^3. Ступінь очищення газів від тонкодисперсного пилу за такою схемою 98%, але скрубери Вентурі мають великий гідравлічний опір (до 10 кПа і вище), тому вони відносяться до розряду високоенергоємних апаратів.

У кваліфікаційній роботі система газоочищення передбачає відбір запилених газів від відкритої рудно-термічної печі двома зонтами, встановленими над колошником і льоткою печі, і від склепіння закритої РТП. Кількість газів, що відбираються від місць виділень, регулюється запірно-регулювальною арматурою.

Запилений газ за допомогою повітропроводів направляється у вузол входу «брудного» газу в рукавний фільтр ФРІР-5700 і після тонкого очищення за допомогою димової труби викидається в атмосферу. Спонукачами тяги в системі є димотяг ДН-26. Димова труба залізобетонна діаметром у гирлі 3 м і висотою 80 м. Уловлений у рукавному фільтрі пил під час регенерації осідає в бункері, звідки за допомогою шлюзового живильника прямує в систему пилоприбирання. Початкова запиленість газу 3,6 г/м^3, кінцева запиленість 0,02 г/м^3. Ефективність очищення за такою схемою 99,5 %.

Продуктивні процеси ділянки газоочищення тісно пов'язані з виробничими процесами виплавки силікомарганцю.

Відповідно до графіка поточних оглядів і капітальних ремонтів основного обладнання складається графік проведення оглядів і ремонтів устаткування газоочисної установки, з якого розраховується кількість днів і годин простою устаткування на огляди та для заміни деталей, що вийшли з ладу. Потім розраховується робота обладнання з урахуванням простоїв. Результати розрахунків зводимо в таблицю 4.1.

За базовим варіантом простої на поточні та капітальні ремонти становлять 20 днів на рік, а за проєктним варіантом - 15 днів протягом року.

Ефективний фонд часу газоочисної установки, год:

$$T_{еф} = T_{кал} - T_{рем}$$

де $T_{кал}$ – календарний час роботи, год;

$T_{рем}$ – простій на плановий ремонт, год.

Коефіцієнт використання установки в часі:

$$K_{викор} = \frac{T_{еф}}{T_{кал}}$$

Таблиця 4.1 – Баланс робочого часу газоочисної установки

Показники	Одиниці виміру	Базовий варіант	Проектний варіант
Режим роботи газоочисної установки	–	Безперервний	Безперервний
Календарний час роботи, $T_{кал}$	Дні Години	365 365·24=8760	365 365·24=8760
Простій на плановий ремонт, $T_{рем}$	Дні Години	20 20×24 = 480	15 15×24 = 360
Ефективний фонд часу, $T_{еф}$	Дні Години	365–20 = 345 8760–480 =8280	365–15=350 8760–360 = 8400
Коефіцієнт використання, $K_{викор}$	–	$\frac{345}{365}$ = 0,945	$\frac{350}{365}$ = 0,959

Таким чином, застосування сухого методу очищення дає змогу зменшити простої на планові ремонти та підвищити коефіцієнт використання устаткування в часі на 1,4 %.

Річна виробнича потужність газоочисної установки:

$$П = N \cdot n \cdot T_{еф}, м^3$$

де N – т технічна норма продуктивності основного агрегату очисної установки за одиницю часу, м^3/год (н.у.);

n - кількість рукавних фільтрів;

$T_{еф}$ - річний фонд ефективного часу роботи газоочисної установки, год.

За проектним варіантом:

Технічна продуктивність рукавного фільтра ФРІР-5700 становить 82500 нм^3/год (за НФУ), тоді

$$П_{пр} = 293508,8 \times 1 \times 8400 = 2465,47 \times 10^6 \text{ м}^3$$

По базовому варіанту:

Технічна продуктивність скрубера Вентурі становить 73377,19 нм^3/год.

$$П_б = 73377,19 \times 4 \times 8280 = 2430,25 \times 10^6 \text{ м}^3$$

Кількість уловленого пилу з очищеного газу:

$$Q = \frac{(Z_1 - Z_2) \cdot П}{10^6}, \text{ т},$$

де Z_1 – запиленість газу до очищення, г/м^3;

Z_2 - запиленість газу після очищення, г/м^3.

За проєктним варіантом ефективність очищення становить 99,5 %.

Отже запиленість газів після очищення:

$$Z_2 = Z_1 \times (1 - 0,995) = 3,6 \times (1-0,995) = 0,02 \text{ г/м}^3$$

Тоді

$$Q_{пр} = \frac{(3,6 - 0,02) \times 2465,47 \times 10^6}{10^6} = 7943,76 \text{ т.}$$

За базовим варіантом ефективність очищення становить 98%. Отже, запиленість газів після очищення дорівнює, г/м^3:

$$Z_2 = Z_1 \times (1 - 0{,}98) = 3{,}6\times(1\text{-}0{,}98) = 0{,}07.$$

Тоді

$$Q = \frac{(3{,}6 - 0{,}07) \times 2430{,}25 \times 10^6}{10^6} = 8578{,}79 \text{ т.}$$

Приймаємо втрати уловленого продукту під час утилізації 10%. Кількість утилізованого пилу дорівнює, т:

$$Q_{ут} = 0{,}9 \cdot Q.$$

За проєктним варіантом:

$$Q_{ут}^{пр} = 0{,}9\times 8826{,}4 = 7943{,}76 \text{ т.}$$

За базовим варіантом під час мокрого очищення уловлений продукт являє собою шлам, який не утилізується. Результати розрахунків зводимо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Виробнича програма

Показники	Одиниці виміру	Базовий варіант	Проектний варіант
Річна продуктивність, *П*	млн. нм^3	2430,25	2465,47
Технічна норма продуктивності, *N*	тис. нм^3/год	73,4	295,5
Початкова запиленість, Z_1 Кінцева запиленість, Z_2	г/нм^3 гн/м^3	3,6 0,07	3,6 0,02
Кількість уловленого пилу, *Q*	т	8578,79	8826,4
Кількість утилізованого пилу, $Q_{ут}$	т	-	7943,76
Витрата води на газоочищення, $Q_{під}$	м^3/рік	5760306	–
Витрата стисненого повітря на газоочищення	тис. м^3/рік	-	2940

Таким чином, застосування сухого методу очищення дає змогу збільшити об'єм очищуваних газів у проєктному варіанті, а також дає змогу збільшити кількість уловлюваного пилу (різниця між базовим і проєктним варіантом 247,61 т/рік пилу), який можна повернути у виробництво. У проектному варіанті на газоочищення не використовується вода, тобто економляться кошти.

Розрахунок балансу робочого часу основних робітників. Графік роботи - 3-х змінний 4-х бригадний; тривалість робочого дня 8 годин [14].

Календарний фонд робочого часу час: $T_{кал}$ = 365 днів.

Кількість вихідних днів у році: $T_{вих} = \frac{T_{кал} \cdot 1}{4} = \frac{365 \times 1}{4}$ = 91,25 дн.

Номінальний (режимний) фонд робочого часу визначається відніманням від календарного часу числа неробочих днів згідно з графіком змінності (вихідних):

$$T_{ном}=T_{кал}–T_{вих}, \text{ дн.},$$

тоді

$$T_{ном} = 365–91,25=273,75 \text{ дн.}$$

Ефективний фонд робочого часу.

Невиходи на роботу:

- тарифна відпустка -32 дні
- хвороби -5 днів
- учнівські відпустки -0,5 днів
- інші -0,5 днів

$$T_{невих} = 38 \text{ дней}$$

$$T_{еф}=T_{ном}–T_{невих} = 273,45 – 38 = 235,75 \text{ дн.}$$

Коефіцієнт списковості враховує резерв робітників, необхідних для заміни людей, які перебувають у відпустці, хворіють, виконують державні обов'язки, і визначається діленням номінального часу роботи на ефективний:

$$K_{сп} = \frac{T_{ном}}{T_{эф}} = \frac{273,75}{235,75} = 1,16.$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Баланс рабочего времени одного рабочего

Елемент балансу	Позначення	Одиниці виміру	Значення	Примітка
Режим роботи			Безперервний	
Календарний час	$T_{кал}$	дні години	365 2920	365 365×8 =2920
Вихідні дні	$T_{вих}$	дні	91,25	$\frac{365 \cdot 1}{4} = 91,25$
Номінальний час	$T_{ном}$	дні години	273,75 2190	365–91,25=273,75 273,75×8 = 2190
Невиходи на роботу: - тарифна відпустка - хвороби -учнівські відпустки - інші	$T_{невих}$	 дні дні дні дні	 32 5 0,5 0,5	 32 + 5 + 0,5 + 0,5 = 38
Усього невиходи		дні	38	
Ефективний час	$T_{еф}$	дні години	235,75 1886	273,75–38=235,75 235,75×8=1886
Коефіцієнт списковості	$K_{сп}$		1,16	$\frac{273,75}{235,75}$=1,16

Розрахунок чисельності основних робітників. Виходячи з балансу робочого часу проводиться розрахунок чисельності.

Розраховуємо кількість робітників для обслуговування димотяга і рукавного фільтра, що складається з 12 секцій.

Час обслуговування 1 умовної одиниці: то=1,2 чол-год.

Оскільки апарат (рукавний фільтр) складається з декількох умовних одиниць (12 секцій), то насамперед визначаємо час обслуговування одного апарата [13]:

$$t = t_o \cdot K_2, \text{чол-год},$$

де t_o – час обслуговування однієї умовної одиниці, чол-год. $t_0 = 1,2$;

K_2 – коефіцієнт, який дорівнює:

$$K_2 = 1,1^m$$

де m – число умовних одиниць в апараті. $m = 12$.

$$K_2 = 1,1^m = 1,1^{12} = 3,14,$$

тоді

$$t = 1,2 \times 3,14 = 3,77 \text{ чол-год.}$$

Сумарний середньозмінний час обслуговування.

- для рукавного фільтра

$$T = t \cdot K_1, \textit{ чол-год/см,}$$

де t – час обслуговування одного газоочисного апарата, чол-год;

K_1 – коефіцієнт, який дорівнює:

$$K_1=1,1^n,$$

де n –кількість апаратів, n=1.

$$T_{р.ф.} = 3,77\times1,1^1 = 4,147 \text{ чол-год/см.}$$

- для димотяга:

$$T_{дим} = t \cdot 1,2^n \text{ ,чол-год/см,}$$

де n – кількість апаратів.

$$T_{дим} = 0,9 \cdot 1,2^1 = 1,08 \text{ чол-год/см}$$

Сумарний середньомісячний час обслуговування установки:

$$T_{уст} = T_{р.ф.} + T_{дим}, \text{ чол-год/см.}$$

$$T_{уст} = 4,147 + 1,08 = 5,227 \text{ чол-год/см.}$$

Змінна загальна явочна чисельність обслуговуючого персоналу:

$$Ч_{яв} = \frac{T_{уст}}{l} \cdot \frac{S}{L}, \textit{ чол-год/см}$$

де l – задана тривалість зміни, год;

S – тривалість тижневого циклу роботи обладнання, год;

L – тривалість робочого тижня, год.

При безперервному 3-змінному 4-х бригадному графіку:

$$S = 7 \text{ дн.}\times24 \text{ год}=168 \text{ год,}$$

$$L = 7 \text{ дн.}\times3 \text{ см.}\times8 \text{ год}=168 \text{ год,}$$

тоді

$$Ч_{яв} = \frac{5{,}227}{8} \cdot \frac{168}{168} = 0{,}65 \approx 1 \text{ чол-год/см.}$$

Суточный состав:

$$Ч_{сут} = Ч_{яв} \cdot n_{см}, \text{ чол,}$$

де $n_{см}$ – кількість змін

$$Ч_{сут} = 1 \cdot 3 = 3 \text{ чол.}$$

Штатный состав:

$$Ч_{шт} = Ч_{яв} \cdot \left(n_{бр} + n_{вих}\right), \text{ чол,}$$

де $n_{бр}$ – кількість працюючих бригад;

$n_{вих}$ – к кількість непрацюючих бригад;

$$Ч_{шт} = 1 \cdot \left(3 + 1\right) = 4 \text{ чел.}$$

Списочний склад:

$$Ч_{сп} = Ч_{шт} \cdot К_{сп}, \text{ чол,}$$

$$Ч_{сп} = 4 \cdot 1{,}16 = 4{,}64 \approx 5 \text{ чол.}$$

Отже, у розробленгому варіанті в одну зміну працює один оператор ГОУ. Результати розрахунків зводимо в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 - Штатний розклад робітників дільниці газоочищення

Професія	розряд	Часова тарифна ставка, грн.	Графік виходів	Тривалість зміни, год	Розстановочний штат					Резервний штатний склад, чол	Списочний склад, чол.
					Бригади				Всього		
					1	2	3	4			
Опе-ратор ГОУ	4	4,5	Безпер ервний	8	1	1	1	1	4	1	5
Всього					1	1	1	1	4	1	5

4.2 Розрахунок капітальних витрат на очищення газу

Величина необхідних вкладень в основні фонди визначається методом прямого розрахунку окремих елементів вкладень [15].

У загальному вигляді капітальні вкладення містять такі статті витрат:

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

Капітальні вкладення по базовому варіанту приймаємо за заводськими даними. Капітальні вкладення за проєктним варіантом приймаємо з урахуванням технічних рішень газоочищення.

Вартість контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації $C_{КІП}$ приймаємо в розмірі 25 % від вартості основного обладнання, грн.

Вартість установлення і монтажу нового обладнання $C_м$ приймаємо в розмірі 30% від вартості основного обладнання.

Основне завдання планування витрат на очищення газів – виявлення і використання резервів для зниження витрат.

Річні експлуатаційні витрати на очищення газу визначаються за формулою:

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

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

де C_1 - витрати на основні та допоміжні матеріали (вода, шлам, тканина для рукавного фільтра);

C_2 - витрати на електроенергію, що витрачається на виробничі потреби;

C_3 - амортизаційні відрахування від вартості основних фондів;

C_4 - основна і додаткова зарплата виробничих робітників;

C_5 - відрахування на соціальні заходи;

C_6 - витрати на поточний ремонт і утримання основних фондів;

C_7 - загальновиробничі витрати.

Експлуатаційні витрати на 1000 м^3 очищуваного газу дорівнюють, грн./1000 м^3:

$$C_i \times \frac{1000}{П}$$

Витрати на основні матеріали, грн:

$$C_1 = m_{пит} \cdot Ц$$

де $m_{пит}$ – питома витрата матеріалів на 1000 м^3 газу;

Ц – ціна матеріалів, грн.

Витрати на воду за базовим варіантом становлять:

$$C_в = m_в \times Q \times T_{еф} \times Ц ,$$

де $m_в$ – питома витрата рідини на очищення, м^3/м^3, $m_в$=1,2×10^{-3};

Q – об'ємна витрата очищених газів за робочих умов, м^3/год;

$T_{еф}$ – ефективний обсяг часу роботи газоочищення;

$Ц$ – вартість 1000 м^3 технічної води.

Витрати на стиснене повітря за проєктним варіантом:

$$C_{ст}^{пр} = m_{ст} \cdot T_{еф} \cdot Ц_{ст},$$

де $m_{ст}$ – витрата стисненого повітря, нм^3/год;

$Ц_{ст}$ – вартість 1000 м^3 стисненого повітря.

Для фільтрів ФРІР-5700 витрата стисненого повітря не більше 350 нм^3/год.

Вартість тканини для заміни рукавів $S_{фільт}$ = 5925,1 м^2.

Витрати на електроенергію, грн:

$$C_1 = r \times l \times N \times T_{эф}.$$

де r – вартість електроенергії, грн./кВт·год, для промислових підприємств r = 0,195 грн./кВт·год;

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

N – сумарна потужність електродвигунів до тягодуттьових агрегатів, насосів, двигунів до шнеків тощо, кВт.

Амортизаційні відрахування визначають множенням вартості основних фондів на відповідну норму амортизаційних відрахувань (на рік).

Приймаємо норми амортизаційних відрахувань для обладнання - 15%, для КВП - 25%, для будівель і споруд - 5 %.

Витрати на поточний ремонт і утримання основних засобів приймаємо 15% від величини амортизаційних відрахувань, грн.

Загальновиробничі витрати становлять 25% від суми амортизаційних відрахувань і відрахувань до ремонтного фонду.

Економія від утилізації продуктів, що уловлюються в процесі очищення газів:

$$E_y = Q_{ут} \cdot Ц \ ,$$

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

$Ц$ – відпускна ціна 1 т, грн.

Річний економічний ефект, грн/рік:

$$E_{рік} = \left[\left(C_б + E_н \times K_б\right) - \left(C_{пр} + E_н \times K_{пр}\right)\right] \times Q_{пр} =$$
$$= \left[\left(C_б - C_{пр}\right) + E_н \times \left(K_б - K_{пр}\right)\right] \times Q_{пр}$$

де $C_б$ і $C_{пр}$ – собівартість очищення 1000 м^3 за базовим і проєктним варіантами відповідно, грн./1000 м^3;

$K_б$ і $K_{пр}$ – питомі капітальні вкладення за базовим і проектним варіантами відповідно, грн./1000 м^3;

$E_н$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень. Приймаємо $E_н$ = 0,2;

$Q_{пр}$ – річний обсяг очищуваних газів за проєктним варіантом, тис. м^3/рік.

Визначаємо термін окупності додаткових капітальних вкладень $K_{дод.}$ = ($K_{пр} – K_б$), років:

$$T_{ок} = \frac{K_{пр} - K_б}{C_б - C_{пр}}$$

де $C_б$ і $C_{пр}$ – річна собівартість (річні експлуатаційні витрати) очищення газів за базовим і проєктним варіантами, грн./рік;

$K_б$ і $K_{пр}$ – капітальні вкладення за базовим і проектним варіантами, грн.;

Коефіцієнт ефективності додаткових капітальних вкладень, грн./(грн*рік):

$$E = \frac{1}{T_{ок}},$$

де $T_{ок}$ – розрахунковий термін окупності додаткових капітальних вкладень.

Умова економічної ефективності більш капіталомісткого варіанта (у кваліфікаційній роботі) виконується. Коефіцієнт економічної ефективності додаткових капітальних вкладень більший за нормативний. Отже, проектний варіант сухого очищення газів у рукавному фільтрі економічно доцільний.

Результати розрахунків зводимо в таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 – Основні техніко-економічні показники газоочищення

Показники	Одиниці виміру	Варіант	
		базовий	проєктний
Річна виробнича потужність газоочищення	млн. м^3	2430,25	2465,47
Вміст пилу: - до очищення - після очищення	г/м^3	 3,6 0,07	 3,6 0,02
Кількість уловленого пилу	т	8578,79	8826,76
Кількість утилізованого пилу	т	-	7943,76
Річні експлуатаційні витрати	тис. грн./рік	216331,800	171694,450
Капітальні вкладення	тис. грн.	124283,50	99625,00
Річний економічний ефект	тис. грн./рік		4580,252
Економічна ефективність капітальних вкладень	$\frac{грн.}{грн. \cdot рік}$		0,27
Термін окупності капітальних вкладень	років		3,7

ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційної роботи розглянуто технологію виплавки силікомарганцю в рудно-термічній печі, надано характеристику викидів закритої та відкритої електропечі. Основним шкідливим компонентом відхідних газів є тонкодисперсний пил.

2. Проаналізовано існуючі системи очищення газів, що відходять від печей виробництва феросплавів. Обґрунтовано очищення у рукавному фільтрі. На підставі розрахунку до установки запропонований рукавний фільтр ФРІР-5700. Як тягодуттєвий апарат обраний димотяг ДН-26. Початкова запиленість газу 3,6 г/м^3, кінцева запиленість 0,02 г/м^3. Ступінь очищення газів від пилу становить 99,5%. Вловлений пил повертається у виробництво. Загальний опір газовідвідного тракту за результатами розрахунків – 4271,29 Па.

3. У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» дано характеристику ступеня безпеки технологічного процесу виробництва силікомарганцю, проаналізовано небезпечні та шкідливі фактори в цеху. Розглянуто питання виробничої санітарії, техніки безпеки, заходи пожежної безпеки, проведено розрахунок рівня тепловиділень на різній відстані від джерела.

4 Розраховано річну виробничу програму ділянки очищення газів, кількість основних робітників на ділянці, капітальні та експлуатаційні витрати. Річний економічний ефект від запровадження очищення у рукавних фільтрах ФРІР-5700 становив 4580,252 тис. грн, термін окупності додаткових капітальних вкладень 3,7 років.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. Том 6. Прогресивні енерго- і ресурсозберігаючі технології та обладнання в електротермії феросплавів. Дніпропетровськ : Системні технології, 2003. 376 с.

2. Гаврилко С.О. Теорія і технологія сталеплавильного виробництва. Конспект лекцій для студентів ЗДІА спеціальності 7.090401 «Металургія чорних металів». Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 120 с.

3. Гаврилко С.О. Основи проєктування металургійних цехів. Конспект лекцій для студентів ЗДІА спеціальності 7.090401 «Металургія чорних металів». Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 92 с.

4. Кушакова Н. О. Металургійний комплекс України: загальна характеристика та сучасний стан розвитку. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2019. №23. С. 162–165.

5. Самойленко Н. М., Аверченко В. І., Байрачний В. Б. Системи технологій та промислова екологія : навчальний посібник. Харків : Лідер, 2020. 212 с.

6. Павлюк Ю.С., Малишева І.В. Методичні вказівки до розрахунково графічної роботи з дисципліни «Повітродувні та насосні станції» для студентів спеціальності 7.090401 спеціалізації «Екологія та охорона навколишнього середовища». Запоріжжя, ЗДІА, 2006. 28 с.

7. Павлюк Ю.С. Методичні вказівки до розрахунку газового тракту газоочисної системи в курсових проєктах спецдисцеплін і дипломному проєктуванні для студентів денної та заочної форми навчання спеціальності 7.090409. Запоріжжя, 2002. 21с.

8. Тарасов В.К. Безпека технологічних процесів і устаткування. Запоріжжя, ЗДІА, 2008. 164с.

9. Геврик Є.О. Охорона праці: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280 с.

10. Ткачук К.Н. Филипчук В.Л., Каштанов С.Ф. Виробнича санітарія. Рівне : НУВГП, 2012. 443 с.

11. Ткачук К.Н., Халімовський М.О., Зацарний В.В. Основи охорони праці. Київ : Основа, 2006. 448 с.

12. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М. та ін. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник. Львів, Афіша, 2000 352с.

13. Єгупов Ю.А. Організація виробництва на промисловому підприємстві. Навчальний посібник. К. : Центр навчальної літератури, 2006. 488 с.

14. Беренда Н.В., Малишева І.В. Організація виробництва. Методичні вказівки до виконання організаційної частини дипломного проекту для студентів ЗДІА професійного напрямку «Металургія» денної та заочної форми навчання. Запоріжжя, 2006. 38с.

15. Іващенко О.В. Методичні рекомендації до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту для студентів ЗДІА спеціальності 7.090401. Запоріжжя, 2004. 32 с.