Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

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

# Кваліфікаційна робота

на тему *«Проєкт системи очищення аспіраційних газів виробництва чавуну»*

Виконав: студент *2* курсу, групи *8.1833*

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

спеціалізації

(шифр і назва)
*А.Ю. Колісник*

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

Рецензент *доцент, к.т.н. Кожемякін Г.Б.*
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя
2024

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

Кафедра _____*металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*_____

Рівень вищої освіти _____*другий магістерський рівень*_____
(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність ___*183 Технології захисту навколишнього середовища*_____
(шифр і назва)

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Завідувач кафедри _____*МТЕТБ*_____
_____ *Ю.О. Бєлоконь*__

«____» _____2024 року

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

_____*Колісник Артур Юрійович*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Проєкт системи очищення аспіраційних газів виробництва чавуну»_____-
_____
керівник роботи_____*Манідіна Євгенія Анатоліївна*_____*к.т.н, доцент*____
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від *"28"02* 2024 року *№ 359-с*
2. Строк подання студентом роботи _____*06.12.2024*_____
3. Вихідні дані до роботи ____*розробити високоефективну систему очищення аспіраційних викидів ливарних дворів, скіпових ям і приймальних воронок засипних апаратів доменних печей*_____
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Вступ. Опис технологічного процесу виплавки чавуну в доменній печі. Характеристика пилогазових викидів доменного виробництва. Аналіз існуючих способів очищення аспіраційних газів доменного виробництва. Режими роботи аспіраційної системи доменного цеху. Розрахунок газоочисного устаткування. Розрахунок аеродинаміки газового тракту. Вибір тягодуттєвого обладнання. Охорона праці та техногенна безпека. Економічне обгрунтування проєктних рішень Висновки. Перелік джерел посилань*..
_____
_____
_____

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

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата завдання прийняв |
|---|---|---|
| *Загальна частина* | *Манідіна Є.А., доцент* | |
| *Проєктна частина* | *Манідіна Є.А., доцент* | |
| *Охорона праці та техногенна безпека* | *Манідіна Є.А., доцент* | |
| *Економічне обґрунтування проєктних рішень* | *Манідіна Є.А., доцент* | |

7. Дата видачі завдання_____

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| *1* | *Вступ* | | |
| *2* | *Загальна частина* | | |
| *3* | *Проєктна частина* | | |
| *4* | *Охорона праці та техногенна безпека* | | |
| *5* | *Економічне обґрунтування проєктних рішень* | | |
| *6* | *Висновки* | | |
| *7* | *Презентація* | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

**Студент** _____ *Артур КОЛІСНИК*

**Керівник роботи** _____ *Євгенія МАНІДІНА*

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер _____ *Андрій ВАГІН*

# РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 63 с., 13 табл., 11 рис., 12 джерел

ДОМЕННА ПІЧ, АСПІРАЦІЙНІ ГАЗИ, РАДИАЛЬНИЙ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧ, УТИЛІЗАЦІЯ ПИЛУ, ДИМОВА ТРУБА, СТРОК ОКУПНОСТІ

Об'єкт дослідження – виробництво чавуну в доменних печах.

Предмет дослідження – система газоочищення аспіраційних викидів ливарних дворів, скіпових ям і приймальних воронок засипних апаратів.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити високоефективну систему очищення аспіраційних викидів ливарних дворів, скіпових ям і приймальних воронок засипних апаратів доменних печей.

Встановлено, що найбільша кількість викидів забруднюючих речовин утворюється на ливарному дворі. Максимальна кількість пилу та газів виділяється під час випуску чавуну та шлаку. Максимальний рівень запиленості аспіраційного повітря спостерігається, коли працює все технологічне обладнання ливарного двору одночасно. Це включає льотки та скіммери, жолоби чавуну та шлаку, які качаються, скипові ями та приймальні воронки засипного апарата (конвеєри, перевантажувальні вузли, нахилені ділянки, грохоти).

У проєктній схемі очищення передбачено відведення аспіраційного повітря від укриттів скіпової ями, приймальної воронки завантажувального пристрою та ливарного двору, яке надалі очищується в рукавному фільтрі ФРІР-11500.

За результатами техніко-економічних розрахунків визначений строк окупності – запропонованої системи очищення – 3,56 років.

**ЗМІСТ**

ВСТУП ..... 6
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА ..... 7
1.1 Улаштування доменного цеху ..... 7
1.2 Опис технологічного процесу виплавки чавуну в доменній печі ..... 9
1.3 Характеристика пилогазових викидів доменного виробництва ..... 11

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА ..... 16
2.1 Аналіз існуючих способів очищення аспіраційних газів доменного виробництва ..... 16
2.2 Режими роботи аспіраційної системи доменного цеху ..... 18
2.3 Устрій та принцип роботи рукавного фільтру ..... 20
2.4 Розрахунок газоочисного устаткування - рукавного фільтру ..... 22
2.5 Розрахунок аеродинаміки газового тракту ..... 29
2.6 Вибір тягодуттєвого обладнання ..... 32
2.7 Розміщення обладнання аспіраційної системи ..... 36

РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА ..... 38
3.1 Дослідження небезпечних та шкідливих факторів доменного виробництва 38
3.2 Заходи з поліпшення умов праці ..... 40
3.3 Виробнича санітарія ..... 41
3.4 Аналіз стану електробезпеки на виробництві ..... 44
3.5 Аналіз стану пожежна безпеки в доменному виробництві ..... 45
3.6 Розрахунок глушників для зниження рівня шуму від клапану «Снорт» ..... 46

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ ..... 53
4.1 Капітальні витрати ..... 53
4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат ..... 58
ВИСНОВКИ ..... 61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ ..... 62

# ВСТУП

Вплив господарської діяльності на навколишнє середовище сьогодні характеризується значними обсягами викидів у атмосферу, високим рівнем водоспоживання для промислових потреб та великою кількістю скидів стічних вод.

Доменний цех є одним із найважливіших цехів металургійного виробництва. З виплавленого в доменних печах чавуну в сталеплавильних цехах отримують сталь. Крім основного продукту – чавуну, у доменному цеху отримують шлак і доменний газ.

Гранульовані шлаки можуть бути використані в цементній промисловості, а також при виготовленні цегли, стінових блоків та інших будівельних матеріалів. Із відвальних доменних шлаків виробляють щебінь для звичайного бетону та для покриття доріг, шлаковату й мінеральну вату, а з цієї вати – шлаковий повсть, шлакові напівжорсткі плити та інші теплоізоляційні матеріали.

Доменний газ можна використовувати як паливо для мартенівських печей, нагрівальних пристроїв прокатних та інших цехів заводу.

В процесі виробництва чавуну, зокрема у доменних печах, утворюються великі обсяги газів, які містять шкідливі речовини, зокрема оксиди азоту, діоксид сірки, пил, вуглекислий газ та інші токсичні компоненти. Найбільша кількість викидів забруднюючих речовин утворюється у доменному виробництві на ливарному дворі. З моменту початку випуску джерелом виділення є льотки доменної печі, поблизу яких споруджено відсмоктувач, за допомогою якого відсмоктуються запилені гази. В напрямку руху чавуну від льотки відбувається взаємодія повітря з рідким металом, внаслідок чого утворюються запилені гази. Система аспірації забезпечує відсмоктування шкідливих виділень безпосередньо з місць їх утворення на ливарному дворі. Зібраний пил містить близько 83% оксидів заліза, також є графіт та інші складові. Отже, є актуальним забезпечити уловлювання та повернення у доменне виробництву такого пилу.

# РОЗДІЛ 1
# ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

## 1.1 Улаштування доменного цеху

Доменні цехи включають такі основні частини: рудний двір, ливарний двір, бункерну естакаду та підбункерне приміщення [1]. Схему розташування цих об’єктів можна побачити на рис. 1.1.

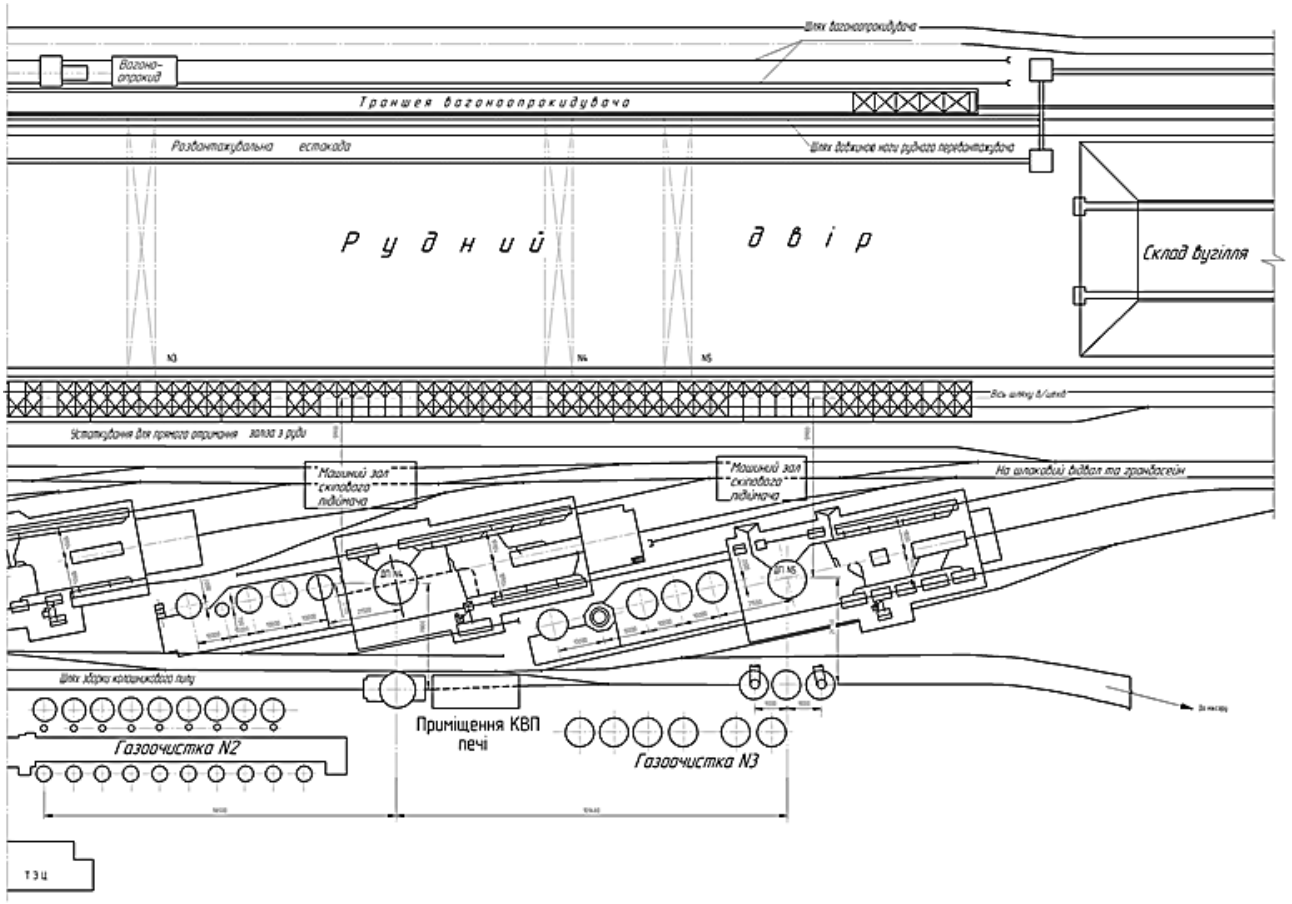



Рисунок 1.1 – Схема улаштування доменного цеху

Рудний двір виконує важливу роль у забезпеченні сталості якості сировини та її усередненні. У цьому приміщенні формуються запаси руди, що забезпечують безперервний процес завантаження доменних печей. Руда, що поступає залізничним транспортом, розвантажується за допомогою вагоноперекидача в рудну траншею, де вона далі транспортується мостовим грейферним краном і складається у штабель висотою до 17 м. Рудний двір має велику довжину і охоплює всю територію фронту пічей, що дозволяє ефективно організувати подачу сировини до кожної печі [1,2].

Після складування, сировина з рудного двору направляється до підбункерного приміщення, яке розташоване біля кожної доменної печі. У цьому приміщенні відбувається точне дозування компонентів шихти, їх ретельне змішування та підготовка до завантаження в скіпи, які доставляють сировину безпосередньо в піч. Подальший процес завантаження шихтових матеріалів у піч здійснюється по черзі через спеціально розроблене засипне обладнання, за допомогою скипового підйомника, що забезпечує точне дозування кожного компоненту для досягнення оптимальної якості чавуну.

Завантажувальні пристрої доменної печі виконують важливу роль у розподілі шихтових матеріалів на колошнику та забезпеченні герметичності робочого простору на ньому. Це важливо для запобігання викидам доменного газу в атмосферу і засмоктуванню повітря в піч під час її зупинок, що дозволяє підтримувати оптимальні умови роботи і забезпечує безпеку процесу [1,2].

Бункерні естакади, що можуть бути виготовлені з металу, залізобетону або комбінованих матеріалів, складаються з ряду бункерів, призначених для зберігання оперативного запасу шихтових матеріалів. Кожен бункер зверху перекривається гратами з отворами розміром 200 х 200 мм, через які здійснюється завантаження сировини. Знизу бункери обладнані затворами для вивантаження матеріалів. Бункерні естакади розташовуються вздовж фронту доменних печей, зазвичай з дворядним розташуванням бункерів, і знаходяться між доменними печами та рудним двором, забезпечуючи ефективну подачу матеріалів для завантаження в піч.

Процес випуску чавуну з печі відбувається через жолоби, що знаходяться на майданчику ливарних дворів. На цих майданчиках не лише розміщуються жолоби для випуску чавуну і шлаку, а й механізми, що обслуговують доменну піч, а також змінне обладнання, запасні частини для механізації горнових робіт і матеріали для складування. Перед випуском чавунні льотки і жолоби обробляються вогнетривкими матеріалами для запобігання їх зношенню під час роботи. Розлитий чавун, що потрапляє в ковші, може проходити процес знесірчення перед подачею в мартенівський цех, якщо це необхідно. Ковші з

чавуном надходять на розливні машини для подальшої обробки та використання [1,2].

Для відкриття чавунної льотки використовується свердлильна машина, а для її закриття – гармата. Шлак з шлакової льотки зливається через спеціальні жолоби та пристрої для одноноскового розливання в шлаковози і надходить на установку для грануляції. Шлакова льотка закривається шлаковим штопором для запобігання втратам матеріалу і забезпечення безпеки роботи.

### 1.2 Опис технологічного процесу виплавки чавуну в доменній печі

Сировиною для виплавки чавуну є агломерат, окатиші, залізна руда, кокс, вапняк та інші добавки, що використовуються в залежності від технологічних вимог [1,2]. Залежно від характеристик видобутої руди застосовуються різні методи її підготовки, такі як дроблення та сортування за класами крупності, збагачення, усереднювання та грудкування. Підготовка залізної руди до плавки має вирішальне значення, оскільки це безпосередньо впливає на ефективність процесу доменного плавлення. Від правильної підготовки руди залежить, чи потрапить до печі сировина певної крупності з рівномірним хімічним складом, високою відновлюваністю та вмістом заліза. Чим ретельніше підготовлена руда, тим вища продуктивність доменної печі, менші витрати палива і вища якість чавуну, що виплавляється.

Після підготовки, шихтові матеріали завантажуються в доменну піч за чітко визначеним співвідношенням через засипний апарат, що забезпечує рівномірне розподілення сировини та стабільний хід процесу плавки.

Процес доменного плавлення є безперервним, і чавун виплавляється в шахтних печах. Зверху в піч завантажують шихтові матеріали, такі як офлюсований агломерат і кокс, а через фурми в нижню частину печі подають нагріте повітря, рідке, газоподібне або пилоподібне паливо, залежно від обраної технології. Під час спалювання палива утворюються гази, які проходять через стовп шихти та передають їй свою теплову й хімічну енергію.

У сучасних доменних печах тривалість перебування матеріалів у печі складає 4-6 годин, тоді як гази перебувають всього 1-3 секунди. Високі показники плавки можна досягти за умови ефективного розподілу газів по перетину печі. Лише при рівномірному розподілі газів вони максимально віддають фізичне тепло матеріалам, що забезпечує оптимальне використання їх відновлювальних властивостей. Розподіл газового потоку по перетину печі значною мірою залежить від того, як рівномірно розподілена шихта в печі [1,2].

Шихта завантажується в піч порціями, або колошами. Рудну частину колоші можна завантажувати окремо або одночасно з коксом, залежно від вибору технології. Розмір колоші та спосіб її завантаження визначаються так, щоб забезпечити найкраще розподілення газів по перетину печі. Ідеальним є таке розподілення, при якому процеси нагрівання шихти та відновлення окислів заліза протікають рівномірно, і кожній одиниці оброблюваного матеріалу в будь-якому поперечному перерізі печі відповідає певна кількість газу [1,2].

Основним матеріалом для доменної плавки є агломерат, який має менш газопроникний шар порівняно з коксом. Тому доцільно, щоб шар агломерату був товстіший на стінках печі, а шар коксу – в центрі. Завдяки завантаженню шихти з конуса та здатності коксу розташовуватися в печі з меншим кутом укосу, ніж агломерат або руда, досягається це завдання. Крім того, регулювання зазору між конусом і колошником, а також коригування величини колоші, рівня насипу й порядку завантаження шихти дозволяє перерозподіляти шихту та контролювати газовий потік у печі. Завантаження матеріалів у всі доменні печі здійснюється за допомогою двошляхових похилих скіпових підйомників.

Для подачі необхідної кількості стиснутого повітря в горн доменної печі використовують повітродувну машину, яка подає повітря через фурми. Для зниження витрат коксу та підвищення продуктивності печі повітря нагрівають до температури 1000–1200 ºС та збагачують киснем. Крім того, в горн подають природний газ, мазут або пиловугільне паливо в залежності від використовуваної технології. Під час протікання складних фізико-хімічних процесів між матеріалами та дуттям утворюються чавун, шлаки та гази (рис.1.2).

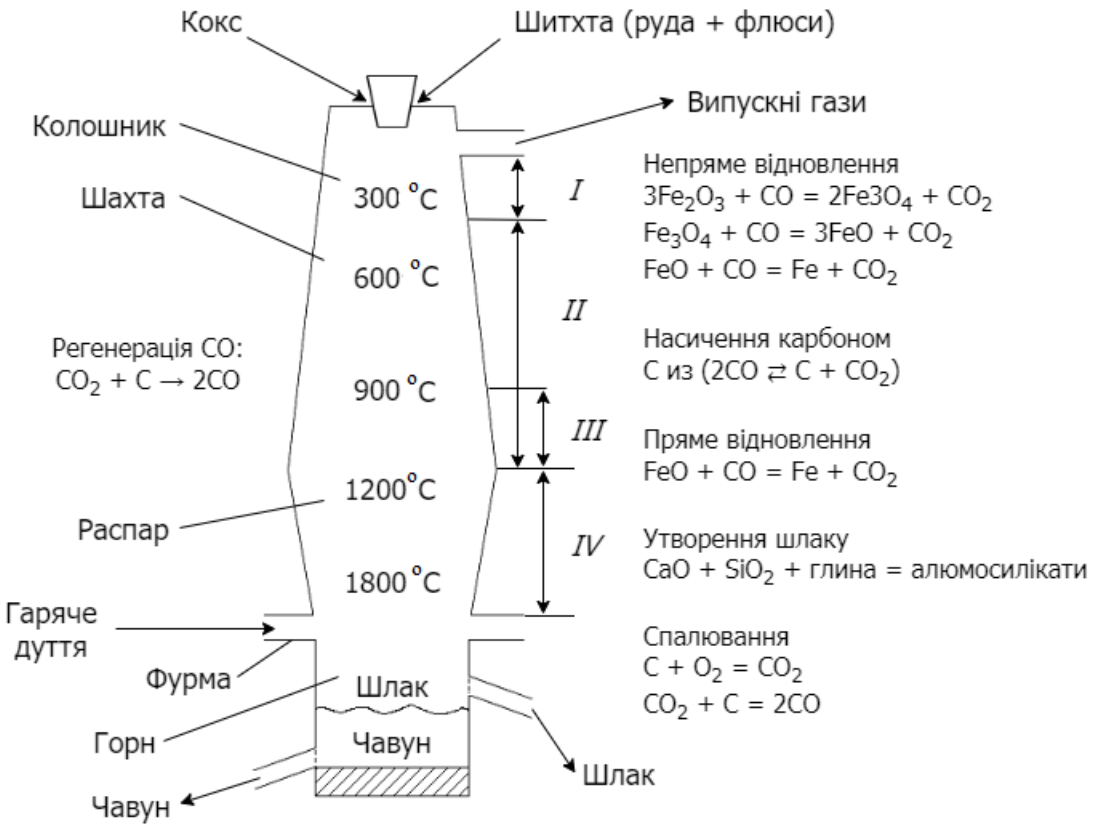



Рисунок 1.2 – Фізико-хімічні процеси в доменній печі

### 1.3 Характеристика пилогазових викидів доменного виробництва

Найбільша кількість викидів забруднюючих речовин утворюється на ливарному дворі (рис. 1.3). Максимальна кількість пилу та газів виділяється під час випуску чавуну та шлаку. Пил і гази викидаються через аераційні ліхтарі ливарного двору. Загальний обсяг пилу, що виділяється з поверхонь жолобів і ковшів, становить 400-700 г/т чавуну, зокрема 160 г/т чавуну виводиться через ліхтарі ливарного двору. Фракційний склад пилу, що виноситься через аераційні ліхтарі ливарних дворів, коливається в межах від 2,2 до 280 мкм і становить, %:

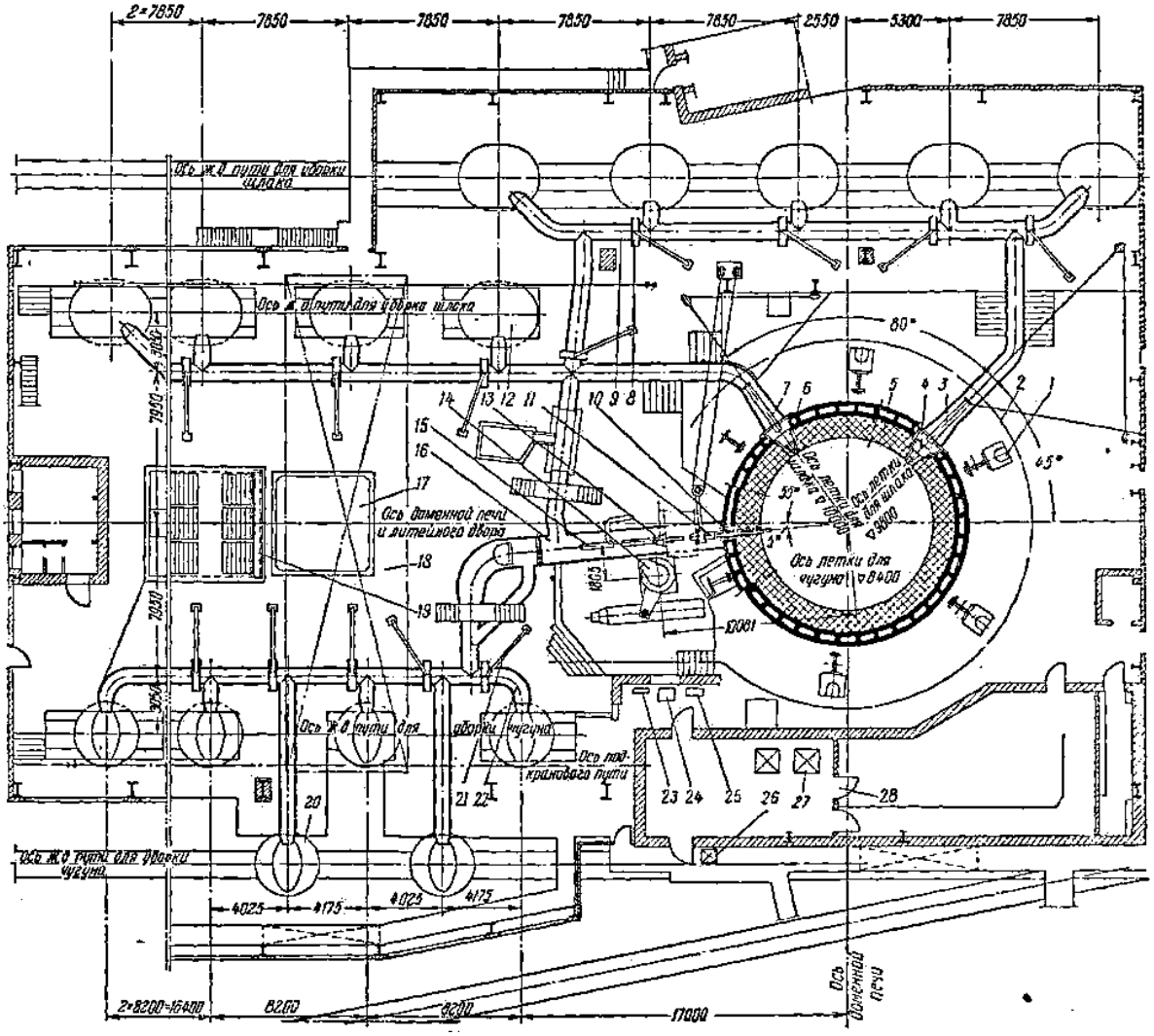
від 2,2 до 4,4 мкм –59-80;

від 8,8 до 17,6 мкм –12-30;

від 22 до 280 мкм – 12.

Середня концентрація пилу (орієнтовно) під час випуску становить 150–1500 мг/м³. Максимальні концентрації спостерігаються над головним жолобом і

ковшом для чавуну. Вміст двоокису кремнію в пилу під час випуску чавуну становить 0,8–1,2%.




1 – колонна шахти доменної печі; 2 – монорейка для зміни фурм фурмених приладів; 3 – установка шлакового стопора; 4 – нижня шлакова льотка; 5 – доменна піч; 6 – верхня шлакова льотка; 7 – установка шлакового стопора; 8 – відсічне пристрій для шлаку; 9 – жолоб для шлаку; 10 – чавунна льотка; 11 – установка пневматичного молотка; 12 – шлаковоз; 13 – свердлильна машина; 14 – електрогармата; 15 – пристрій для сушіння головного жолоба; 16 – головний жолоб для чавуну; 17 – закром для піску; 18 – мостовий магнітно-грейферний кран; 19 – контейнери з летючою масою; 20 – чавуновоз; 21 – відсічне пристрій для чавуну; 22 – жолоб для чавуну; 23 – пульт управління пневматичним молотком; 24 – пульт управління електрогарматою; 25 – пульт управління свердлильною машиною; 26 – лебідка для управління атмосферним клапаном пиловловлювача; 27 – лебідка для управління атмосферним клапаном доменної печі; 28 – приміщення управління доменною піччю.

Рисунок 1.3 – План ливарного двору

Питоме виділення оксиду вуглецю (CO) у середньому дорівнює 0,7–1,15 кг/т чавуну. Середня концентрація оксиду вуглецю становить, мг/м³:

біля чавунної льотки – 22-1250;

біля шлакової льотки – 11-680;

у піддоменному просторі на рівні фурм –15-84;

біля кільцевого повітропроводу – 11-5000.

Вміст оксиду вуглецю на робочих місцях під час випуску чавуну становить 125–250 мг/м³.

Під час випуску гарячого шлаку з домни сірка реагує з киснем повітря, утворюючи сірчистий газ. Сірчистий газ виділяється зі шлакових льоток, жолобів і шлаковозів у кількості 120–170 г/т чавуну. Середня концентрація цього газу біля шлакових льоток і жолобів під час випуску шлаку досягає 30 мг/м³.

Під час розливання чавуну у приміщенні машин для розливання виділяються пил і оксид вуглецю. Через аераційні отвори галерей у середньому викидається 40 г пилу та 60 г оксиду вуглецю на 1 т розлитого чавуну.

Система аспірації відіграє важливу роль у локалізації шкідливих викидів, здійснюючи відсмоктування забруднюючих речовин безпосередньо з місць їх утворення на ливарному дворі. Уловлений пил містить близько 83% оксидів заліза, а також різні інші компоненти, зокрема графіт, що є побічним продуктом процесу.

Максимальний рівень запиленості аспіраційного повітря спостерігається, коли працює все технологічне обладнання ливарного двору одночасно. Це включає льотки та скіммери, жолоби чавуну та шлаку, які качаються, скипові ями та приймальні воронки засипного апарата (конвеєри, перевантажувальні вузли, нахилені ділянки, грохоти).

Запиленість аспіраційного повітря, що проходить через газоочистку, показана в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Запиленість аспіраційного повітря

| Місце відбора проб | Одиниці вимірювання | Значення величин | |
|---|---|---|---|
| | | ДП-4 | ДП-5 |
| Льотка №1 та скіммер головного жолоба №1 | г/нм$^3$ | 0,21÷0,58 | 0,22÷0,6 |
| Льотка №2 та скіммер головного жолоба №2 | г/нм$^3$ | 0,19÷0,56 | 0,2÷0,58 |
| Жолоб, що колихається, для зливу шлаку | г/нм$^3$ | 0,15÷0,28 | 0,18÷0,3 |
| Жолоб, що колихається, для зливу чавуну | г/нм$^3$ | 0,25÷0,61 | 0,25÷0,6 |
| Попереду газоочисного апарату | г/нм$^3$ | 0,82÷0,94 | 0,84÷0,95 |
| Скипова яма та приймальна воронка засипного апарата ДП-3 | г/нм$^3$ | 0,75÷0,93 | 0,8÷0,9 |

Середня питома вага пилу, що вловлюється системою очищення аспіраційного повітря на ливарних дворах, а також у скиповій ямі та приймальній воронці засипного апарата, становить 2,98 г/см³. Дисперсійний склад пилу, утвореного від льоток, качаючихся жолобів для шлаку та чавуну, скипових ям і приймальних воронок засипних апаратів ливарних дворів, подано в таблицях 1.2 і 1.3.

Таблиця 1.2 – Дисперсний склад пилу від скипових ям і приймальних воронок засипного апарату

| Фракція, мкм | Менше 1,3 | 1,3÷5,2 | >5,2 |
|---|---|---|---|
| Вміст, % | 86 | 13 | 1 |

Таблиця 1.3 – Дисперсний склад пилу від ливарних дворів

| Фракція, мкм | Содержание, % | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Попереду газоочистки | Льотка та скіммер | Жолоб, що колихається, для зливу шлаку | Жолоб, що колихається, для зливу шлаку |
| 0÷5 | 5,4 | 5,6 | 6,4 | 4,5 |
| 5÷10 | 12,1 | 8,4 | 18,6 | 10,1 |
| 10÷20 | 11,6 | 7,5 | 18,3 | 8,6 |
| 20÷40 | 15,2 | 10,0 | 18,4 | 17,2 |
| 40÷60 | 15,6 | 18,8 | 14,1 | 14,8 |
| 60÷100 | 21,3 | 25,2 | 10,6 | 24,8 |
| >100 | 18,8 | 24,5 | 13,6 | 20,0 |

На очищення пил від ливарних дворів, скипових ям і приймальних воронок засипних апаратів газ надходить з вмістом переважно дрібнодисперсного пилу.

Хімічний склад пилу, вловленого під час очищення аспіраційного повітря ливарного двору, скипових ям і приймальних воронок засипних апаратів, здебільшого залежить від фізико-хімічних властивостей шихтових матеріалів, що використовуються у технологічному процесі виробництва чавуну. Хімічний склад пилу, що міститься в аспіраційному повітрі ливарного двору, яке надходить на очищення, наведено в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Хімічний склад пилу, що міститься в аспіраційному повітрі ливарного двору

| Місце відбору проб | Вміст, % | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | S | C | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | CaO | MgO | $Fe_2O_3$ | FeO | $P_2O_5$ | MnO | та ін. |
| Льотка та скіммер головного жолоба | 0,94 | 4,12 | 14,24 | 0,35 | 4,85 | 2,32 | 60,87 | 2,35 | 0,08 | 0,75 | 9,13 |
| Жолоб, що колихається, для зливу чавуну | 0,18 | 3,01 | 9,96 | 0,22 | 5,06 | 0,49 | 64,75 | 7,1 | 0,03 | 0,25 | 8,95 |
| Жолоб, що колихається, для зливу шлаку | 1,41 | 5,81 | 18,0 | 0,52 | 9,21 | 5,53 | 48,26 | 1,62 | 0,11 | 1,03 | 8,5 |
| Попереду газоочистки | 0,14 | 4,61 | 12,2 | 0,31 | 6,4 | 1,2 | 60,0 | 6,41 | 0,07 | 0,35 | 8,26 |

Хімічний склад пилу, що міститься в аспіраційному повітрі скипової ями та приймальної воронки засипного апарату, наведено в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Хімічний склад пилу, що міститься в аспіраційному повітрі скипової ями та приймальної воронки засипного апарату

| Речовина | $SiO_2$ | FeO | Fe | $Al_2O_3$ | CaO | MgO | MnO | та ін. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Вміст, % | 7,0 | 11,65 | 58,1 | 0,22 | 5,5 | 0,4 | 0,78 | 16,35 |

Пил, вилучений з аспіраційного повітря ливарних дворів, а також скипових ям і приймальних воронок засипних апаратів цих доменних печей, здебільшого складається з $Fe_2O_3$, що є ключовим компонентом у процесі виробництва чавуну. Після належної обробки цей пил може бути повторно залучений до технологічного циклу виготовлення чавуну.

# РОЗДІЛ 2
# ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

## 2.1 Аналіз існуючих способів очищення аспіраційних газів доменного виробництва

Під час складування, усереднення та транспортування руди й інших компонентів шихти для доменних печей виділяється значна кількість пилу. Суттєвий вплив на обсяг пилоутворення має система шихтоподачі. Очищення повітря ускладнюється через виконання перевантажувальних операцій і транспортування сипучих матеріалів за допомогою рухомих пристроїв (вагон-вагів) у присутності численних місць забору матеріалу з бункерів. Відомо кілька варіантів аспірації підбункерного приміщення.

Пересувні аспіраційні установки [1] складаються з відсмоктувальних патрубків двох вентиляторів ТБІОТ-ПВ загальною продуктивністю 25 тис. м³/год і сепараторів-краплевловлювачів. Повітря, що відсмоктується з місць пилоутворення, піддається інерційній і гідравлічній очистці у пиловсмоктуючих вентиляторах. Від вентиляторів воно надходить до сепараторів для уловлювання дрібних крапель води й викидається у верхню зону підбункерної галереї. Пил із вентиляторів і шлам із сепараторів безперервно скидаються у жолоби, прокладені вздовж шляхів вагон-вагів. Установка такого типу випробовувалася на печах №1 КМК та №3 Дніпровського заводу імені Петровського.

Заслуговує на увагу аспіраційна установка, розроблена "Укргіпромезом" для вагон-вагів вантажопідйомністю 40 т. Пристрій включає два пилові вентилятори ЦП7-40 №8, встановлені на кінцях рами вагон-вагів і оснащені всмоктувальними та випускними патрубками. У верхній частині колон підбункерного приміщення прокладається поздовжній колектор із численними пилоприймальними патрубками. Під час контакту з ними випускних патрубків вентиляторів запилене повітря відводиться у колектор пилозбірника, звідки димососом подається до батарейного циклона для очищення перед викидом в

атмосферу. Продуктивність двох пилових вентиляторів становить 50 тис. м³/год, а димососа — 75 тис. м³/год.

Основним недоліком таких систем є низька ефективність очищення.

Оскільки доменна піч оснащена двоконусним завантажувальним пристроєм, необхідно здійснювати очищення викидів із міжконусного простору.

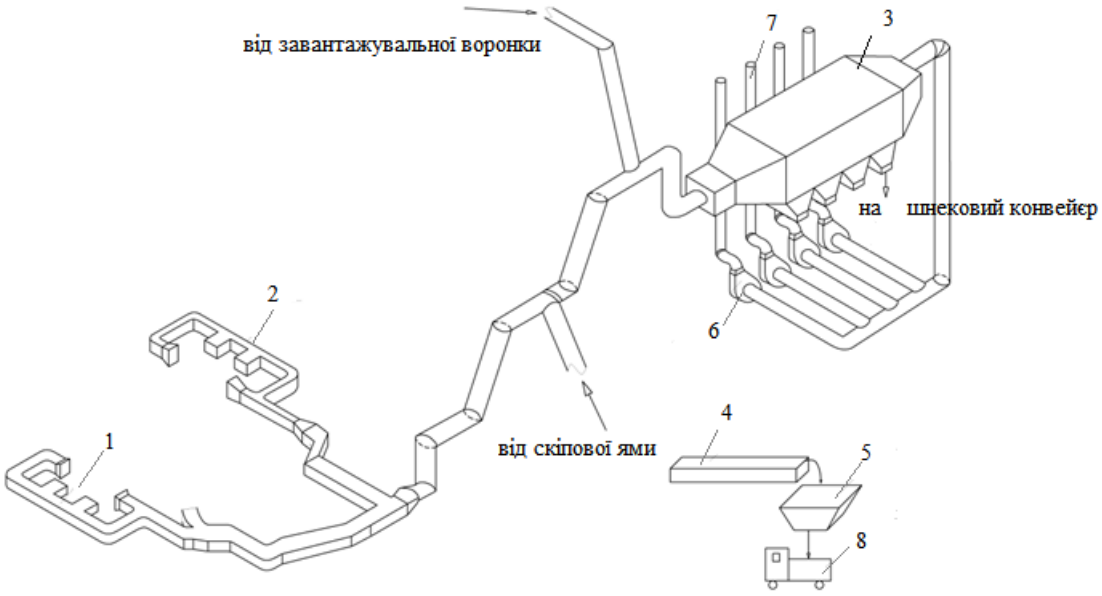
Очищення газових викидів із міжконусного простору здійснюється в автономних установках. Так, відома система газоочищення, що включає зрошуваний газохід, трубу Вентурі з регульованою прямокутною горловиною, бункер для шламу, краплевловлювач і свічку для спалювання газу із запальниками. Схема передбачає можливість подачі очищеного газу в колектор доменного газу.

Недоліком цієї системи очищення є наявність шламового господарства та щільні відкладення на ділянках газового тракту.

Також існує велика кількість способів очищення викидів на ливарних дворах.

Усі зазначені вище системи газоочищення оснащені малопотужними установками, що вимагає встановлення кількох систем одночасно. Централізація системи газоочищення дозволить застосувати більш ефективні фільтри замість дрібних скруберів, які потребують значного обслуговування в процесі експлуатації та мають шламове господарство.

У кваліфікаційній роботі пропонується аспіраційна система очищення, яка призначена для видалення та очищення забрудненого повітря, що відсмоктується з укриттів запилених технологічних установок ливарного двору, скипової ями та воронки завантажувального пристрою доменної печі. Принципова схема очищення наведена на рис. 2.1.




1 – чавунна сторона; 2 – шлакова сторона; 3 – рукавний фільтр; 4 – шнековий транспортер; 5 – накопичувальний бункер; 6 – димосос; 7 – димова труба; 8 – збір пилу

Рисунок 2.1 – Схема системи газоочищення аспіраційних газів

В якості високоефективного апарату газоочищення в кваліфікаційній роботі пропонується обрати рукавний фільтр з імпульсною регенерацією.

## 2.2 Режими роботи аспіраційної системи доменного цеху

У проєктній схемі очищення передбачено відведення аспіраційного повітря від укриттів скіпової ями, приймальної воронки завантажувального пристрою та ливарного двору, яке надалі очищується в рукавному фільтрі ФРІР-11500. Усі транспортні жолоби обладнуються плоскими кришками, розташованими на рівні з робочою платформою, та футеруються шаром вогнетривкого бетону. Отвори хитних жолобів перекриваються горизонтальними кришками, які встановлюються на залізобетонні стінки укриттів зон зливу чавуну та шлаку в ковші. Поверхня кришок покривається шаром вогнетривкого бетону. У кришках виконані отвори, що дозволяють

контролювати роботу хитних жолобів, процес наповнення ковшів та їх пересування. Кришка має складну конструкцію, що складається з кількох частин.

Головні жолоби закриті кришками, футерованими вогнетривким бетоном. Кришки пристосовані для підключення повітропроводів аспірації. Приймальна лійка завантажувального пристрою та скіпова яма обладнані відповідними укриттями з аспіраційними відсосами.

Передбачено два варіанти відсосів: І варіант – за умови роботи відсосів від скімеру та лійки №1; ІІ варіант – за умови роботи відсосів від скімеру та лійки №2.

Зазначені варіанти відсосу мають три режими роботи:

1-й режим – працює димосос В 1.1, який забезпечує відсос від скіпової ями та приймальної лійки завантажувального пристрою.

Об’єм аспіраційного повітря, що надходить на очищення, становить 260 тис. м³/год при напорі (20°С) = 5850 Па (585 мм вод. ст.).

2-й режим – працюють димососи В 1.1, В 1.2, В 1.3, які забезпечують відсоси від скіпової ями, приймальної лійки завантажувального пристрою, відповідної лійки №1 або №2, скімера, а також відсос від укриття одного з хитних жолобів для зливу чавуну (залежно від напряму зливу чавуну в ківш).

Загальний обсяг аспіраційного повітря, що надходить на очищення згідно з проєктом, становить 760 тис. м³/год. Продуктивність димососа становить 250 тис. м³/год при Н (20ºС) = 5800 Па (580 мм вод. ст.).

3-й режим. Працюють димососи В 1.1, В 1.2, В 1.3 та В 1.4, які, додатково до відсосів, передбачених у режимі №2, забезпечують відсос від укриття одного з двох хитних жолобів для зливу шлаку (залежно від напряму зливу шлаку в ківш).

Загальний обсяг аспіраційного повітря, що надходить на очищення згідно з проєктом, становить 940 тис. м³/год. Продуктивність димососа становить 235 тис. м³/год при напорі (20ºС) = 6000 Па (600 мм вод. ст.).

Після завершення розливання відключаються димососи В 1.2, В 1.3 та В 1.4, і в роботі залишається лише димосос В 1.1.

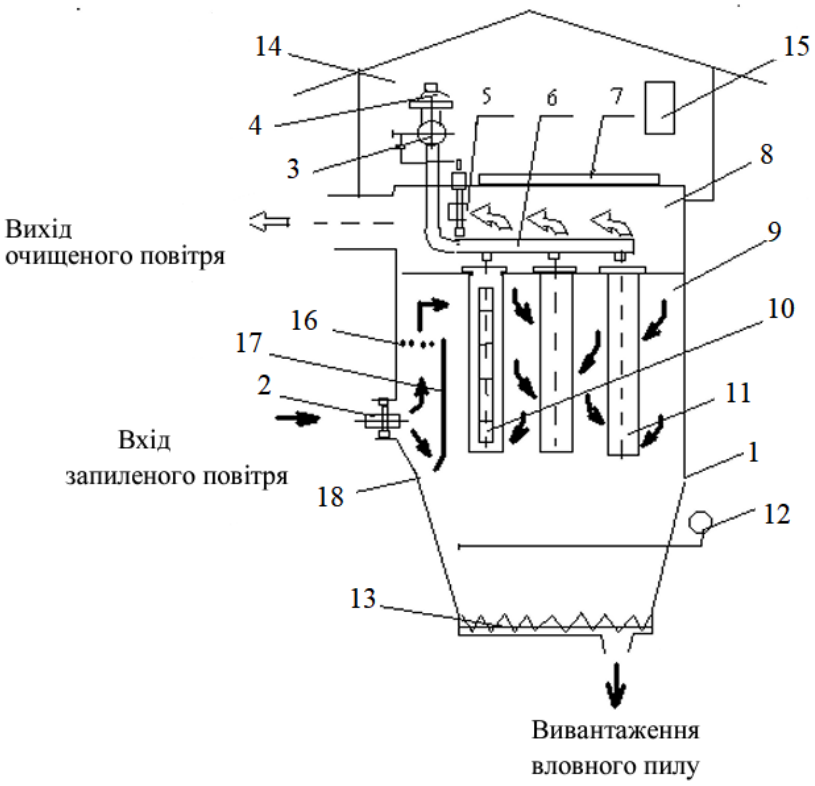
Вловлений і накопичений у бункерах рукавного фільтра пил за допомогою трубчастих конвеєрів подається до бункера-накопичувача, а потім на установку огрудкування пилу.

Огрудкований пил завантажується в залізничний вагон і відправляється до пунктів повторного використання.

### 2.3 Устрій та принцип роботи рукавного фільтру

Рукавний фільтр з імпульсною регенерацією типу Ф – 11500 призначений для очищення аспіраційного повітря від пилу, що відводиться від укриттів скіпової ями, приймальної лійки завантажувального апарата та ливарного двору.

Склад типового фільтра та принцип його роботи наведено на рис. 2.2.




1 – корпус фільтра; 2 – відсічний клапан; 3 – накопичувач стисненого повітря; 4 – продувний клапан; 5 – відсічний клапан; 6 – розподільчий колектор; 7– знімна кришка; 8 – камера очищеного газу; 9 – камера забрудненого газу; 10 – каркас рукава; 11 – фільтрувальний рукав; 12 – система пневмообвалення; 13 – вузол вивантаження пилу; 14 – шатро фільтра; 15 – пристрій керування регенерацією; 16 – решітка аеродинамічна; 17 – щит відбійний; 18 – бункер фільтру

Рисунок 2.2 – Рукавний фільтр типу ФРІР

Корпус фільтра складається з опорного поясу з підвісними бункерами, вузла вивантаження пилу, системи пневмообвалення пилу, оглядових люків, відсічних клапанів для забрудненого газу, розподільчого газоходу та панелей огородження. Верхню частину корпусу фільтра займає блок регенерації.

Підвісні бункери виконані у формі перевернутої усіченої піраміди з кутом нахилу бокових граней 70º. У нижній частині бункери обладнані вузлом вивантаження пилу, пристроєм пневмообвалення та оглядовими люками.

Вузол вивантаження пилу є пристроєм для видалення пилу з бункера і складається з жолоба, до торців якого кріпляться бокові стінки. Усередині жолоба розташований шнек, який приводиться в рух через кулачкову муфту мотор-редуктором, встановленим на одній із бокових стінок. Шнек спирається на підшипникові вузли, закріплені на бокових стінках.

З бункерів фільтра вловлений пил за допомогою гвинтового конвеєра подається на трубчастий ланцюговий конвеєр для подальшого транспортування.

Принцип роботи. Аспіраційне повітря через вхідний патрубок і відсічний клапан потрапляє всередину корпусу фільтра і спрямовується відбійним щитом через іскрогасильну аеродинамічну решітку у верхню частину камери забрудненого газу. Це забезпечує супутній рух потоку фільтрованого газу та пилу, що обтрушується під час регенерації.

Пил, що відокремлюється при зміні напряму потоку газів, переноситься в бункер через щілину між відбійним щитом і стінкою бункера.

Забруднений газ, проходячи крізь рукави ззовні всередину, очищується від пилу та надходить у камеру очищеного газу, після чого через вихідний патрубок, газохід і тягодуттєвий пристрій спрямовується у димову трубу.

У міру накопичення пилу на зовнішній поверхні рукавів загальний гідравлічний опір фільтра, контрольований пристроєм керування регенерацією, зростає. При досягненні заданого значення автоматично запускається система регенерації фільтрувальних рукавів.

Осушене стиснене повітря з накопичувача через швидкодіючий продувний клапан і розподільчий колектор із соплами імпульсно подається всередину

рукава, очищаючи його як від пилу, що зібрався на зовнішній поверхні у вигляді агломератів, так і від частинок пилу, що проникли у фільтрувальний матеріал.

Вловлений пил через щілинний бункер та вузол вивантаження пилу відводиться в систему пиловидалення. Цим проєктом аспірації ливарного двору, скіпової ями та приймальної лійки завантажувального апарата доменної печі передбачено встановлення місцевих відсосів у кількості 16 шт. Характеристики відсосів наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика відсосів аспіраційної системи

| Місце вісмоктування | Кількість, шт | Вид шкідливої речовини | Об'єм аспіраційного повітря, м³/год | | Примітка |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Від одиниці устаткування | Всього | |
| Льотка№1 | 1 | Пил оксидів Fe, Si, C | 126000 | 126000 | |
| Скіммер головного жолоба №1 | 1 | Пил оксидів Fe, Si, C | 61200 | 61200 | |
| Жолоб зливу чавуну, що качається | 4 | - | 280000 | 280000 | Працює 1 з 4-х димососів |
| Льотка №2 | 1 | - | 126000 | 126000 | |
| Скіммер головного жолоба №2 | 1 | - | 61200 | 61200 | |
| Жолоб зливу шлаку, що качається | 4 | - | 126000 | 126000 | Працює 1 з 4-х димососів |
| Скіпова яма | 2 | Пил руди та коксу | 75000 | 75000 | |
| Приймальна воронка засипного апарату | 1 | | 7000 | 7000 | |
| Укриття огрудкува вловленого пилу | 1 | Пил оксидів Fe, Si, C | 3000 | 3000 | |

## 2.4 Розрахунок газоочисного устаткування - рукавного фільтру

Розрахунок рукавного фільтра здійснюємо на основі наступних вихідних даних:

Об'ємна витрата газу, що очищається за нормальних умов складає 949900 тис. м³/год.

Концентрація пилу попереду рукавного фільтру, при н.у. 0,586 г/ м³;

Щільність частинок пилу 2000 кг/ м³;

Середній розмір частинок пилу $11 \cdot 10^{-6}$ м ;

Температура газоповітряної суміші 60 ºС

Коефіцієнт динамічної в'язкості повітря за н.у. $17{,}3 \cdot 10^{-6}$ Па·с;

Опір рукавного фільтру 1,9 кПа.

Згідно з вихідними умовами, доцільно вибрати фільтр з голкопробивної тканини, термостійкість якої становить близько 135ºС. У цьому випадку пористість тканини складає 0,85, а питомий опір – 50 Па. Пористість шару пилу в основному залежить від його дисперсності і орієнтовно може бути визначена за виразом [5]:

$$m=1-79 \cdot dm^{047}, \qquad (2.1)$$

де m – пористість шару пилу;

dm – середній розмір часток, м;

$m = 1 - 79 \cdot (11 \cdot 10^{-6})^{0,47} = 0,63$

Перераховуємо об'ємну витрату газоповітряної суміші за робочих умов:

$$Qp=Qo \cdot ( 273 + Tг) \cdot 101,3 / ( 273 \cdot (P_{бар} - P_г)), \qquad (2.2)$$

де $Q_р$ – об'ємна витрата газу за робочих умов, м³/год;

$Q_о$ – об'ємна витрата газу за нормальних умов, м³/год;

Тг – температура газу, °С;

Рбар – барометричний (атмосферний) тиск, кПа;

Рг – тиск газу, кПа.

$Qp= 940000 \cdot (273 + 60) \cdot\cdot 101,3 / (273 \cdot ( 98 – 3) ) = 1222630,7$ , м³/год.

Далі визначаємо густину газу за робочих умов:

$$\rho_р = \rho_о \cdot 273 \cdot (Р_{бар} - Р_г) /\cdot ((273 + Тг)\cdot 101,3), \quad (2.3)$$

де $\rho_р$ –густину газу за робочих умов, кг/м³;

ρо –густину газу за нормальних умов, кг/м³;

Тоді

$\rho_р = 1,293 \cdot 273 \cdot (98 - 3) / ((273 + 60) \cdot 101,3)) = 0,99$ , кг/м³.

Робимо перерахунок запиленості пилогазового потоку попереду рукавного фільтру за робочих умов:

$$z_1 = z_{о1} \cdot Q_о / Q_р , \quad (2.4)$$

де $z_1$ – запиленість газу за робочих умов, г/м³;

$z_{о1}$ – запиленість газу за нормальних умов, г/м³;

$z_1 = 0,586 \cdot 940000 / 1222630,7 = 0,451$ г/м³.

Далі, використовуючи довідникові дані [5] знаходимо динамічний коефіцієнт в'язкості за робочих умов:

$$\mu = \mu_о \cdot (273 + C') \cdot (Тг / 273)^{1,5} / (Тг + C') , \quad (2.5)$$

де μ – динамічний коефіцієнт в'язкості за робочих умов, Па·с, приймаємо для повітря;

$\mu_о$ – динамічний коефіцієнт в'язкості за нормальних умов, Па·с, приймаємо для повітря;

C' – постійна Сезерленда;

$\mu = 17{,}3 \cdot 10^{-6} \cdot (273 + 124) \cdot ((60 + 273) / 273)^{1,5} / ((60 + 273) + 124) = 20.2 \cdot 10^{-6}$, Па·с

Далі визначаємо необхідну площу фільтрувальної поверхні за наступною формулою:

$$S = (Qp + Q) / w , \qquad (2.6)$$

де w – швидкість фільтрування, м/с.

Оскільки тип регенерації – імпульсна, то приймаємо витрату стислого повітря на регенерацію рівним 0,12 % від загального об'єму, що йде на очищення. Отже витрата стислого повітря становить: Qрег=0,12% Qр = 1467, м³/год.

Приймаємо швидкість фільтрації рівною 0,025 м/с.

Тоді, використовуючи форм. (2.6) розраховуємо необхідну площу фільтрувальної поверхні

$S = (1222630 + 1467) / (0{,}025 \cdot 3600) = 13601$ м².

Обираємо рукавний фільтр типу ФРІР -11500 [6]. Основні технічні характеристики наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічна характеристика рукавного фільтру ФРІР-11500

| Параметри газоочисного апарату | Величина |
|---|---|
| Продуктивність, м³/год | 1000000 |
| Площа фільтрувальної поверхні, м² | 11500 |
| Питоме газове навантаження, м³/ м²· хв. | 1,45 |
| Допустимий гідравлічний опір фільтру, Па | 2500 |
| Допустима температура, °С | 135 |
| Кількість фільтрувальних рукавів, шт | 4608 |

| | |
|---|---|
| Розміри фільтрувального рукава<br>Довжина<br>Діаметр зовнішній | <br>6230<br>133 |
| Кількість клапанів для продування, шт | 272 |
| Тиск стислого повітря в накопичувачі, МПа | 0,6 |
| Кількість секцій пнемообрушення, шт | 8 |
| Кількість бункерів для збору пилу | 8 |
| Спосіб обрушення пилу в бункерах фільтра — псевдозрідження шару пилу шляхом імпульсного подавання повітря в сопла на стінці бункера. | |
| Розвантаження пилу з пилового бункера – гвинтовий живильник | |
| Потужність гвинтового живильника , $м^3$/год | 18 |
| Режим роботи вузла вивантаження пилу — періодичний, по 2-3 год. на добу | |

Прораховуємо далі час між періодами регенерації для цього необхідно застосовувати наступну залежність:

$$\tau = \rho \cdot (\Delta P - AB) / (A \cdot z \cdot w), \quad (2.7)$$

де A и B – коефіцієнти, які визначаються за форм. (2.8) та форм. (2.9) [5].

$$A = 817 \cdot \mu \cdot w \cdot ( 1 - m) / (dm^2 \cdot m^3), \quad (2.8)$$

Робимо підстановку відомих параметрів пилегазового потоку та визначаємо величину коефіцієнта A:

$$A = 817 \cdot 20.2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,025 \cdot ( 1 - 0,63) / (( 11 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 0,63^3) = 5045545,7$$

Далі визначаємо значення коефіцієнта B:

$$B = 0,82 \cdot 10^{-6} \cdot dm^{0,25} \cdot m^{1,3} \cdot (1 - m) \cdot h^{2/3}, \quad (2.9)$$

Робимо підстановку відомих параметрів пилегазового потоку та визначаємо величину коефіцієнта B:

$$B = 0{,}82 \cdot 10^{-6} \cdot (11 \cdot 10^{-6})^{0{,}25} \cdot (1 - 0{,}85) \cdot 50^{2/3} = 9{,}61 \cdot 10^{-8}.$$

Звідси, відповідно до форм. (2.7), визначаємо час між регенерацією фільтру ФРІР-11500:

$$\tau = 2000 \, (1900 - 5045545{,}7 \cdot 9{,}61 \cdot 10^{-8}) / (5045545{,}7 \cdot 0{,}451 \cdot 0{,}025) = 66780 \text{ с} = 18 \text{ год.}$$

З бункерів фільтра вловлений пил за допомогою гвинтового конвеєра для подальшої транспортировки подається на трубчастий ланцюговий конвеєр КТЦ-16 ОЛ (рис.2.3).

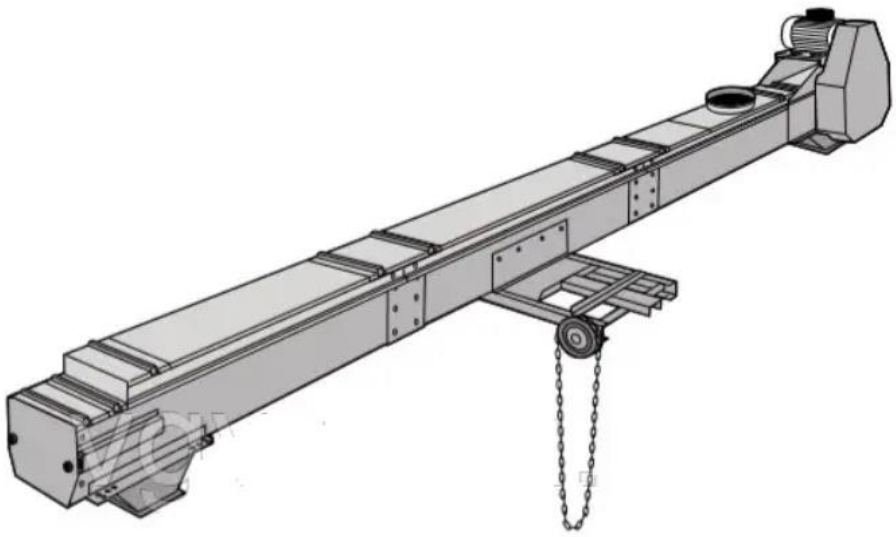


Рисунок 2.3 – Трубчастий ланцюговий конвеєр КТЦ-16 ОЛ

Технічна характеристика конвеєра:

Призначення – герметичне транспортування порошкоподібних матеріалів

Продуктивність, м³/год – 10–18

Потужність приводу, кВт – 5,5

Напруга, В – 380

Швидкість руху тягового елемента, м/с – 0,32

Частота обертання приводної зірочки, хв – 15

Діаметр подільної окружності приводної зірочки, мм – 410

Скрібки тягового ланцюга, мм – 160

Діаметр скрібків, мм – 143

Довжина конвеєра, м – 32

Вловлений пил трубчастим ланцюговим конвеєром подається в бункер-накопичувач ДУ 5000 м, з якого потім подається в установку огрудкування.

Барабан-огрудковувач наведено на рис. 2.4. Барабанні-огрудковувачі призначені для огрудкування і зволоження шихти з метою надання їй зернистості і підвищеної газопроникності. Режим перекату, при якому працюють огрудковувачі, виникає при окружної швидкості 0,5-1,2 м/с. При обертанні барабана шихтовий матеріал піднімається на певну висоту за рахунок сили тертя його об стінки і при перевищенні кута динамічного укосу скочується по шару вниз.

Оптимальний час перебування – 2-3 хвилини при заповненні барабана на 13%. Однобарабанний огрудковувач являє собою барабан, встановлений на чотири опорні ролики, закріплені на загальній міцній рамі. Обертання барабана забезпечується через зубчасту пару.

Внутрішня поверхня барабана-огрудковувача покрита просічно-витяжним листом для утримання гарнісажу. Барабан встановлюється під нахилом 1-4 градуси та спирається на опорні ролики через два сталеві бандажі, закріплені на рамі за допомогою гвинтових упорів. Завантаження шихти здійснюється через завантажувальну воронку, а вивантаження – через розвантажувальну камеру.

Система зволоження шихти складається з колекторів із форсунками, закріпленими на кронштейнах балки очисного пристрою. Привід передає

обертання барабану через рознімний зубчастий вінець, встановлений на одному з фланців.



Рисунок 2.4 – Барабан-огрудковувач

## 2.5 Розрахунок аеродинаміки газового тракту

Втрати тиску (енергії 1 м³ газу) ΔР складаються з втрат тиску на тертя ΔРl та втрат тиску на місцевих опорах ΔРм:

$$\Delta P = \Delta Pl + \Delta Pм, \quad (2.10)$$

Втрати тиску на тертя, Па:

$$\Delta Pl = \sum \lambda i \cdot li \cdot \rho p\, i \cdot U^2 i /(dei \cdot 2), \quad (2.11)$$

де i -індекс це номер ділянки;

λ – коефіцієнт гідравлічного опору;

l – довжина ділянки, м;

$d_e$ – еквівалентний діаметр газоходу, м;

$\rho_р$ – густина газу, кг/м³;

U – середня по перерізу та довжині газоходу швидкість потоку на ділянці, м/с.

Густина газу за робочих умов:

$$\rho_р = \rho_0 \cdot 273 \cdot (Рбар - Рг) /\cdot ((273 + Т_г)\cdot 101,3),$$

де $\rho_р$ – густина газу за робочих умов, кг/м³;

$\rho_о$ – густина газу за нормальних умов, кг/м³;

$Р_{бар}$ –барометричний тиск (атмосферний), кПа;

$Р_г$ – тиск газу в газоході, кПа;

Тг – температура газу, °С.

Приймаємо коефіцієнт Дарсі рівним $\lambda = 0,02$ – коефіцієнт гідравлічного тертя.

Проводимо розрахунок витрати газу за робочих умов:

$$Q_р=Qо\cdot (273 + Тг) \cdot 101,3 / (273 \cdot (Рбар - Рг)),$$

де $Q_р$ – витрата газу за робочих умов, м³/год;

$Q_0$ –витрата газу за нормальних умов, м³/год;

$Т_г$ – температура газу, °С;

$Р_{бар}$ – барометричний тиск (атмосферний), кПа;

$Р_г$ – тиск газу в газоході, кПа;

Втрати тиску на місцеві опори визначаються за наступною форм. (2.12):

$$\Delta Рм = \sum \varsigma i \cdot \rho рi \cdot U^2 i/2, \qquad (2.12)$$

де $\varsigma i$ – коефіцієнт місцевого опору;

Види місцевих опорів відповідно до рис. 2.1.

Ділянка 1.

На ділянці 1 є такі місцеві опори: вхід у канал, два повороти на 90°

Ділянка 2.

Трійник, поворот на 90°

Ділянка 3.

Трійник, дифузор, поворот на 90°.

Ділянка 4.

Вхід у канал, трійник.

Ділянка 5.

Трійник, дифузор, поворот на 90°.

Ділянка 6.

Вхід у канал, три повороти на 90°.

Ділянка 7.

Вхід у канал, три повороти на 90°.

Ділянка 8.

Трійник, дифузор, трійник.

Ділянка 9.

Трійник, дифузор.

Ділянка 10.

Вхід у канал, два повороти на 90°, трійник.

Ділянка 11.

Вхід у канал, три повороти на 90°.

Ділянка 12.

Трійник, дифузор, трійник, три повороти на 90°.

Ділянка 13.

Дифузор, трійник, раптове розширення.

Ділянка 14.

Вхід у канал, чотири повороти на 90°, раптове розширення.

Ділянка 15.

Вхід у канал, поворот на 90°.

Ділянка 16.

Вхід у канал, два повороти на 90°.

Ділянка 17.

Трійник, дифузор.

Ділянка 18.

Вхід у канал, два повороти на 90°, трійник.

Ділянка 19.

Вхід у канал, два повороти на 90°.

Ділянка 20.

Трійник, поворот на 90°, вхід у канал.

Ділянка 21.

Трійник, дифузор.

Ділянка 22.

Вхід у канал, поворот на 90°, трійник.

Ділянка 23.

Трійник, дифузор, поворот на 90°, трійник.

Ділянка 24.

Трійник, дифузор.

Ділянка 25.

Трійник, дифузор, поворот на 90°, раптове розширення.

Ділянка 26.

Раптове розширення.

Розрахунки втрат тисків на тертя та на місцеві опори наведені в табл. 2.3

### 2.6 Вибір тягодуттєвого обладнання

Димососи обираються на основі аеродинамічного розрахунку газовідвідного тракту, що дозволяє забезпечити оптимальну ефективність системи. Для забезпечення надійної роботи, продуктивність димососа Qд

визначається з урахуванням 10%-го запасу від розрахункової кількості газів Qp, що проходять через систему.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку аеродинамічних характеристик пилогазового потоку

| Діл. | $Q_0$, м³/год | Qo, м³/с | l,м | d, м | U,м/с | $P_q = \rho \cdot \frac{u^2}{2}$ Па | R, Па/м | ΔPl = R·l, Па | ∑ς | ΔPм, Па | Ppfu, Па |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 70 | 19,4 | 15 | 1,25 | 16 | 141 | 2,3 | 35 | 0,72 | 102 | 137 |
| 2 | 140 | 38,8 | 10 | 1,8 | 16 | 141 | 1,6 | 16 | 1,61 | 227 | 243 |
| 3 | 210 | 58,2 | 15 | 2,0 | 18 | 178 | 1.8 | 27 | 1,8 | 320 | 347 |
| 4 | 70 | 19.4 | 6 | 1.25 | 16 | 141 | 2.3 | 14 | 1 | 141 | 155 |
| 5 | 280 | 77.6 | 60 | 2.4 | 18 | 178 | 1.5 | 90 | 0.89 | 158 | 248 |
| 6 | 61.2 | 17 | 15 | 1.12 | 16 | 141 | 2.5 | 38 | 1,42 | 200 | 238 |
| 7 | 126 | 35 | 15 | 1.6 | 16 | 141 | 1.8 | 27 | 0.93 | 131 | 158 |
| 8 | 187.2 | 52 | 60 | 2.0 | 18 | 178 | 1.8 | 108 | 2.22 | 395 | 503 |
| 9 | 593.2 | 164.8 | 20 | 3.4 | 18 | 178 | 1 | 20 | 1.1 | 196 | 216 |
| 10 | 61.2 | 17 | 15 | 1.12 | 16 | 141 | 2.5 | 38 | 1.42 | 200 | 238 |
| 11 | 126 | 35 | 15 | 1.6 | 16 | 141 | 1.8 | 27 | 0.93 | 131 | 158 |
| 12 | 187.2 | 52 | 60 | 2.0 | 18 | 178 | 1.8 | 108 | 2.22 | 395 | 503 |
| 13 | 780.4 | 216.8 | 5 | 4.0 | 18 | 178 | 0.9 | 5 | 1.89 | 336 | 341 |
| 14 | 3 | 0.83 | 15 | 0.25 | 18 | 178 | 14.2 | 213 | 2.14 | 381 | 594 |
| 15 | 37.5 | 10.4 | 20 | 0.9 | 16 | 141 | 3.1 | 62 | 0.51 | 92 | 134 |
| 16 | 37.5 | 10.4 | 20 | 0.9 | 16 | 141 | 3.1 | 62 | 1.62 | 228 | 290 |
| 17 | 75 | 20.8 | 10 | 1.25 | 18 | 178 | 2.8 | 28 | 1.09 | 194 | 222 |
| 18 | 70 | 19.4 | 15 | 1.25 | 16 | 141 | 2.3 | 35 | 1.72 | 243 | 278 |
| 19 | 31.5 | 8.8 | 15 | 0.8 | 16 | 141 | 3.5 | 53 | 0.72 | 102 | 155 |
| 20 | 63 | 17.6 | 10 | 1.25 | 16 | 141 | 2.3 | 23 | 1.61 | 227 | 250 |
| 21 | 94.5 | 26.4 | 15 | 1.4 | 18 | 178 | 2.5 | 38 | 1.8 | 320 | 358 |
| 22 | 31.5 | 8.8 | 15 | 0.8 | 16 | 141 | 3.5 | 53 | 1 | 141 | 194 |
| 23 | 126 | 35 | 20 | 1.6 | 18 | 178 | 2.2 | 44 | 1.1 | 196 | 240 |
| 24 | 406 | 112.8 | 5 | 2.8 | 18 | 178 | 1.3 | 7 | 0.89 | 158 | 165 |
| 25 | 145 | 40.3 | 15 | 1.8 | 18 | 178 | 2 | 30 | 2.29 | 408 | 438 |
| 26 | 928.4 | 257.9 | 3 | 6.0 | 10 | 55 | 0.2 | 1 | 1 | 55 | 56 |
| **Разом** | | | | | | | | 1148 | | 5575 | **6723** |

Це дозволяє врахувати можливі коливання в кількості газів і створює додатковий резерв потужності для роботи системи в умовах змінних навантажень. Розрахунок проводиться з урахуванням присосу повітря по газовідвідному тракту, що залишається стабільним, незважаючи на зміни температури газів, але з коригуванням на барометричний тиск Рбар, який може

варіюватися в залежності від висоти над рівнем моря та атмосферних умов. Це дозволяє отримати точніші показники і забезпечити ефективну роботу димососа при різних кліматичних і технологічних умовах.

Отже продуктивність димотяга становить:

$$Qд = 1,1 \cdot Qр \cdot 101.3 / Рбар, \quad (2.13)$$

Створюване димососом тиск (розрядження), приведене до умов каталогу, за яким вибирається димосос ΔРкат, приймається рівним:

$$\Delta Р\ кат = 1.2 \cdot \Delta Рр \cdot К, \quad (2.14)$$

де 1,2 – коефіцієнт запасу;

ΔРр – сумарний опір газовідвідного тракту, отриманий в результаті аеродинамічного розрахунку;

К – коефіцієнт перерахунку, рівний.

$$К = (273 + Тг) \cdot 101.3 \cdot \rho_{0г} / (273 + Т_{кат}) \cdot Р_{бар} \cdot \rho_{0в}, \quad (2.15)$$

де $Т_г$ – температура газу у димососа, °С;

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

$\rho_{0г}$ і $\rho_{0в}$ – густина відповідно газу і повітря за н. у., кг/м³.

Потужність, споживану двигуном N, визначають за формулою:

$$N = Qкат \cdot \Delta Ркат \cdot 10^{-3} / \eta кат \cdot К = Nкат / К, \quad (2.16)$$

де $\eta_{кат}$ и $N_{кат}$ – каталожні значення відповідно ККД та потужності.

Ця формула дозволяє точно розрахувати необхідну потужність для забезпечення ефективної роботи димососа, враховуючи всі технологічні і аеродинамічні характеристики системи.

Використовуємо вищенаведені формули та визначаємо параметрі, що необхідні для вибору димотягу:

$Q_д = 1,1 \cdot 222884 \cdot 101.3 / 98 = 253428,2$ м³/год

$К = (273 + 53.8) \cdot 101,3 \cdot 1.293 / (273 + 30) \cdot 98 \cdot 1.293 = 1,115$

$\Delta Р_{кат} = 1.2 \cdot 6723 \cdot 1,115 = 8995$ Па

$N = 1680 / 1.115 = 1506,7$ кВт

Характеристика тяго-дутевого обладнання. Для транспортування аспіраційного газу проектом передбачена паралельна установка димососів (В 1.1, В 1.2, В 1.3, В 1.4), встановлюваних після фільтра.

Тип димососа: ВДН – 25×2 – 1:

частота обертання, об/хв: 1000

повний тиск, Па: 9000

споживана потужність, кВт: 1680

маса, кг (без електродвигуна): 16 900.

Для димососа В1.1, який працює безперервно, передбачена установка двигуна з коротким замиканням, а для моделей В1.2 – В1.4 – двигунів з фазним ротором. Димосос В1.1 забезпечує постійний відсос пилоповітряної суміші із скипової ями та приймальної воронки завантажувального пристрою. Інші димососи обслуговують ливарний двір і запускаються по черзі, в залежності від руху продуктів плавки на майданчику. Димососи В1.2 та В1.3 працюють одночасно і виконують відсос пилогазової суміші від лётки, скиммера та чавунного зливу. Димосос В1.4 включається при досягненні шлаком качаючих жолобів і виконує відсос при зливі шлака. Через 5 хвилин після завершення розливки димососи В1.2, В1.3 і В1.4 вимикаються. Включення та вимикання димососів під час плавки (не менше 11 разів на добу для одного агрегату) встановлюють певні вимоги до їх приводів. Проект також передбачає можливість підключення газоочистки для аспірації ливарного двору ще однієї доменної печі. Викид газів в атмосферу здійснюється через окремі димові труби Ду2200 мм на висоті Н = 38000 мм для кожного з димососів.

## 2.7 Розміщення обладнання аспіраційної системи

Обладнання аспіраційної системи доменної печі розташоване в двох місцях – в будівлі газоочистки та на ливарному дворі.

У будівлі газоочистки встановлено 4 димососи з напрямними апаратами та відсічними клапанами, рукавний фільтр Ф-11500 з системою пилоочищення та відвантаження пилу, магістральні клапани для скіпової ями, приймальної воронки завантажувального пристрою та ливарного двору.

На ливарному дворі встановлені клапани для підключення місць відсмоктування. Електрообладнання газоочистки розміщується у двоповерховій прибудові до будівлі газоочистки.

На першому поверсі будівлі встановлені тиристорні пускові пристрої для двигунів димососів. На другому поверсі розташоване ПСУ для механізмів газоочистки та операторський пост. В операторському посту передбачено встановлення кросового щита №1 і робочої станції САУ АУ щита КВП та ящика аварійної сигналізації.

Установка щитів станції управління для клапанів ливарного двору передбачена в ПСУ гідромеханізмів лєтки №1. Там же встановлюється кросовий щит №3 САУ АУ.

Кросовий щит №2 САУ АУ для управління регенерацією фільтра встановлений у шатрові на майданчику фільтра.

В табл. 2.4 наведені основні параметри роботи запроєктованної аспіраційної системи доменної печі.

Таким чином, запропонована система має певні переваги та недоліки.

Запроєктована в цій роботі аспіраційна система має такі переваги:

1. Централізація системи газоочистки – можливість застосування досконалих фільтрів.

2. Високий ступінь очистки.

3. Відсутність шламового господарства.

4. Відсутність відкладень в обладнанні та газопроводах.

5. Відсутність шкідливого впливу крапельної вологи, що міститься в газах, на стінки димових труб.

Таблиця 2.4 – Параметри роботи аспіраційної системи доменної печі

| Параметр | Одиниці вимірю | Величини |
|---|---|---|
| Кількість очищеного аспіраційного повітря<br>I вар., II вар.<br>Режим 1<br>Режим 2<br>Режим 3<br>Питоме газове навантаження<br>Розрідження газів перед фільтром<br>Розрідження газів після фільтра<br><br>Гідравлічний опір фільтра<br>Температура очищеного газу<br>Тиск стисненого повітря в накопичувачі<br>Витрата стисненого повітря на регенерацію фільтра<br><br>Запиленість газу після очищення<br>Температура підшипників | <br><br>Тис м³/год<br><br><br>м³/м· хв<br>Па<br>Па<br><br>Па<br>˚С<br>МПа<br>м³/год<br><br>мг/нм³<br>°С | <br><br>223 – 260<br>740 – 760<br>897 – 940<br>0,32 – 1,36<br>не більш 1500<br>не більш 5500<br><br>2500 – 3000<br>60<br>не більш 0,6<br>до 1200<br><br>20<br>70 |

Недоліками цієї системи газоочистки є:

1. Великі габарити рукавного фільтра.

2. Неможливість забезпечення герметичного відсмоктування від усіх джерел пиловиділення.

3. М’які тканинні вставки між бункером і ланцюговим конвеєром призводять до підсосу атмосферного повітря, що, в свою чергу, знижує відсмоктування та відведення газів з ливарного двору та перешкоджає вивантаженню пилу з бункерів.

# РОЗДІЛ 3
# ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

## 3.1 Дослідження небезпечних та шкідливих факторів доменного виробництва

Окремі етапи доменного процесу супроводжуються численними шкідливими й небезпечними виробничими факторами, серед яких виділення великої кількості тепла, пилу та підвищений рівень шуму.

Доменний цех належить до гарячих цехів, де через надмірне тепло температура повітря в приміщенні значно зростає. Це створює складні умови для працівників, а несприятливий вплив високих температур посилюється тепловим випромінюванням. Основними джерелами теплового випромінювання є розплавлений чавун і шлаки, нагріта вогнетривка футеровка печі, а також поверхня розплавленого шлаку, вплив яких відчувається при відкритих вікнах печі. Працівники періодично зазнають впливу інфрачервоного випромінювання, інтенсивність якого на робочих місцях може сягати 560 Вт/м², що більше ніж в чотири рази перевищує нормативні значення (140 Вт/м² згідно з ДСН 3.3.6.042-99). Підвищене теплове навантаження на організм може призвести до перевантаження терморегуляційних механізмів, порушення теплового балансу та розвитку захворювань, таких як теплове виснаження, тепловий удар, теплові судоми та катаракта. Оцінка факторів виробничого й трудового процесу для горнового доменного цеху наведена в табл. 3.1

Іншим важливим шкідливим фактором є високий рівень пилу в повітрі робочої зони, концентрація якого досягає 16-19 мг/м³ — що перевищує нормативи більш ніж у 4,6 рази. Доменний пил є фіброгенним і здатен спричиняти серйозні захворювання органів дихання, а також подразнювати шкіру, очі, ясна та вуха. Проникаючи в легені, цей пил може викликати розвиток специфічних професійних хвороб, таких як пилова хвороба легенів та інші респіраторні захворювання.

Таблиця 3.1 – Оцінка факторів виробничого й трудового процесу

Професія: горновий доменної печі

| № | Фактори виробничого середовища й трудового процесу | Норматив. значення (ГДК, ГДУ) | Фактичне значення | III клас Шкідливі та небезпечні умови та характер праці | | | Тривалість дії фактора за зміну, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | I ст. | II ст. | III ст. | |
| 1 | Шкідливі хімічні речовини, мг/м$^3$<br>**2-й клас небезпеки**<br>марганцю оксиди<br>**3-й клас небезпеки**<br>азоту діоксид<br>ангідрид сірчаний<br>вуглецю оксид | <br><br><br>0,3<br>2<br><br>2,0<br>10,0<br>20,0 | <br><br><br>0,25<br>1,9<br>1,6<br>6,8<br>13,5 | | | | 80 |
| 2 | Пил переважно фіброгенної дії, мг/м$^3$ | 4 | 19,1 | | 4,8 р | | 80 |
| 3 | Вібрація (загальна і локальна), дБ | 92 | 86 | | | | 80 |
| 4 | Шум, дБА | 80 | 85 | 5 | | | 80 |
| 5 | **Мікроклімат в приміщенні в теплий період року** | | | | | | |
| | - температура повітря,°С | 15…26 | 37 | | | 10 | 90 |
| | - швидкість руху повітря, м/с | 0,2…0,6 | 0,45 | 1,5р | | | 90 |
| | - відносна вологість повітря,% | <75 | 44 | | | | |
| | - інфрачервоне випромінювання, Вт/м$^2$ | 140 | 560 | | 560 | | 90 |
| 6 | Важкість праці | 3 | 3 | | | | |

Додатково, в доменному цеху спостерігаються шкідливі ефекти від шуму та вібрації, що виникають через рух великогабаритних машин і механізмів, падіння важких матеріалів з висоти, а також внаслідок горіння металу в печі. Негативний вплив шуму на організм людини може мати численні наслідки, зокрема зниження працездатності, продуктивності та якості праці, а також погіршення безпеки на робочому місці. У деяких випадках рівень шуму на

робочому місці досягає 86 дБА, що перевищує допустиму норму в 80 дБА. Тривале перебування в умовах високого шуму може призвести до часткової або повної втрати слуху.

Шум також впливає на центральну та вегетативну нервову систему, викликаючи роздратування, стрес, порушення функціонального стану організму, а також негативно впливає на психологічний стан працівників, викликаючи відчуття тривоги, нервозності та депресії.

Вібрація, що присутня в доменному цеху, на горнового діє незначно, і не перевищує нормативного значення [12]..

Згідно табл. 3.1 умови праці на робочому місці горнового відносять до шкідливих і важких. Робоче місце має в наявність один виробничий фактор 1-го ступеню, два фактори 2-го ступеню та один фактор 3-го ступеню небезпеки. Категорія важкості праці третя. Умови праці 3 класу 3 ступеня.

### 3.2 Заходи з поліпшення умов праці

У доменному цеху використовують різноманітне устаткування, яке при експлуатації створює інтенсивний шум, що суттєво погіршує умови праці. Тому правильна організація робочого процесу, включаючи чергування роботи та відпочинку в умовах високого шуму, є важливою для профілактики професійних захворювань. Не допускається, щоб працівники піддавалися впливу шуму більше ніж 50-60 % робочого часу [13].

Для ефективного видалення надлишку тепла в приміщенні застосовують аерацію та вентиляцію, а також ізолюють усі джерела тепловиділення. Одним із найбільш поширених способів захисту від теплового опромінення є екранування, яке включає екрани для відбиття, поглинання та тепловідведення. Спеціальний одяг для працівників має бути незаймистим, стійким до теплового випромінювання, міцним і добре повітропроникним.

Інтенсивне теплове випромінювання спричиняє значні втрати води організмом, що може призвести до згущення крові, порушення роботи серцево-

судинної системи, а також до проблем з живленням тканин і органів. Для відновлення нормального водного балансу важливо регулярно поповнювати втрати води. Оскільки разом з потом організм втрачає до 1 % мінеральних солей і вітамінів, ці втрати також потребують компенсації. Для цього працівникам надають підсолену газовану воду (0,5 % повареної солі) з розрахунку 4-5 літрів на людину за зміну.

Для забезпечення нормальних умов праці важливо, щоб у приміщенні було чисте повітря з необхідним хімічним складом, температурою, вологістю та швидкістю руху. Підтримання цих параметрів здійснюється шляхом належної вентиляції та опалення доменного цеху, відповідно до нормативних вимог (ДБН В.2.5-67:2013).

Для зниження рівня шуму на робочому місці горнового необхідно встановлювати звукоізоляційні пости керування, застосовувати звукоізоляційні ущільнювачі для повітронагрівачів і глушники шуму, які розміщують на повітроводах. Це допоможе зменшити вплив шуму на здоров'я працівників та покращити умови їхньої праці.

### 3.3 Виробнича санітарія

Один з ключових аспектів робочого середовища – це належне освітлення. Недостатнє освітлення ускладнює виконання робіт, призводить до зниження ефективності праці та може стати причиною нещасних випадків або захворювань органів зору. Розрізняють два основних типи освітлення: природне та штучне.

Природне освітлення забезпечується сонячним світлом, що проникає в приміщення через різні світлові прорізи. Воно поділяється на бічне (коли світло проникає через вікна або отвори в стінах), верхнє (через люки або світлові прорізи в даху) та комбіноване (яке поєднує бічне і верхнє освітлення).

Штучне освітлення необхідне, коли роботи проводяться в нічний час або в місцях, де природного освітлення недостатньо (ДБН В.2.5-28-2018). Таке освітлення характеризується певними технічними параметрами, такими як

напруга, потужність і світловий потік, а також розмірами освітлювальних приладів.

У гарячих цехах особливість роботи полягає в наявності самосвітних предметів, таких як полум'я, розплавлений метал та шлак, що значно підвищують яскравість у полі зору працівників і можуть бути шкідливими для очей. Яскравість цих об'єктів часто в кілька разів перевищує яскравість навколишнього середовища, що створює проблеми для спостереження за робочим процесом і визначення якості металу чи шлаків. Перехід погляду з яскравих поверхонь на темніші ділянки може призвести до засліплення, порушення зорових функцій або утруднень при сприйнятті інших об'єктів.

Для того, щоб полегшити адаптацію зору, необхідно підтримувати певний рівень освітленості навколишнього фону, уникати різких контрастів між освітленими і темними зонами на робочих поверхнях. Відповідно до норм, для робіт з самосвітними об'єктами (VII розряд) мінімальна загальна освітленість повинна складати 150 лк при використанні ламп розжарювання (ДБН В.2.5-28-2018). Лампи без захисних пристроїв не повинні використовуватися. В доменному цеху застосовуються лампи розжарювання НГД 127-100 (напруга 127 В, потужність 100 Вт), світильники «Універсаль», з коефіцієнтом запасу К = 1,3.

Аварійне освітлення має бути забезпечене окремим джерелом живлення. Для продовження робіт аварійне освітлення повинно створювати на робочих поверхнях освітленість не менш ніж 5% від норми загального освітлення. Для забезпечення евакуації людей аварійне освітлення повинно підтримувати рівень освітленості на підлозі проходів і сходах не менше 0,5 лк в приміщеннях і 0,2 лк на відкритих територіях (ДБН В.2.5-28-2018).

Опалення основних виробничих приміщень передбачено здійснювати за допомогою повітряного обігріву, що поєднується з припливною вентиляцією, відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013. Приплив повітря організовується через великі установки, які розташовуються групами.

Через значне виділення надлишкового тепла на ливарному дворі, доменному цеху необхідний інтенсивний повітрообмін, особливо в літній період.

Природна вентиляція на ливарному дворі забезпечується завдяки різниці температури повітря в приміщенні та зовні (тепловий напір), а також впливу вітру (вітровий напір). Для аерації передбачаються вентиляційні отвори в поздовжніх стінах будівлі: нижні отвори, які забезпечують приплив повітря в теплий період року, розміщуються на висоті не більше 1,8 м, а верхні отвори, через які повітря поступає в зимовий і літній періоди, знаходяться на висоті не менше 4 м. Крім того, на покрівлі будівлі встановлюється аераційний ліхтар для поліпшення природної вентиляції.

Механічна вентиляція в доменному цеху здійснюється за допомогою великих централізованих вентиляційних установок, що ефективно забезпечують відведення надлишкового тепла і підтримку необхідного мікроклімату на робочих місцях.

Згідно з санітарними нормами, параметри повітряного середовища в робочій зоні виробничих приміщень доменного цеху мають відповідати вимогам ДСН3.3.6.042-99, що детально описано в табл. 3.2. Це гарантує створення сприятливих умов для праці та підтримку належного рівня вентиляції в цеху.

Таблиця 3.2 – Значення нормованих параметрів повітряного середовища в робочій зоні виробничих приміщень

| Характеристика виробничих приміщень за надлишковими тепловиділеннями (більш або менш 23 Вт/м$^3$) | Категорія роботи по тяжкості | Період року (теплий, холодний) | | | | | | Температура повітря поза постійних робочих місць, T, °C | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | На постійних робочих місцях | | | | | | | |
| | | Температура повітря, t, °C | | Відносна вологість повітря, φ, % | | Швидкість руху повітря, W, м/с | | | |
| | | Опт. | Доп. | Опт. | Доп. | Опт. | Доп. | Опт. | Доп. |
| Більш 23 Вт/м$^3$ | 3 Важка | Холодний період | | | | | | | |
| | | 16-18 | 13-19 | 40-60 | 75 | 0,3 | Не більше 0,4 | 19-22 | 12-20 |
| | | Теплий період | | | | | | | |
| | | 18-20 | 15-26 | 40-60 | 75 | 0,4 | 0,2-0,6 | 22-24 | 13-28 |

### 3.4 Аналіз стану електробезпеки на виробництві

Враховуючи специфічні умови середовища, доменний цех належить до особливо небезпечних об'єктів з точки зору ризику ураження електричним струмом. Така небезпека зумовлена низкою чинників, зокрема високими температурами повітря, наявністю струмопровідних підлог, а також можливістю одночасного контакту з металевими конструкціями, які є частинами як електричних установок, так і тих, що з'єднані із землею. Це підвищує ймовірність ураження електричним струмом через виникнення небезпечних потенціалів між різними частинами обладнання (НПАОП 40.1-1.01-97).

Для живлення електричних пристроїв у доменному цеху застосовуються напруги, не що перевищують 380 В в трьохфазній системі, що є стандартним для подібних промислових умов. Проте, навіть на такій напрузі, важливо суворо дотримуватися всіх правил безпеки для запобігання нещасним випадкам.

Перед початком роботи необхідно обов'язково перевірити технічний стан всіх електричних установок і обладнання, інструментів, огороджень, а також системи заземлення та вентиляції, оскільки несправності або їх відсутність можуть спричинити серйозні наслідки. Під час експлуатації важливо дотримуватися всіх вимог і стандартів з техніки безпеки при використанні технологічного устаткування, а також враховувати безпеку під час роботи з транспортними засобами та вантажопідйомними механізмами.

Робочі місця повинні бути організовані належним чином, включаючи наявність попереджувальних знаків, розмітки для руху транспортних засобів і чітке розподілення зон для безпечної роботи. У разі аварії необхідно негайно виконувати правила поведінки в аварійних ситуаціях, включаючи евакуацію людей та надання першої медичної допомоги, щоб мінімізувати наслідки.

Особливою небезпекою в умовах доменного цеху є вплив електричного струму та електричних дуг, які можуть виникати при коротких замиканнях чи інших неполадках в електричних мережах. Ураження електричним струмом може статися, якщо людина потрапить в зону дії електричної дуги або

безпосередньо торкнеться струмопровідних частин, які потрапляють під напругу. Для цього необхідно застосовувати спеціальні заходи безпеки для електроустановок напругою понад 1000 В, щоб уникнути можливих контактів з небезпечними елементами та забезпечити захист працівників (ГОСТ 12.1.30-81 ССБТ).

Надійний стан ізоляції електричних установок є критично важливим для запобігання ураженню струмом. У доменному цеху також застосовуються системи захисного занулення, які є ефективним засобом захисту від потенційно небезпечних впливів електричного струму, забезпечуючи додатковий рівень безпеки для працівників.

### 3.5 Аналіз стану пожежна безпеки в доменному виробництві

Основною загрозою пожежної безпеки в доменному цеху є вибухи газу, а також можливі вибухи металу та шлаків. Ці явища є особливо небезпечними, оскільки вони можуть безпосередньо загрожувати життю працівників. У порівнянні зі звичайними пожежами, ймовірність виникнення таких інцидентів в доменному цеху є меншою, оскільки всі будівельні елементи приміщень виготовлені з матеріалів, що не піддаються горінню, враховуючи високу температуру, яка застосовується в технологічних процесах.

Поряд з доменним газом із печі виводиться значна кількість пилу, що утворюється внаслідок випаровування сирих матеріалів і конденсації пар летючих компонентів. Цей пил, відомий як колошниковий, є самозаймистим і може стати причиною вибухів газу в пиловловлювачах і газопроводах, що транспортують забруднений газ.

Для попередження загорянь та вибухів у процесі експлуатації будівель і технологічних установок необхідно вжити запобіжних заходів ще на етапі проектування. Враховуючи, що найсерйозніша небезпека виникає при розвитку пожежі та вибуху в приміщеннях, профілактичні заходи зазвичай починаються з визначення категорії приміщень за ступенем вибухопожежонебезпеки. Згідно з

характеристиками використовуваних матеріалів та особливостями технологічного процесу, відповідно до НАПБ Б.03.002-2007, апарати доменного цеху, що містять коксовий або природний газ, відносяться до категорії А. Газоочистні системи доменного газу, міжконусні простори колошників, установки для вдмухування вугільного пилу та інші відповідні частини відносяться до категорії Б. До категорії Г включають ливарні двори, де обробляються неспалені речовини в гарячому або розплавленому стані, що супроводжується виділенням тепла та полум'я.

Для забезпечення пожежної безпеки в електротехнічних приміщеннях встановлюється автоматична пожежна сигналізація, приймальні станції якої розміщуються на пультах керування печами або в машинному залі.

Особливу роль у забезпеченні пожежної безпеки відіграють порядок на території, справний стан обладнання та організація шляхів евакуації. Ключовим є суворе виконання працівниками правил експлуатації обладнання, а також дотримання технічних інструкцій і безпеки праці.

Для ефективного реагування на пожежі в доменному цеху широко використовуються газові установки для гасіння вогню з тросовим пуском, які добре зарекомендували себе на ранніх етапах розвитку пожежі.

Згідно з нормативами для доменного виробництва, на кожну домну має бути встановлено: один пінний вогнегасник, шість вогнегасників ВВ-8 та чотири ящики з піском для першочергового гасіння (НАПБ Б.03.001-2004).

### 3.6 Розрахунок глушників для зниження рівня шуму від клапану «Снорт»

Клапан «Снорт» для повітряно-розвантажувальних систем (рис. 3.1) монтується на трубопроводі холодного повітря поблизу блока повітронагрівачів. Його основне призначення — зменшення або повне припинення подачі повітря в доменну піч без необхідності змінювати налаштування роботи повітродувної машини. Клапан складається з двох механічно з'єднаних частин: поршневого та

дросельного. При відкритті поршневого клапан відводить повітря в атмосферу безпосередньо або через спеціальний глушник, одночасно перекриваючи повітропровід, що з'єднує систему з повітронагрівачем, за допомогою дроселя. Цей клапан використовується не тільки під час пускових і зупинкових операцій на печі, але й для створення штучних осаджень у разі підвисання печі, а також для аварійної зупинки в екстрених ситуаціях.

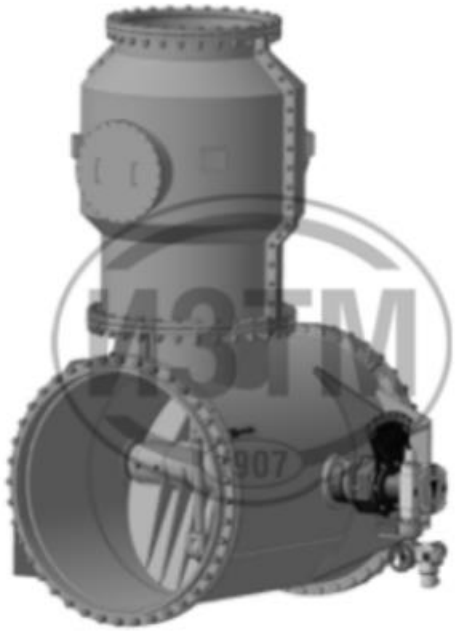
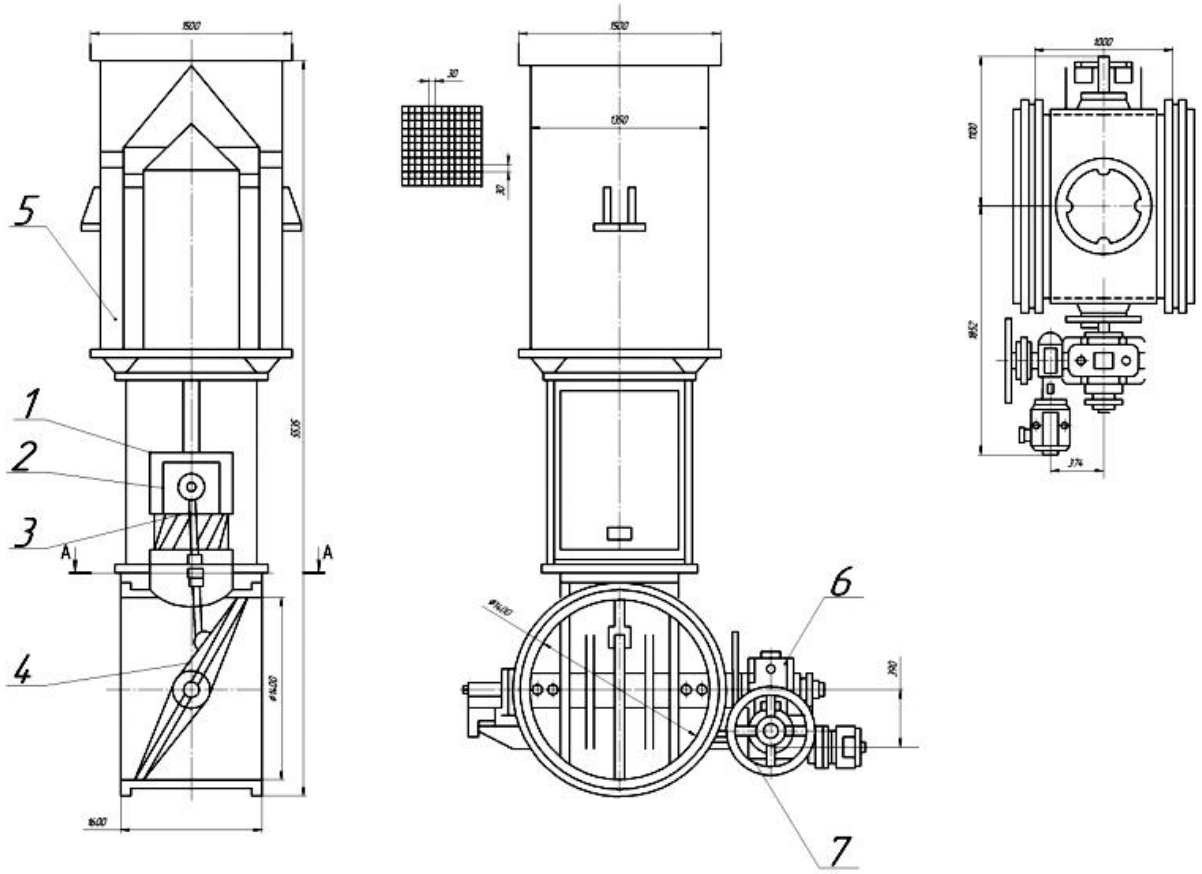


Рисунок 3.1 – Клапан «Снорт» для повітряно-розвантажувальних систем

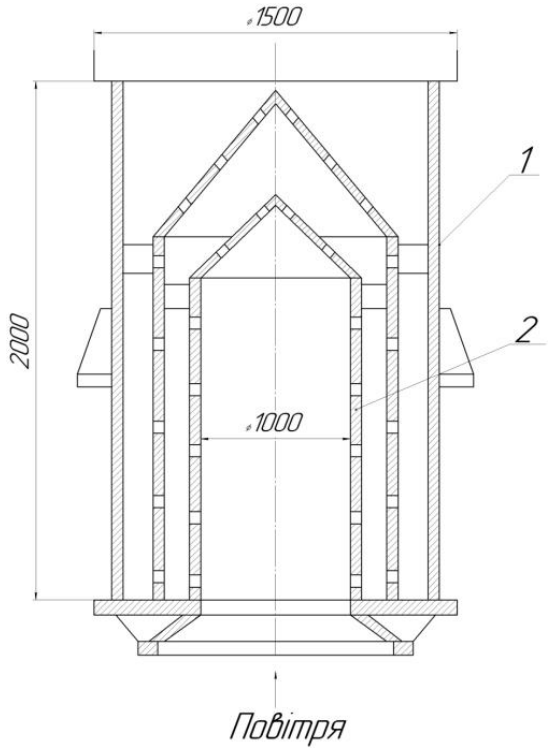
Оскільки викид стисненого повітря в атмосферу через повітряно-розвантажувальний клапан «Снорт» відбувається при значному надлишковому тиску, його робота супроводжується високим рівнем шуму, що досягає 121 дБА (табл. 3.3). Для зниження шумового навантаження на клапан «Снорт» зазвичай застосовують глушник типу М101-21 [19] (рис. 3.2).




1 – корпус, 2 – поршень, 3 – шатун, 4 – дросель, 5 – глушник, 6 – привод, 7 – механізм ручного керування

Рисунок 3.2 – Клапан «Снорт» разом з глушником М101-21

Глушник моделі М101-21 (рис. 3.3) має конструкцію у вигляді сталевого циліндра 1, всередині якого знаходяться дві перфоровані сталеві труби 2. Перфорація виконана у вигляді отворів діаметром 20 мм, розташованих у шаховому порядку, при цьому загальна площа отворів складає 18 % від площі бокової поверхні труби. Для оцінки ефективності цього глушника проводиться акустичний розрахунок, враховуючи, що глушник є напівнескінченним.




1 – циліндр сталевий; 2 – труба сталева перфорована

Рисунок 3.3 – Глушник типу М101-21

Оцінка ефективності зниження рівня шуму за допомогою глушника М101-21. Позначимо звукову потужність на вході в канал 1 (де x = 0) як P1(0), а звукову потужність на відстані x в цьому каналі – як P1(x). Відповідні щільності звукової енергії будуть:

$$\varepsilon_1(0) = {}^{\mathrm{P}_1(0)}/_{\mathrm{c} \cdot S_1}$$

та

$$\varepsilon_1(\mathrm{x}) = {}^{\mathrm{P}_1(\mathrm{x})}/_{\mathrm{c} \cdot S_1}$$

де c – швидкість звуку в повітрі, м/с;

$S_1$ – площа поперечного перетину каналу 1, м$^2$.

За умов, що в нормальних до осі каналу площині встановлюється дифузійне звукове поле, тоді на стінці шириною dx каналу 1 падає звукова потужність. Тоді після нескладного математичного перетворювання визначаємо

величину рівня звукової потужності, яка поширюється у каналі 1, на відстані l від входу в глушник за наступною формулою:

$$\Delta L_1 = 10\, lg \frac{P_1(0)}{P_2(l)} = 10\delta_1 l_1 lge = 4{,}36\delta_1 l$$

$$\Delta L_2 = 4{,}36 \frac{\alpha_1 l}{d_1} + R + 10lg\alpha_2 + 4{,}5$$

де $\alpha_1$ – коефіцієнт звукопоглинання стінки каналу 1,

$d_1$ – діаметр каналу 1, м

$R$ – звукоізоляція стінок каналу 1, дБ

Загальне зниження рівня звукової потужності глушника складає:

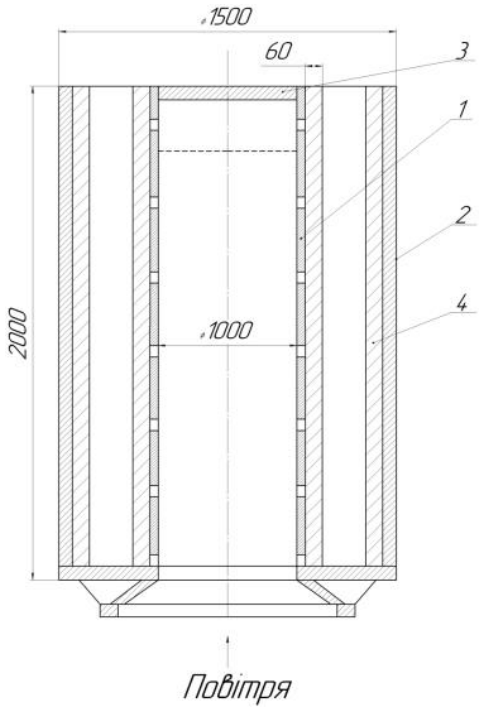
$$\Delta L = -10lg(10^{-0{,}1\Delta L_1} + 10^{-0{,}1\Delta L_2})$$

Коли вихід з каналу 1 закритий, загальний рівень звукової потужності розраховується за формулою для зниження рівня шуму в каналі 2. У випадку глушника з коефіцієнтом перфорації зовнішніх труб, що становить 0,18, звукопоглинання на середніх і високих частотах відбувається переважно на стінках зовнішнього циліндра. На низьких частотах через турбулізацію, спричинену ефектом перфорації, рівень зниження шуму сягає 8–10 дБ [16].

Згідно з дослідженням [16], трубчастий глушник із внутрішніми стінками, облицьованими звукопоглинальним матеріалом, демонструє кращі показники зниження шуму. Як звукопоглинач використовується сталевий войлок, виготовлений зі сплутаного дроту діаметром 0,05–0,1 мм, спресованого до щільності 500–700 кг/м³. Для визначення рівня звукової потужності, яка поширюється каналом 1 на відстані lll від входу в глушник, проводимо

розрахунки. Отримані результати подано у табл. 3.3, де зазначено, що цей тип глушника ефективніше знижує шум клапана «Снорт», ніж модель М101-21.

Розглянемо конструкцію глушника (рис. 3.4), яка складається з перфорованої сталевої труби 1 із закритим виходом 3 і зовнішнього сталевого циліндра 2, облицьованого шаром сталевого войлоку 4.




1 – труба перфорована сталева, 2 – циліндр зовнішній сталевий, 3 – вихід закритий, 4 – войлок сталевий

Рисунок 3.4 – Конструкція глушника для клапану «Снорт»

Враховуючи, що площа поперечного перетину внутрішнього каналу дорівнює площі зовнішнього каналу та $\alpha_1 = \alpha_2$.

Відповідно до рекомендацій, які надані в роботі [19], на частоті до 1000 Гц ефективність глушника розраховується за формулою:

$$\Delta L_2 = 10\, lg \frac{P_1(0)}{P_2(l)} = R + 10lg\alpha_1 + 2{,}18(\chi_2 - \chi_1) - 10\lg(\chi_1 + \chi_2) +$$

$$6 - 10lg\left[\frac{(1 - e^{-\chi 1})}{\chi_1} + \frac{(1 - e^{-\chi 2})}{\chi_2}\right]$$

Для більш високих частот ефективність глушника визначається за формулою, що використовується для розрахунку зниження звукової потужності в каналі 2 на відстані l від точки входу в глушник.

У таблиці 3.3 представлені результати розрахунків щодо зниження рівня шуму під час використання глушника моделі М101-21 і глушника, конструкція якого зображена на рисунку 3.4.

Таблиця 3.3 – Показники ефективності глушника

| Розрахункові величини | Середньогеометричні частоти октанових полос, Гц | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| $\Delta L_т$, дБ | 12 | 10 | 5 | 9 | 12 | 19 | 19 | 14 |
| $\Delta L_1$, дБ | 2,2 | 2,6 | 3,0 | 3,9 | 7,0 | 7,4 | 8,4 | 8,3 |
| R, дБ | 0 | 1,5 | 3 | 4,5 | 6 | 7,5 | 9 | 10,5 |
| $\Delta L_2$, дБ | 2,3 | 4,0 | 6,8 | 10,3 | 16,5 | 19,0 | 21,3 | 23,2 |

Отже, згідно з результатами розрахунків, найбільш ефективним виявився глушник, сконструйований відповідно до схеми, зображеної на рис. 3.4.

# РОЗДІЛ 4
# ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

## 4.1 Капітальні витрати

Розрахунок здійснюється за узагальненим методом, який відображає структуру капітальних інвестицій у металургійну галузь.

До вартості газоочисного обладнання в поточному варіанті включено ціну двох скруберів Вентурі, димососів та насоса (розраховується на основі даних заводу):

$$C_o^{\partial} = C_{скр} + C_{\partial} + C_н \quad (4.1)$$

де $C_{скр}$ – вартість апарату газоочищення – скрубера Вентурі, грн, $\mathrm{C_{скр}} = 2 \cdot 400000 = 800000$ *грн*;

$C_{\partial}$ – вартість димососу, грн, $C_{\partial} = 2 \cdot 30000 = 60000$*грн*;

$C_н$ – вартість насосу, *грн*, $C_н = 20000$ *грн*.

$C_o^{\partial} = 800000 + 60000 + 20000 = 880000$ *грн*.

До вартості обладнання в проєктному варіанті включено вартість рукавного фільтра, димососа та конвеєрів із бункером-накопичувачем пилу:

$$C_o^{n} = C_{р.ф.} + C_{\partial 1} + C_{к.б.}\,, \quad (4.2)$$

де $C_{р.ф.}$ – вартість рукавного фільтру, *грн*, $C_{р.ф.} = 3500000$ *грн*;

$C_{\partial 1}$ – вартість димососу, *грн*, $C_{\partial 1} = 4 \cdot 100000 = 400000$ *грн*;

$C_{к.б.}$ – вартість конвеєрів та бункера накопичувача пилу, грн , $C_{к.б.} = 180000$ *грн*.

$C_o^{\text{п}} = 3500000 + 400000 + 180000 = 4080000$ *грн*.

Ціну засобів контролю та автоматизації (КВП) визначають як відсоток від загальної вартості обладнання для газоочищення.

У поточній версії використовується «мокрий» спосіб очищення газів, через що вартість КВП становить 40 % від ціни основного обладнання.

$$C_к^д = 0{,}4 \cdot C_o^д \tag{4.3}$$

$C_к^д = 0{,}4 \cdot 880000 = 352000$ *грн.*

У проєкті передбачено застосування «сухого» способу очищення газів, при цьому витрати на КВП складають 30 % від загальної вартості базового обладнання.

$$C_к^п = 0{,}3 \cdot C_o^п \tag{4.4}$$

$C_к^п = 0{,}3 \cdot 4080000 = 1\ 224\ 000$ *грн.*

Капіталовкладення в газоочисне обладнання визначаються як сума вартості самого газоочисного обладнання та вартості КВП:

$$K_o = C_o + C_k \tag{4.5}$$

$K_o^д = 880000 + 352000 = 1\ 232\ 000$ *грн*

$K_o^п = 4080000 + 1224000 = 5\ 304\ 000$ *грн*

Витрати на встановлення та монтаж обладнання розраховуються як 30 % від загальної суми капіталовкладень у нього:

$$C_{уст} = 0{,}3 \cdot K_o \tag{4.6}$$

$C_{уст}^д = 0{,}3 \cdot 1232000 = 369600$ *грн*

$С^{п}_{уст} = 0,3 \cdot 5304000 = 1\ 591\ 200$ *грн*

Витрати на монтаж комунікацій складають 15 % від загальних капіталовкладень в обладнання:

$$C_{м.к.} = 0,15 \cdot K_o \quad (4.7)$$

$С^{д}_{м.к.} = 0,15 \cdot 1232000 = 184800$ *грн*

$С^{п}_{м.к.} = 0,15 \cdot 5304000 = 795\ 600$ *грн*

Накладні витрати спеціалізованої організації, яка виконує монтаж, становлять 20 % від капіталовкладень в обладнання:

$$C_{к.р.} = 0,2 \cdot K_o \quad (4.8)$$

$С^{д}_{к.р.} = 0,2 \cdot 1232000 = 246\ 400$ *грн*

$С^{п}_{к.р.} = 0,2 \cdot 5304000 = 1\ 060\ 800$ *грн*

Вартість металоконструкцій (сходи, платформи, арматурні вироби, газоходи, трубопроводи, опори) становить 55 % від вартості газоочисного обладнання в поточному варіанті (скрубер Вентурі) та 60 % в проєктному варіанті (рукавний фільтр).

$$C^{д}_{м} = 0,55 \cdot C_{скр} \quad (4.9)$$

$С^{д}_{м} = 0,55 \cdot 800000 = 440000$ *грн*

$$C^{п}_{м} = 0,6 \cdot C_{р.ф.} \quad (4.10)$$

$С^{п}_{м} = 0,6 \cdot 3500000 = 2\ 100\ 000$ *грн*

Вартість проектно-розвідувальних робіт приймається рівною 7 % від вартості газоочисного апарата:

$$C^{д}_{п.и.} = 0{,}07 \cdot C_{скр} \quad (4.11)$$

$\text{С}^{\text{д}}_{\text{п.и.}} = 0{,}07 \cdot 800000 = 56000$ *грн*

$$C^{п}_{п.и.} = 0{,}07 \cdot C_{р.ф.} \quad (4.12)$$

$\text{С}^{\text{п}}_{\text{п.и.}} = 0{,}07 \cdot 350000 = 245000$ *грн*

Вартість будівлі в діючому варіанті розраховується залежно від її об'єму. 1 м³ промислової будівлі з залізобетонним каркасом коштує 500 грн. Необхідно побудувати будівлі для димососів розміром (12×6×6) м та для розміщення засобів контролю та управління розміром (6×12×4) м.

Вартість будівель складе, грн:

$\text{С}^{\text{д}}_{\text{зд}} = 500 \cdot (12 \cdot 6 \cdot 6 + 6 \cdot 12 \cdot 4) = 360000$ *грн*

У проєктному варіанті вартість будівель охоплює вартість будівель для димососа та засобів контролю та управління, як і в базовому варіанті, а також додатково включає вартість накриття над рукавним фільтром:

$$C^{п}_{зд} = C^{д}_{зд} + C_{ш} \quad (4.13)$$

де $\text{С}_{\text{ш}}$ – вартість шатру над фільтром, грн, $\text{С}_{\text{ш}} = 250000$ *грн*.

$\text{С}^{\text{п}}_{\text{зд}} = 360000 + 250000 = 610000$ *грн*.

Далі результати розрахунків заносимо до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Капітальні витрати

| п/п | Показники | Варіант | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Базовий | | | Проєктний | | |
| | | кількість, шт. | ціна за од., грн. | сума, тис. грн. | кількість, шт. | ціна за од., грн. | сума, тис. грн. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | Вартість обладнання | | | | | | |
| | - скрубер Вентурі | 2 | 400000 | 800 | | | |
| | - рукавний фільтр | | | | 1 | 3500000 | 3500 |
| | - насос | 1 | 20000 | | | | |
| | - димотяг | 2 | 30000 | | 4 | 100000 | 400 |
| | - конвеєр з бункером | | | | 1 | 180000 | 180 |
| | - КВП | | 352000 | | | 1224000 | 1224 |
| 2 | Вартість встановлення та монтажу обладнання | | | 369,6 | | | 1591,2 |
| 3 | Вартість монтажу комунікацій | | | 184,8 | | | 795,6 |
| 4 | Накладні витрати спеціалізованої організації, яка виконує монтаж | | | 246,4 | | | 1060,8 |
| 5 | Вартість металоконструкцій | | | 440 | | | 2100 |
| 6 | Вартість проектно-розвідувальних робіт | | | 56,0 | | | 245,0 |
| 7 | Вартість будівель | | | | | | 610,0 |
| | Всього | | | 2096,8 | | | 11706,6 |

Питомі капітальні вкладення, віднесені до 1000 м$^3$ газів, що очищаються, грн/1000 $м^3$:

$$C_к = K_\Sigma \cdot \frac{1000}{n}, \quad (4.14)$$

де $K_\Sigma$ – загальні капітальні вкладення, грн;

П – газова продуктивність газоочисної установки, $м^3$

$$С_к^д = 2096800 \cdot \frac{1000}{8{,}28 \cdot 10^9} = 0{,}25 \frac{грн}{1000 м^3}$$

$$С_к^д = 1170800 \cdot \frac{1000}{8{,}52 \cdot 10^9} = 1{,}37 \frac{грн}{1000 м^3}$$

### 4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати включають витрати на основні матеріали, енергоспоживання, амортизацію, технічне обслуговування та утримання основних засобів, інші виробничі витрати, а також доходи від утилізації зібраного пилу.

Витрати на основні матеріали охоплюють усі витрати, пов'язані з процесом очищення газів.

У скрубері Вентурі використовується оборотна технічна вода для зрошення, тому витрати на очищення газів розраховуються залежно від споживаної кількості води. У рукавному фільтрі витрати на очищення газу пов'язані з використанням стисненого повітря.

Енергетичні витрати на експлуатацію скрубера Вентурі (діючий варіант) включають витрати на транспортування газу, подачу води для зрошення та освітлення шламової води.

Витрати на експлуатацію рукавного фільтра також охоплюють витрати на транспортування газу.

Амортизаційні відрахування розраховуються шляхом множення вартості основних засобів на відповідні норми амортизації, які стосуються відновлення обладнання.

Амортизаційні відрахування для будівель складають 5 %, для КВП — 25 %, а для всіх інших основних засобів — 15 %. Загальна вартість основних засобів включає в себе вартість апарата, насоса, димососів та бункера.

Витрати на технічний ремонт становлять 15 % від амортизаційних відрахувань.

Відрахування на інші цехові витрати включають витрати на послуги, допоміжні матеріали та заробітну плату працівників, що займаються ремонтом і наладкою газоочисного обладнання.

Інші витрати складають 25 % від суми заробітної плати РСС, витрат на поточний ремонт і амортизації.

Економія від утилізації пилу під час очищення газів розраховується на основі обсягу утилізованих продуктів на рік і відпускних цін.

Загальні витрати на очищення димових газів з урахуванням економії від утилізації пилу, грн:

$$С = С_{заг} \cdot П /1000 \quad (4.15)$$

де Сзаг – загальні витрати з урахуванням економії від утилізації пилу, віднесені до 1000м³ газа, грн /1000 м³.

Економічне обґрунтування доцільності обраних рішень для уловлювання та утилізації пилу полягає в розрахунку та порівнянні техніко-економічних показників для різних варіантів.

Зекономлені витрати на очищення, досягнуті за допомогою запропонованих рішень, слід розглядати як основний критерій для підтвердження ефективності впроваджених заходів.

Наведена вартість очищення 1000 м³ газів відображає суму собівартості та нормованого прибутку, грн/1000 м³.

$$З = С + Ен \cdot К \quad (4.16)$$

де С – повна собівартість очищення газів, грн/ 1000 м³;

Ен – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень за рік для заходів з охорони довкілля. Е н = 0,17 (грн / год)/ грн

Річний економічний ефект визначається за формулою, грн:

$$Е = (З^{д} + З^{п}) \cdot П^{п} /1000 , \quad (4.17)$$

де $П^{п}$ – річна виробнича потужність газоочисної установки в проєктному варіанті, м³.

Строк окупності капітальних вкладень в запроєктовану систему газоочищення, роки:

$$Т = (К^{д} – К^{п}) / (С^{д} – С^{п}) , \quad (4.18)$$

де $К^{д}$ , $К^{п}$ – капитальні вкладення за різними варіантами, тис. грн;

$С^{д}$ , $С^{п}$ – собівартість очищення димових газів за рік по порівнюваним варіантам, тис. грн.

Для характеристики ефективності капіталовкладень у нову технологію визначається коефіцієнт ефективності:

$$Епр = 1 / Ток,$$

Розраховані дані заносимо до табл.4.2.

Таблиця 4.2 – Основні техніко-економічні показники запроєктованої системи газоочистки аспіраційних газів.

| Показники | Одиниці вимірювання | Базовий варіант | Проєктний варіант |
|---|---|---|---|
| Річна продуктивність установки | млн.м³ | 8280 | 8520 |
| Вміст пилу в газі:<br>- до очищення<br>- після очищення | <br>г/м³<br>г/м³ | <br>0,586<br>0,02 | <br>0,586<br>0,012 |
| Кількість вловленого продукту | т | 4173,12 | 4401,432 |
| Капітальні вкладення | тис.грн | 2096,8 | 11706.8 |
| Річні експлуатаційні витрати на 1000 м³ | грн | 58,913 | 40,201 |
| Економічна ефективність капітальних вкладень | грн. – год<br>грн | ____ | 0,281 |
| Строк окупності капітальних вкладень | роки | ____ | 3,56 |

# ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі магістра була запроєктована система очищення аспіраційних викидів чавунного виробництва та зроблені наступні висновки:

1. Встановлено, що найбільша кількість викидів забруднюючих речовин утворюється на ливарному дворі. Максимальна кількість пилу та газів виділяється під час випуску чавуну та шлаку. Максимальний рівень запиленості аспіраційного повітря спостерігається, коли працює все технологічне обладнання ливарного двору одночасно. Це включає льотки та скіммери, жолоби чавуну та шлаку, які качаються, скипові ями та приймальні воронки засипного апарата (конвеєри, перевантажувальні вузли, нахилені ділянки, грохоти).

2. Досліджено, що пил, вилучений з аспіраційного повітря ливарних дворів, а також скипових ям і приймальних воронок засипних апаратів цих доменних печей, здебільшого складається з $Fe_2O_3$, що є ключовим компонентом у процесі виробництва чавуну. Після належної обробки цей пил може бути повторно залучений до технологічного циклу виготовлення чавуну.

3. У проєктній схемі очищення передбачено відведення аспіраційного повітря від укриттів скіпової ями, приймальної воронки завантажувального пристрою та ливарного двору, яке надалі очищується в рукавному фільтрі ФРІР-11500.

4. Встановлено, що запроєктована аспіраційна система дає можливість застосування досконалих фільтрів, отримати високий ступінь очистки, уникнуть шламового господарства та відкладень в обладнанні та газопроводах, шкідливого впливу крапельної вологи, що міститься в газах, на стінки димових труб.

5. Встановлено, що окремі етапи доменного процесу супроводжуються численними шкідливими виробничими факторами: виділення великої кількості тепла, пилу та підвищений рівень шуму.

6. За результатами техніко-економічних розрахунків визначений строк окупності – запропонованої системи очищення – 3,56 років.

# ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Доменна піч. URL: https://metinvest-smc.com/ua/articles/domennaya-pech-chto-eto-takoe-i-kak-ona-rabotaet/?srsltid=AfmBOorHP_B-I-z_rtv0kBRHRESOcMJAqZvzcDX-hLHYijZaxTbgq7Iv (дата звернення 17.09.2024).

2. Проектування об'єктів доменного виробництва. URL: https://mtechnology.com.ua/proektuvannya-obyektiv-domennogo-virobnictva/ (дата звернення 17.09.2024).

3. Теорія та технологія доменного виробництва. URL: https://www.libr.dp.ua/text/kraj/1543234.pdf (дата звернення 17.09.2024).

4. ММК ім. Ілліча відновлює потужності доменного виробництва. URL: https://metinvestholding.com/ua/media/news/2548 (дата звернення 17.09.2024).

5. Кожемякін Г.Б. Теоретичні основи та техніка захисту повітряного басейну: метод. вказівки до виконання курсового проекту та лабораторних робіт для студ. ЗДІА напряму 6.040106 "Екологія, охорона навкол. середовища та збалансоване природокористування".Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 115 с.

6. Павлюк Ю.С. Повітродувні та насосні станції: Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи для студ. ЗДІА спец. 7.090401 спец. «Екологіч. аудит та охорона навколиш. середовища» всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2007. 30 с.

7. Манідіна Є.А., Бєлоконь К.В. Безпека технологічних процесів та обладнання : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 263 «Цивільна безпека» освітньо-професійної програми «Охорона праці». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2022. 133 с.

8. НПАОП 40.1-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електроустаткування спеціальних установок : Державний нормативний акт від 21 чер. 2001 р. №272. URL: https://dnaop.com/html/29478/doc-ДНАОП_0.00-1.32-01 (дата звернення: 17.11.2024).

9. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою : затв. наказом М-ва України з пит. Надзвичайних ситуацій від 03 грудня 2007 р. № 833 URL: https://dnaop.com/html/32980/doc-НАПБ_Б.03.002-2007 (дата звернення: 17.11.2024).

10. Передистий Б.О. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів агломераційного виробництва. *Металургія як основа сучасної промисловості* : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., 23-26 жовт. 2017 р. Дніпро : ДДТУ, 2017. С. 45-47.

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

12. Податковий Кодекс України: Закон України № 2755-VI від 02.12.2010 (Редакція станом на 01.01.2017): веб-сайт. URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2755-17/paran8575#n8575 (дата звернення: 21.11.2024).