МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ
ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Кваліфікаційна робота / проєкт

рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

на тему: *Система сухого очищення технологічних газів агломашин з утилізацією тепла агломерату*

Виконав: студент (ка) __2__курсу, групи 8.183З
спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
(код і назва спеціальності)
освітньої програми «Технології захисту навколишнього середовища»
(назва освітньої програми)
спеціалізації
(код і назва спеціалізації)
К. С. Папахчян
(ініціали та призвище)
Керівник проф. каф. МТЕТБ, д-р хім. наук, с.н.с. Прутцьков Д. В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент доцент каф. МТЕТБ, к.т.н., доцент Бєлоконь К.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя
2024

ЗАВДАННЯ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Факультет Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету

Кафедра металургійних технологій, екології та техногеннорї безпеки

Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
(шифр і назва)

Освітня програма 183 «Технології захисту навколишнього середовища
(шифр і назва)

Спеціалізація
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри МТЕТБ
Ю.О. Бєлоконь

“____” ____2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЄКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Папахчян Карен Самвелович
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема проєкту: «Система сухого очищення технологічних газів агломашин з утилізацією тепла агломерату»

керівник роботи Прутцьков Дмитро Володимирович, с.н.с., д-р хім. наук
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____
2. Строк подання студентом ___03.12.2024_____
3. Вихідні дані до роботи: витрата газу: 200 тис. нм^3/год; температура: 250°С; запиленість: 4 г/м^3.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вступ, джерела та характеристика технологічних газів агломераційного виробництва, фізико-хімічні явища в процесі агломерації, системи збору та очищення технологічних газів агломашин, шляхи утилізації тепла відхідних газів агломераційної машини, аналіз та обґрунтування схем очищення, розрахунок електрофільтру та підбір апарату живлення до нього, аеродинамічний розрахунок тракту та підбір тягодуттєвого обладнання, розрахунок ефективності утилізації тепла, охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 11 слайдів: титульний аркуш, мета та завдання кваліфікаційної роботи, початкові та обрані дані, схема очистки технологічних газів агломашини з утилізацією тепла агломерату, переріз газоочистки агломераційного виробництва, Електрофільтр ЕГА1-40-9-6-2, Агрегат живлення серії АТПОМ-160, Ексгаустеру Н6500-11-4, ВДГ-20 відцентровий вентилятор гарячого дуття, висновки на 2 слайдах

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	проф. Прутцьков Д. В.		
2	проф. Прутцьков Д. В.		
3	проф. Прутцьков Д. В.		
4	проф. Прутцьков Д. В.		
5	проф. Прутцьков Д. В.		
6	проф. Прутцьков Д. В.		

7. Дата видачі завдання 01.09.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір матеріалу	01.09-15.09 2024	
2	Аналіз зібраного матеріалу	16.09-01.10 2024	
3	Виконання 1 розділу	02.10-10.10 2024	
4	Виконання 2 розділу	11.10-18.10 2024	
5	Виконання 3 розділу	19.10-30.10 2024	
9	Розробка презентації	01.11-01.12.2024	
10	Перевірка роботи консультантами	02.12-02.12.2024	
11	Попередній захист роботи	05.12.2024	
12	Захист роботи у ЕК	12.12.2024	

Здобувач вищої освіти _____ Папахчян К. С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної _____ Прутцьков Д. В.
роботи магістра (підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Вагін А. В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 75 стр., 7 рис., 12 табл., 22 дж.

АГЛОМАШИНА, ГАЗООЧИСТКА, ЕЛЕКТРОФІЛЬТР, ПИЛ, РЕЦИРКУЛЯЦІЯ, УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛА.

Об'єкт дослідження – агломераційний цех та ділянка газоочищення.

Предмет дослідження – технологічні гази та тепло агломераційного виробництва.

Мета кваліфікаційної роботи полягає в аналізі та виборі оптимальної схеми очистки газів і утилізації тепла агломерату, ґрунтуючись на умовах функціонування агломераційного виробництва, показниках кількісних та якісних характеристик викидів, а також на даних літературних і патентних джерел. Обраний варіант має бути обґрунтований та розрахований.

У кваліфікаційній роботі здійснено вибір та обґрунтування оптимальної схеми очистки технологічних газів агломераційної машини з одночасною утилізацією тепла. Для очищення газів вибрано електрофільтр, для якого розраховано основні технічні параметри та підібрано агрегат живлення. Проведено аеродинамічний розрахунок газоходу, враховуючи як опори по довжині, так і місцеві опори. Визначено основні параметри димотягу та вентилятора, необхідні для створення належного розрідження і тиску в газоході. Зокрема розраховано ефективність рециркуляції технологічних газів агломераційної машини в зону спікання та техніко-економічне обґрунтування.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
РОЗДІЛ 1. ЕКОЛОГІЯ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА 8
1.1. Джерела та характеристика технологічних газів агломераційного виробництва 8
1.2. Фізико-хімічні явища в процесі агломерації 12
1.3. Системи збору та очищення технологічних газів агломашин 14
1.4. Шляхи утилізації тепла відхідних газів агломераційної машини 18
1.5. Аналіз та обґрунтування схем очищення 22
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЯ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА 25
2.1 Розрахунок електрофільтру 25
2.2 Підбір апарату живлення 32
2.3 Аеродинамічний розрахунок газового тракту 34
2.4 Підбір тягодуттєвого обладнання 48
2.5 Розрахунок ефективності утилізації тепла 52
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 54
3.1. Вимоги до розміщення огородження 54
3.2. Вимоги до розміщення майданчиків та сходів 55
3.3. Особливості техніки безпеки при обслуговуванні та ремонті електрофільтрів 57
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ 61
4.1 Розрахунок капітальних витрат на очищення газу 61
4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на очищення газу і уловлювання пилу 64
4.3 Розрахунок зменшення екологічного податку 66
4.4 Техніко-економічне обґрунтування рішень, які прийняті у проєкті 68
ВИСНОВОК 70
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 73

ВСТУП

Актуальність теми. Підприємства чорної металургії України, які щорічно викидають в атмосферу сотні тисяч тон шкідливих домішок, потребують модернізації технологій очищення відхідних газів та ефективного використання неминучих відходів виробництва. Найбільшу частину шкідливих викидів, серед яких пил, діоксид сірки та монооксид вуглецю, здійснюють агломераційні фабрики металургійних заводів. Основні технологічні операції в агломераційному виробництві, що супроводжуються виділенням газів, включають спікання агломераційної шихти, охолодження агломерату та його повернення в процес. Температура під час спікання в агломашинах досягає 1300°С, що дозволяє утилізувати та повторно використовувати це тепло для підвищення енергоефективності агломераційної фабрики.

Очищення технологічних газів та повторне використання тепла агломерату є важливими з точки зору санітарно-гігієнічних вимог, екологічної безпеки та економічної ефективності. Існують численні схеми для збору та очистки агломераційних технологічних газів. Зокрема, для відведення газів на очищення найбільш поширеними є три основні схеми: спільний відвід із зони спікання та зони охолодження, роздільний відвід із цих зон, а також спільний відвід з подовженим колектором. На агломераційних фабриках використовуються різні конструктивні схеми очищення, які поділяються на сухі та мокрі. До мокрих схем відносяться установки з трубами Вентурі, а до сухих – системи, що включають батарейні циклонні фільтри, електрофільтри та рукавні фільтри [1, 2].

Мета кваліфікаційної роботи полягає в аналізі та виборі оптимальної схеми очистки газів і утилізації тепла агломерату, ґрунтуючись на умовах функціонування агломераційного виробництва, показниках кількісних та

якісних характеристик викидів, а також на даних літературних і патентних джерел. Обраний варіант має бути обґрунтований та розрахований.

У відповідності до поставленої мети, дослідження було спрямовано на вирішення наступних **завдань:**

- здійснити вибір та обґрунтування оптимальної схеми очистки технологічних газів агломераційної машини з одночасною утилізацією тепла;
- обрати електрофільтр, для якого розрахувати основні технічні параметри та підібрано агрегат живлення;
- провести аеродинамічний розрахунок газоходу, враховуючи як опори по довжині, так і місцеві опори;
- визначити основні параметри димотягу та вентилятора, які необхідні для створення належного розрідження і тиску в газоході;
- розрахувати ефективність рециркуляції технологічних газів агломераційної машини в зону спікання;
- розрахувати техніко-економічні показники.

Об’єкт дослідження – агломераційний цех та ділянка газоочищення.

Предмет дослідження – технологічні гази та тепло агломераційного виробництва.

РОЗДІЛ 1. ЕКОЛОГІЯ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

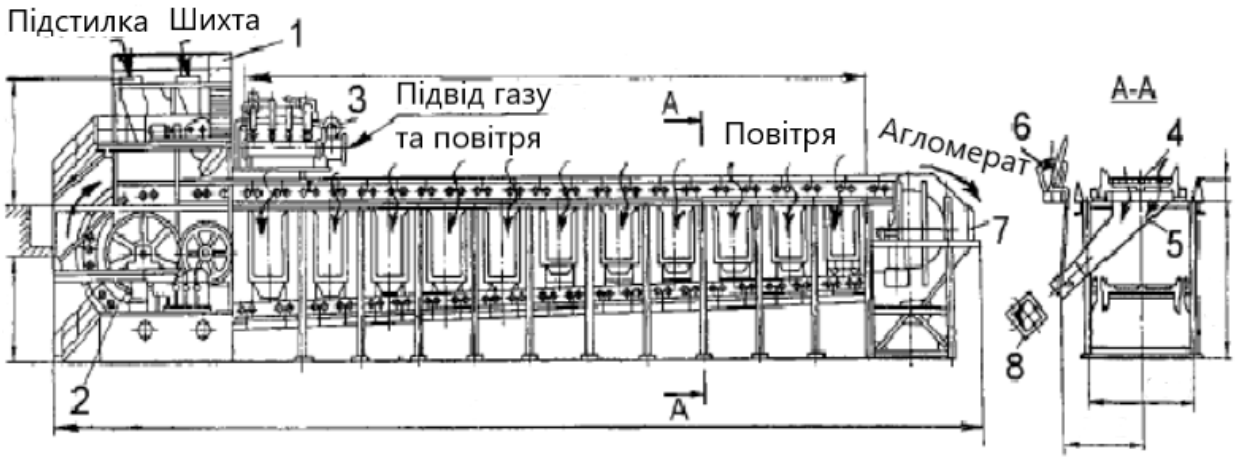
1.1. Джерела та характеристика технологічних газів агломераційного виробництва

Основну частину забруднень атмосферного повітря в чорній металургії створює агломераційне виробництво. Джерела забруднення в атмосфері на агломераційних фабриках включають агломераційні стрічки, охолоджувачі агломерату (барабанні та чашеві), а також установки для пересипки, транспортування та сортування агломерату і компонентів шихти, які використовуються для його приготування. Пил утворюється на агломераційних машинах, охолоджувачах агломерату, а також в аспіраційних системах дробилок, грохотів і бункерів, що використовуються для завантаження агломерату. Загальний обсяг пиловиділення в агломераційному виробництві може досягати більше 11 кг на тонну агломерату, що серйозно впливає на навколишнє середовище.

Агломераційна машина є ключовим обладнанням для спікання агломераційної шихти. Площа її поверхні спікання варіюється від 50 до 312 м² залежно від типу машини. Це конвеєр з металевими ланками, з'єднаними між собою, що має ширину від 3 до 5 м і довжину понад 60 м. Швидкість руху стрічки регулюється від 60 м/год до 225 м/год. Шихта подається на стрічку з бункерів через барабанний змішувач, що дозволяє безперервно подавати матеріал і регулювати товщину шару. Товщина шихти зазвичай коливається в межах від 190 до 250 мм або 240 до 300 мм.

Після того як шихта потрапляє на стрічку, вона проходить через запалювальний горн, де за допомогою горілок, що працюють на природному газі, температура матеріалу підвищується до 600–800°C, що призводить до окислення коксу. Подальше збільшення температури до 1200–1300°C

відбувається завдяки горінню коксу в шихті. Процес горіння підтримується за рахунок повітря, що просмоктується через шихту у вакуум-камерах, розташованих в нижній частині машини. Продукти згоряння та пил, що утворюються, виводяться через ексгаустери і трубопроводи до пиловловлюючих систем, а після очищення гази викидаються в атмосферу через димосос.



1 – живильники для підстилки та шихти, 2- привід машини, 3 – горн для запалення шихти, 4 – візки для спікання, 5 – камери розрідження, 6 – засувки для регулювання розрідження, 7 – розвантажувальна частина машини, 8 – збірний канал диму

Рисунок 1.1 – Схема виробництва агломерату на конвеєрній машині

Агломераційні машини можуть працювати в двох основних режимах: без охолодження агломерату на стрічці або з охолодженням за допомогою повітря в хвостовій частині машини.

Процес агломерації супроводжується утворенням значної кількості пилу, що виникає через кілька факторів. Пил виділяється при просіюванні шихти через колосникову решітку, розтріскуванні агломерату під час руху та вібрації конвеєра, а також під час скидання агломерату зі стрічки. Кількість пилу змінюється по довжині агломераційної стрічки: на початку, в її першій

половині, пиловиділення менше через високу вологість шихти і її низьку газопроникність. У другій половині, коли шихта висихає, газопроникність зростає, і збільшується потік повітря, що проходить через агломерат. Це спричиняє розширення і розтріскування агломерату, зокрема через вібрацію стрічки, а дрібні частинки агломерату викидаються разом з пилом[1, 2, 3].

Найбільше пилу утворюється під час скидання агломерату з конвеєра в хвостовій частині агломераційної машини. Викиди пилу змінюються по довжині машини, що відображено в таблиці 1.1 [2].

При виготовленні 1 тони агломерату обсяг агломераційних газів складає від 2,5 до 4 тисяч м³, при цьому вміст пилу може варіювати від 5 до 60 г/м³ [2].

Таблиця 1.1 – Величина викидів по різним камерам агломашини

Вакуум-камери	1	2	6-26	28	30	32
Витрата газу, тис. $м^3$/год	25,8	18,5	10-14	17,0	17,0	23,0
Кількість пилу в газі, г/$м^3$	10,0	3,5	0,2-0,6	4,0	8,1	18,2

При великих швидкостях руху стрічки агломерат інтенсивніше розтріскується, що призводить до накопичення пересушеної маси, яка збільшує виділення пилу. Наприклад, при збільшенні швидкості конвеєра з 120 до 150 м/год кількість пилу в відхідних газах може зрости з 150 до 450 мг/м³.

Усереднені дані про викиди, що утворюються під час спікання залізовмісної шихти на агломераційних машинах з площею поверхні спікання від 50 до 312 м², наведені в таблиці 1.2.

Збільшена витрата повітря в зоні охолодження і наявність наскрізних тріщин у шихті сприяють виносу пилу з цієї зони. На двозонних агломераційних машинах з охолодженням агломерату на стрічці, питома кількість пилу з зони охолодження може бути на 37-57% вищою, ніж в зоні

спікання. Питомий вихід пилу на тонну агломерату може досягати 50-60 кг, однак більшість крупних часток осідає в колекторі, і в атмосферу потрапляє лише 8-20 кг пилу.

Таблиця 1.2 – Величина викидів по різним камерам агломашини

Показник	Зона спікання	Зона охолодження
Висота шару шихти, мм	240-300	240-300
Вихід газу, $м^3$/т агломерату	2100-2300	1600-1700
Вихід газу, $м^3/м^2$ площі поверхні машини	2900-3400	3400-4200
Гідравлічний опір шару шихти, кПа	9,5-11,00	2,35-3,5
Вихід пилу після грубої очистки в колекторі, кг/т агломерату	3,0-7,0	8,0-21,0

Хімічний склад пилу залежить від складу руд, що спікаються, і палива, яке використовується в процесі. Склад пилу змінюється в досить широкому діапазоні і виглядає наступним чином (в %): FeO – 9-10; Fe_2O_3 – 45-60; SiO_2 – 10-15; Al_2O_3 – 0,5-1,5; CaO – 9-13; MgO – 0,5-1,5; MnO – 0,20-0,30; P_2O_5 – 0,03-0,05; S – 0,5-0,7; C – 4-7.

Дисперсійний склад пилу в агломераційних газах зони спікання наведено в таблиці 1.3. Щільність пилу становить приблизно 3,6 г/см³, а кут природного відкосу – 39-41°. Питомий електричний опір пилу при температурах від 60 до 200°С змінюється від 0,1 до 9 ГОм·м.

Таблиця 1.3 – Дисперсний склад пилу в агломераційних газах зони спікання

Розмір часток, мкм	0-30	30-63	63-100	100-400	Більше 400
Масова доля, %	20	34	27	14	5

Концентрація SO_2 у відхідних газах може коливатися від 0,6 г/м³ до 8-18 г/м³. Кількість CO в агломераційних газах залежить від витрат газу та умов його спалювання в шихті, зазвичай становлячи 12-15 г/м³, що еквівалентно 34 кг на тонну агломерату.

Середній склад агломераційних газів виглядає наступним чином (в %): CO – 0,6; SO_2 – 0,04; CO_2 – 5; O2 – 15; H_2O – 6; N_2 – 73; інші компоненти – 0,36. [2].

Агломераційна стрічка має укриття з верхньої частини. Після розпалу шихти через це укриття просмоктується повітря, насичене з'єднаннями вуглецю, сірки та іншими речовинами, що утворюються під час реакцій з киснем. Газ, що проходить через шар шихти, потрапляє у вакуум-камери, а далі в колектор під агломераційною машиною. Частина пилу осідає в колекторі, але оскільки ступінь очистки газу від пилу не є достатнім, гази піддаються додатковій очистці перед викидом в атмосферу через спеціальну трубу [1].

1.2. Фізико-хімічні явища в процесі агломерації

Формування агломерату є результатом складної сукупності хімічних та фізичних процесів, що відбуваються в багатокомпонентній системі під дією зростаючої температури. Протягом короткого проміжку часу температура шихти в зоні спікання підвищується з 10-15°C до 1200-1500°C і навіть вище, що спричиняє швидке перетворення твердих компонентів шихти в рідкий, тістоподібний стан, де активно відбуваються відповідні хімічні реакції.

До моменту утворення рідкої фази, основні реакції відбуваються між газовою та твердою фазами, здебільшого між продуктами окислення вуглецю та окисами заліза. Після завершення процесу горіння палива через тістоподібну масу починає проходити велика кількість холодного повітря, що

сприяє кристалізації мінералів. Проте, повного розплаву не відбувається, і значна частина матеріалу залишається в склоподібному стані.

Процеси, що протікають під час агломерації, можна умовно поділити на три основні етапи:

Процеси на етапі зростання температури до 900-1000°С: Це період взаємодії між газовою та твердою фазами, коли температура в зоні спікання поступово підвищується.

Процеси між рідкою, твердою та газоподібною фазами: Це етап початку плавлення компонентів шихти, коли температура знаходиться в межах 900-1100°С і триває до досягнення максимальних температур спікання.

Процеси охолодження агломерату: Цей етап включає процеси, що відбуваються між газоподібною фазою (повітрям) і твердою фазою в температурному інтервалі від максимальної температури спікання до температури навколишнього середовища.

Варто зазначити, що це ділення є умовним, оскільки в окремих елементарних об’ємах шихти на кожному етапі можуть одночасно протікати різні процеси. Проте для кожної палаючої частки коксу, перетворення будуть відбуватися відповідно до вказаної схеми, з характерними для кожного етапу фізико-хімічними змінами.

На першому етапі основними взаємодіючими компонентами є продукти газифікації вуглецю (вуглекислий газ — CO_2 та монооксид вуглецю — CO) і окис заліза. Після займання шихти в певному температурному діапазоні відбувається термічний розклад палива та газифікація залишкового коксу за допомогою таких реакцій 1.1-1.3.:

$$C+O_2 = CO_2 \quad (1.1)$$

$$2C+O = 2CO \quad (1.2)$$

$$C+CO_2 = 2CO \quad (1.3)$$

Окис вуглецю, що утворюється, відновлює окис заліза за наступною реакцією 1.4.:

$$3Fe_2O_3+CO = 2Fe_3O_4+CO_2 \quad (1.4)$$

Цей процес відбувається з високою швидкістю вже при температурі 250-300°С. Відновлення окису заліза може відбуватися навіть на межах зони горіння, де також можливе відновлення за реакцією 1.5.:

$$3Fe_2O_3+C = 2Fe_3O_4+CO \quad (1.5)$$

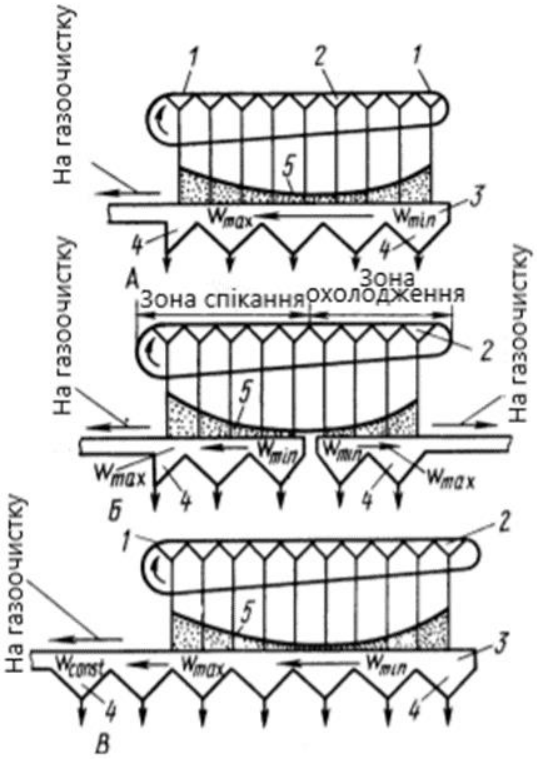
При температурі понад 600°С, у тих об'ємах шихти, де присутній окис вуглецю, починається відновлення окису заліза до закису заліза (FeO), що призводить до утворення перемінного складу твердих розчинів магнетиту в закисі заліза. Це є процесом взаємодії двох твердих фаз при помірних температурах, що відбувається під дією твердого вуглецю. Формування твердого розчину магнетиту у закисі заліза значно знижує температуру плавлення залізних мінералів.

Зокрема, температури плавлення різних залізних окислів такі: Fe_2O_3 — 1700°С, Fe_3O_4 — 1530–1600°С, FeO — 1370–1380°С [2, 3].

1.3. Системи збору та очищення технологічних газів агломашин

На агломераційних підприємствах широко застосовуються різні системи збору та відведення технологічних газів від агломераційних машин (рис. 1.2), що є важливим кроком у забезпеченні ефективного очищення газів та зниженні рівня забруднення навколишнього середовища. Газопотоки, що утворюються на всій довжині агломераційної машини, збираються в загальний

колектор, розташований збоку машини паралельно її осі. Для підтримання необхідного розрідження в вакуум-камерах, де значення розрідження становить близько 10–11 кПа, створюється умови для подолання опору шихти, що спікається. Це забезпечує рівномірний рух газів через весь об’єм шихти.



А – схема збору газу з спільним відводом із зони спікання та зони охолодження, Б – схема збору газу з роздільним відводом із зони спікання та зони охолодження, В – схема збору газу з спільним відводом із зони спікання і зони охолодження з подовженим колектором

1- аглострічка; 2 – вакуум-камера; 3 – колектор; 4 – бункер; 5 – крива розподілення виносу пилу

Рисунок 1.2 – Схеми збору та відводу технологічних газів від агломашини

Вакуум-камери виконують функцію підтримки розрідження, що дозволяє газам рівномірно проходити через шихту. В результаті цього, великі

частинки пилу осідають через свою вагу, і потрапляють до пилових бункерів, що розташовані під колектором. Цей етап забезпечує первинне очищення газів, оскільки більші частки пилу осідають до того, як гази потрапляють у систему подальшого очищення.

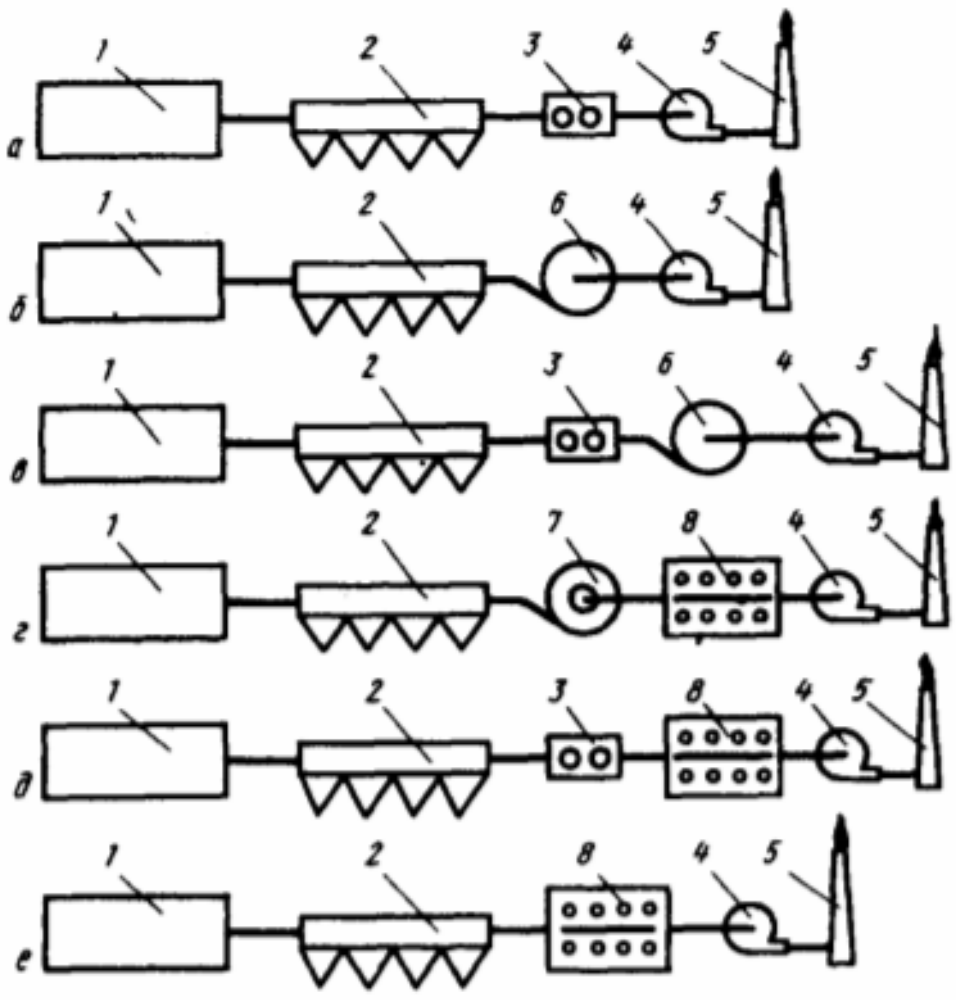
Видалення пилу з бункерів зазвичай здійснюється методом гідрозмиву, що допомагає ефективно зібрати пил та підтримує чистоту в колекторах. Однак зазвичай ефективність цієї схеми збору пилу не перевищує 50-60%. Для підвищення результативності можуть використовуватись деякі удосконалення, наприклад, збільшення довжини колектора, що дозволяє покращити ефективність збору пилу до 70-80%, як це передбачено в варіанті В. Така модифікація дає змогу більш ефективно вловлювати дрібніші частинки пилу, що в свою чергу підвищує загальну ефективність системи очищення.

Ці схеми збору та відведення газів використовуються не лише для основного процесу спікання по всій довжині агломераційної стрічки, але й для охолодження агломерату в хвостовій частині машини. Охолодження агломерату є важливою частиною процесу, що також потребує ефективного відведення газів, оскільки під час охолодження утворюється додатковий обсяг технологічних газів, що вимагає збору та очищення. Тому ці системи є універсальними і можуть застосовуватись як для основного процесу спікання, так і для вторинних етапів, таких як охолодження агломерату. Це дозволяє знизити загальні викиди забруднюючих речовин в атмосферу та забезпечити більш ефективне використання технологічних газів [4].

Існуючі схеми очистки агломераційних газів від пилу показані на рис. 1.3.

Групові циклони (рис. 1.3, а) мають значні недоліки, зокрема через нерівномірний розподіл газів, великі розміри апарату, який пропускає великий обсяг газу, а також швидкий знос циклонних елементів і їх засмічення. Це призводить до зниження ефективності очищення газів від пилу до 60–70%. Запиленість газу, що виходить з циклонів, залежить від концентрації пилу на вході та становить 0,3–0,6 г/м³. Висока концентрація пилу в газах спричиняє

не тільки підвищений абразивний знос роторів ексгаустерів, але й надмірну концентрацію пилу та токсичних домішок (CO, SO_2) у районі аглофабрики та навколишніх частинах міста.



а – в батарейному циклоні, б – в мокрому прутковому відцентрованому скрубері, в – в батарейному циклоні та відцентрованому скрубері, г – в циклоні та електрофільтрі, д – в батарейному циклоні та електрофільтрі, е – в електрофільтрі

Рисунок 1.3 – Схеми очистки газів, які відходять від агломашини

Відцентрові скрубери (рис. 1.3, б) забезпечують досить високу ступінь очистки (94–96%), але запиленість газу на виході складає 150–250 мг/м³, що перевищує рекомендовані норми (80–100 мг/м³). В інших варіантах

відцентрові скрубери встановлюються після групових циклонів (рис. 1.3, в). При коефіцієнті очистки в цьому етапі 0,96–0,98 (з урахуванням колектора) залишкова запиленість на виході складає 80–150 мг/м³. [1]

Мокра очистка газів (рис. 1.3, в, г) має високі енергетичні витрати та ускладнення в утилізації вловленого пилу у вигляді шламу, що робить доцільним використання сухих, ефективних апаратів, таких як електрофільтри. Використання сухих горизонтальних електрофільтрів (рис. 1.3, е) дозволяє досягти високої ефективності очищення, де залишкова запиленість газів складає близько 0,01 г/м³.

Двоступенева система очищення (рис. 1.3, д) має дещо нижчу ефективність очищення (92–95%, залежно від швидкості газу, при ефективності батарейного циклону 87%), порівняно з одноступеневою системою (рис. 1.3, е), яка має ефективність 95,5% [1, 3, 5]

1.4. Шляхи утилізації тепла відхідних газів агломераційної машини

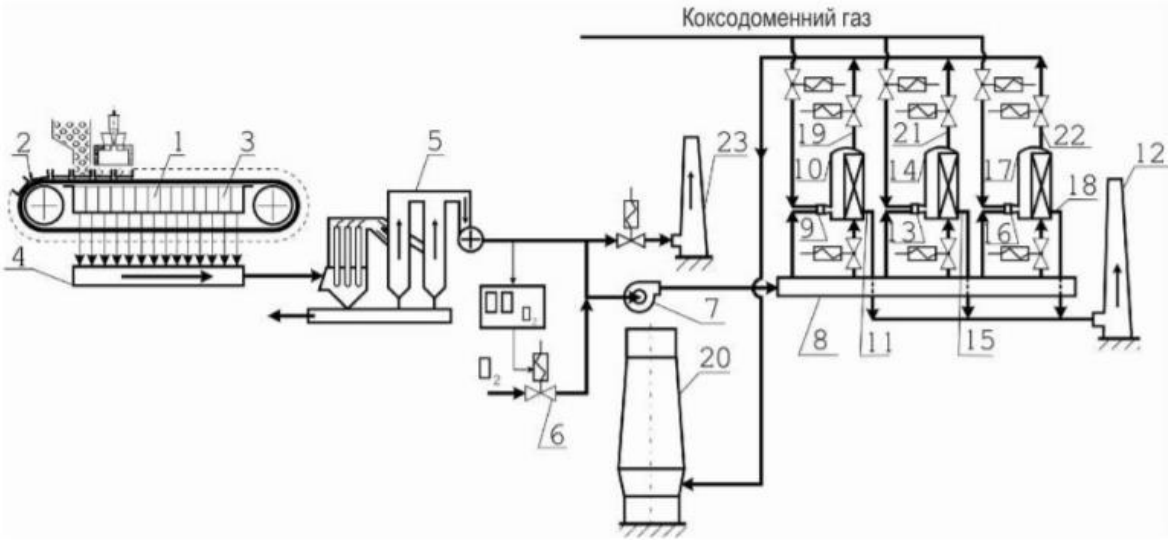
Можливі шляхи утилізації тепла відхідних газів агломераційних машин є одними з найбільш перспективних шляхів вдосконалення обладнання та підвищення ефективності роботи аглофабрики. На металургійних підприємствах з повним циклом доля агломераційного виробництва в загальній потребі палива складає 6 - 10 %. Головними напрямками зниження витрат палива є вдосконалення підготовки шихти та технологічного спікання, а також максимальне використання теплоти відхідних газів та гарячого агломерату. Теплоту повітря можна використовувати безпосередньо в технологічному процесі або на виробництві пару.

Одним зі способів використання тепла в технологічних цілях є підігрів за допомогою теплообмінника чистого вентиляційного повітря, яке потім подається в горн агломашини. Застосовуються схеми, як основані на

перехресному способі охолодження агломерату. Перспективними є схеми охолоджувачів протиточного типу, які характеризуються більш низькою витратою повітря та більш високою його температурою. За даними застосування підігрітого до 300°С повітря знижує витрату палива на 24% та підвищує продуктивність агломашини на 1,8%. Найбільшу увагу слід приділити відхідним газам із останніх вакуум-камер. Їх температура в середньому складає 300°С [4] .

Схема технології використання агломераційних відхідних газів у доменному виробництві (рис. 1.4). Відхідні агломераційні гази із зони спікання 1 агломераційної машини 2 відбирають одночасно нагрітим повітрям із зони охолодження. З цієї ж агломашини і подають на змішування у спільний колектор 4. Отриману суміш як окислювач палива подають на пилоочистку 5. Після пилоочищення її збагачують технічним киснем за допомогою системи автоматичного регулювання (САР) 6, далі доводять його вміст до 20-21 %, потім нагнітачем 7 подають у колектор 8, а з нього у – пальник 9 нагрівача повітря 10. У той самий пальник 9 подають газове паливо. Продукти згоряння проходять через насадку нагрівача повітря 10 і нагрівають її до температури 120-130°С протягом двох годин. Гази, що відходять, викидають через димохід 11 і димову трубу 12 в атмосферу.

Після того, як нагрівач повітря 10 відпрацює одну годину, подібним чином починають подавати відхідні агломераційні гази та паливо у пальник 13 нагрівача повітря 14. Продукти згоряння, що проходять через насадку цього ж нагрівача повітря 14, нагрівають її до температури 120-130°С також протягом двох годин. Гази, що відходять, викидають через димохід 15 та димову трубу 12 в атмосферу. Після двох годин нагрівання насадки нагрівача повітря 10 до температури 120-130°С починають подавати агломераційні гази і газове паливо у пальник 16 нагрівача повітря 17. Гази, що відходять, викидають через димохід 18 та димову трубу 12 в атмосферу[5].



1- зона спікання, 2 – агломераційна машина, 3 – зона охолодження, 4, 8 – колектор, 5- пилоочистка, 6 – система автоматичного регулювання, 7 – нагнітач, 9, 13, 16 – пальник, 10, 14, 17 – нагрівач повітря, 11, 15, 18, 19, 21, 22 – димохід, 12, 23 - димова труба, 20 – доменна піч

Рисунок 1.4 - Схема технології використання агломераційних відхідних газів у доменному виробництві

Для подовжених агломашин, призначених для спікання та охолодження агломерату, передбачається рециркуляція гарячого повітря з зони охолодження в зону спікання з метою утилізації тепла охолоджуючого повітря (рис. 1.5)

Для подовжених агломашин, які призначені для спікання та охолодження агломерату, з ціллю утилізації тепла охолоджуючого повітря передбачається рециркуляція гарячого повітря з зони охолодження в зону спікання (рис. 1.5) [4, 6].

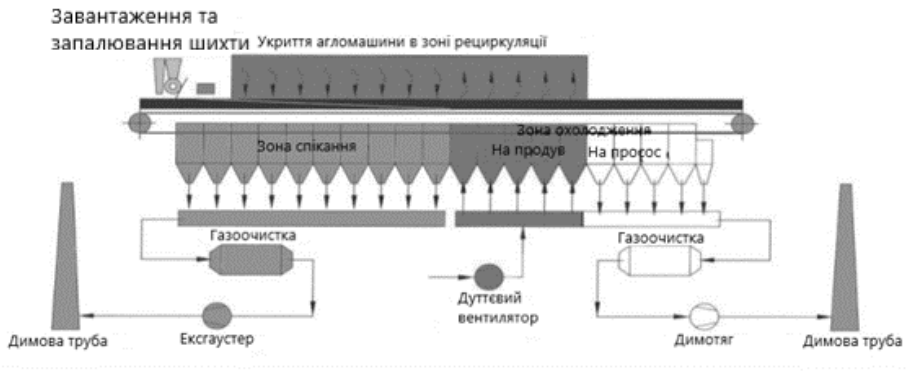


Рисунок 1.5 - Схема рециркуляції гарячого повітря з зони охолодження в зону спікання агломашини

У проєкті передбачено поділ існуючого газового колектора зони охолодження на дві частини. В одній частині зони охолодження через шар агломерату знизу догори продувається холодне повітря, яке в процесі проходження нагрівається до температури 400–500°С і потім засмоктується в зону спікання. Для цього агломашина, над зоною спікання та частиною зони охолодження, оснащена герметичним кожухом для продування. Інша частина зони охолодження працює за існуючою схемою на просос. Мета цієї схеми рециркуляції — зменшити витрати твердого палива в шихті та, як наслідок, знизити викиди CO, SO_2, NO_x в атмосферу на 4–5%.

Охолодження гарячого агломерату з температури 700–800°С до 100–150°С відбувається на окремому агрегаті — лінійному охолоджувачі. Для утилізації тепла охолоджуючого повітря в проєкті передбачена установка подачі гарячого повітря з температурою 300–350°С від першої дуттєвої камери охолоджувача під кожух агломашини. Система установки включає димосос, систему повітродувок, циклон та герметичне укриття агломашини (рис. 1.6) [4, 7].

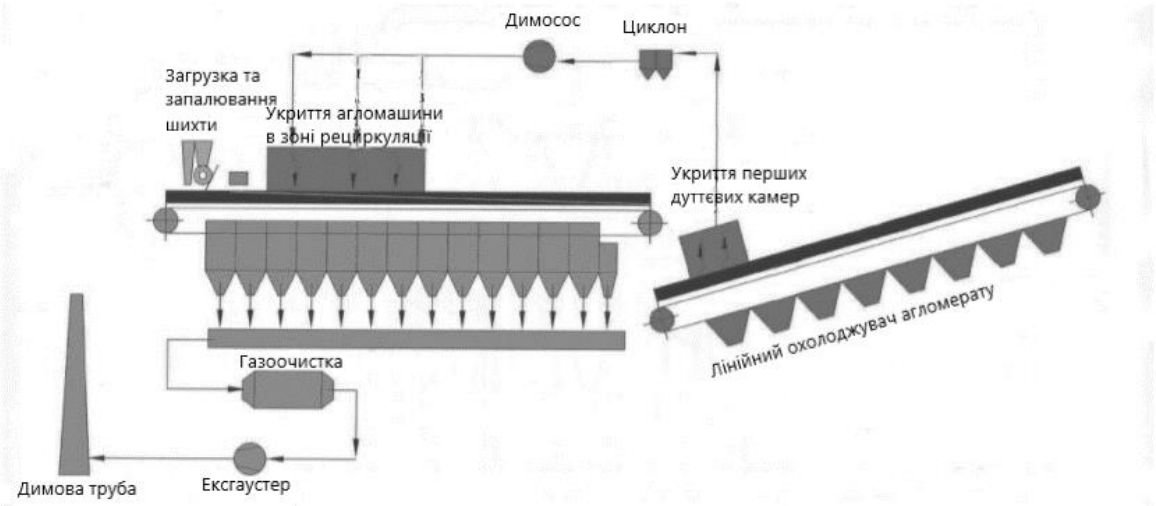


Рисунок 1.6 - Схема рециркуляції гарячого повітря від перших дуттєвих камер охолоджувача

Охолоджувач оснащений вісьмома дуттєвими вентиляторами, які продувають повітря через шар агломерату. Запилене повітря від перших двох дуттєвих камер відсмоктується аспіраційною установкою та піддається механічній очистці, тоді як повітря від інших шести камер викидається безпосередньо в атмосферу [6].

1.5. Аналіз та обґрунтування схем очищення

Для очистки технологічних газів агломашин існують сухі та мокрі схеми. Ефективними вважаються системи очистки агломераційних газів в які входять: електрофільтри, батарейні циклони з доочищенням у відцентрових скруберах Вентурі, труби Вентурі, циклони та блок з низьконапірних труб Вентурі [1].

При використанні мокрої схеми очищення в скруберах Вентурі виникають недоліки, які стосуються великих енерговитрат, громіздкого шламового господарства, важких умов роботи вентиляторів, адже вологий газ,

що проходить через лопаті сприяє налипанню на них пилу та викликає корозію газового тракту.

В свою чергу, сухі методи мають певні переваги. Вони не вимагають спорудження дорогих систем водопостачання і шламової каналізації, значно полегшується утилізація вловленого продукту, знижується корозійний знос устаткування і комунікацій, менше споживання електроенергії та кращі умови розсіювання шкідливих викидів в повітряний басейн.

Ступінь очистки від пилу газів від агломераційних машин в батарейних циклонах складає 60 – 70%, що є невисоким показником. У випадку застосування батарейних циклонів, через високу запиленість газів, що очищуються сильно зношується циклонні елементи, ротори ексгаустерів та спостерігаються великі підсоси повітря.

Двоступенева очистка, яка складається з батарейних циклонів (перша ступінь) та електрофільтра (друга ступінь) має ряд недоліків, серед яких, відділення в циклоні крупних часток, які мають низький питомий електричний опір, в результаті чого опір шару високодисперсного пилу на осаджувальних електродах підвищується до 10^{10} Ом·м, та електрофільтр працює в режимі інтенсивної зворотної корони. Товщина відкладень вискоомного пилу, що важко струшується, на осаджувальних електродах досягає 20 мм.

В зв’язку з цим найбільш доцільно застосування одноступеневу очистку в сухих горизонтальних електрофільтрів, ступінь очистки газів в котрих висока: залишкова запиленість газів 0,1 г/м3.

Для збору відхідних технологічних газів агломашини доцільно застосувати схему з спільним відводом газів із зони спікання та зони охолодження, так як пил який потраплятиме в електрофільтр має бути менш сепарованим.

Пропонується сухий спосіб очищення технологічних газів агломераційної машини, з площею спікання 50м^2 [6], в електрофільтрі типу ЕГА з рециркуляцією частини аглогазів в процес спікання (рис. 1.7).

Переваги сухої газоочистки в електрофільтрах є:

1) енерговитрати та трудові витрати при експлуатації електрофільтрів нижчі;

2) відсутнє водно-шламове господарство;

3) при очищенні в електрофільтрі відсутній виніс крапель, унаслідок чого підвищується термін служби газоходів, оскільки немає заростання і корозії труб;

4) опір сухих електрофільтрів невеликий;

6) покращуються умови роботи ексгаустера.

Впровадження рециркуляції газів на агломашині дозволить знизити викиди в атмосферу пилу та СО на 22-25%, зменшити витрату твердого палива на 2 – 3 кг/т агломерату, в результаті чого відбувається деяке зниження викидів SOx, NOx. Максимальна ступінь рециркуляції, при якій не накопичується волога та агломераційний процес можливий, складає 35,5 %.

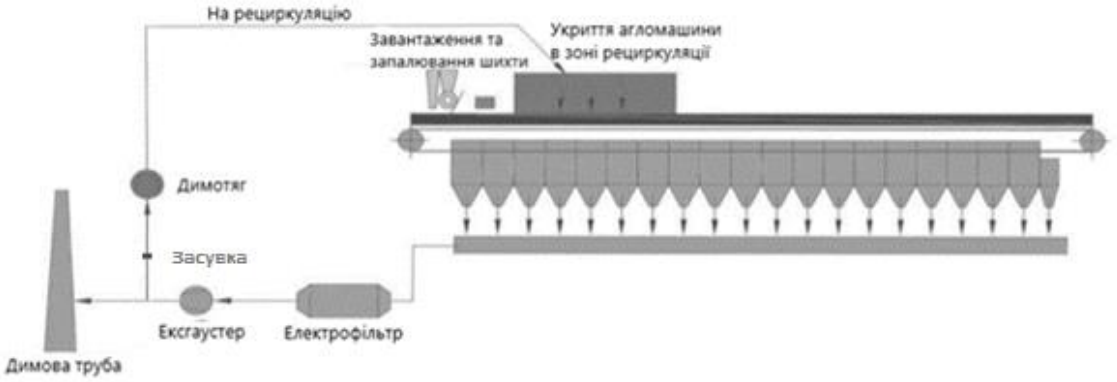


Рисунок 1.7 – Обрана схема очистки технологічних газів агломашини з утилізацією тепла агломерату

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЯ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

2.1 Розрахунок електрофільтру

Для очистки технологічних газів агломашини з початковою запиленністю 4 г/м^3, температурою 250°С, витратою – 200000 нм^3/год обрано електрофільтр.

Перераховуємо витрату газу за робочих умов, м^3/год:

$$Q_{\text{р.у.}} = Q_{\text{н.у.}} \cdot \frac{\rho_{\text{н.у.}}}{\rho_{\text{р.у.}}}, \tag{2.1}$$

де $Q_{\text{н.у.}}$ – витрата газу за нормальних умов, м^3/с;

$\rho_{\text{н.у}}$ – густина газу за нормальних умов, кг/м^3 [8];

$\rho_{\text{р.у}}$ –густина газу за робочих умов, кг/м^3.

$$\rho_{\text{н.у.}} = \frac{\text{M}_1 \cdot a_1 + \text{M}_2 \cdot a_2 \cdot \ldots \cdot \text{M}_n \cdot a_n}{100 \cdot 22{,}4}, \tag{2.2}$$

де $\text{M}_1, \text{M}_2 \ldots, \text{M}_n$ – молекулярні маси окремих компонентів газової суміші, кг/моль [8];

$a_1, a_2, \ldots, a_n$ – об’ємний вміст окремих компонентів газової суміші, %.

$$\rho_{\text{н.у.}} = \frac{73 \cdot 28{,}02 + 15 \cdot 32 + 0{,}96 \cdot 28{,}01 + 5 \cdot 44{,}01 + 6 \cdot 18{,}02 + 0{,}04 \cdot 64{,}066}{100 \cdot 22{,}4} =$$

$$= 1{,}287 \text{ кг/м}^3,$$

$$\rho_{\text{р.у.}} = \rho_{\text{н.у.}} \cdot \frac{273 \cdot (\text{B} \pm \text{P}_{\text{г}})}{(273 + t_{\text{г}}) \cdot 101325}, \tag{2.3}$$

де В – барометричний тиск, приймаємо 101 кПа;

$P_г$ – втрати тиску у газоході, приймаємо 10 кПа [9];

$t_г$ – температура газу;

273°С, 101 кПа – температура та тиск за нормальних умов.

$$\rho_{\text{р.у.}} = 1{,}287 \cdot \frac{273 \cdot (101 - 10)}{(273 + 250) \cdot 101{,}325} = 0{,}603 \text{ кг/м}^3,$$

$$Q_{\text{р.у.}} = 200000 \cdot \frac{1{,}287}{0{,}603} = 4266223{,}00 \text{ м}^3/\text{год} = 118{,}51 \text{ м}^3/\text{с}$$

Досвід експлуатації електрофільтрів показує, що в більшості випадків слід приймати швидкість газу W = 0,8...2,0 м/с [10]. Приймаємо швидкість газу рівною 1,25 м/с, тоді знаходимо необхідну площу активного перерізу електрофільтру, м^2:

$$S = \frac{V}{W}, \tag{2.4}$$

де W – швидкість газу в електрофільтрі, м/с;

V – обсяг газу за робочих умов, м^3/с.

$$S = \frac{118{,}51}{1{,}25} = 94{,}8 \text{ м}^2$$

Обираємо найбільш близьким за площею активного перетину електрофільтр типорозміру ЕГА1-40-9-6-2 з площею активного перетину 97,9 м та площею поверхні осаду 5650 м^2 [11, 12]

Тоді фактична швидкість газів у електрофільтрі м/с:

$$W = \frac{V}{n \cdot S}, \tag{2.5}$$

де n – кількість апаратів, n = 1 шт.

$$W = \frac{95,85}{1 \cdot 97,9} = 1,2 \text{ м/с}$$

Відношення густини газу, що очищується, за робочих умов до густини при стандартних умовах ($p_{СТ}$ = 101,3 кПа; $t_{СТ} = 20^0$ С):

$$\beta = \frac{(B \pm P_Г) \cdot (273 + t_{СТ})}{P_{СТ} \cdot (273 + t)}, \tag{2.6}$$

де P і $P_{СТ}$ – тиск відповідно газу; що очищають, і при стандартних умовах відповідно, кПа;

$t_{СТ}$ і t – температура відповідно при стандартних умовах і газу, що очищають, °С.

$$\beta = \frac{(101,3 - 10) \cdot (273 + 20)}{101,3 \cdot (273 + 250)} = 0,505$$

Критична напруженість електричного поля, В/м:

$$E_{кр} = 3,04 \cdot \left(\beta + 0.0311 \sqrt{\frac{\beta}{R_1}} \right) \cdot 10^6, \tag{2.7}$$

де R – радіус вістря коронуючого електрода; R_1 = 1 мм [10].

$$E_{кр} = 3,04 \cdot \left(0,505 + 0.0311 \sqrt{\frac{0,505}{0,001}} \right) \cdot 10^6 = 3,66 \cdot 10^6 \text{ В/м}$$

Критична напруга корони, В:

$$U_{KP} = E_{кр} \cdot R_1 \left(\frac{\pi H}{S_1} - 2{,}3 \lg \frac{2\pi R_1}{S_1} \right), \qquad (2.8)$$

де H – відстань між площинами коронуючих і осаджувальних електродів, м;

S_1 – крок електродів, м.

Для електрофільтрів типу ЕГА: $H = \frac{0{,}300}{2} = 0{,}15\ м$; $S_1 = 0{,}18\ м$ [11, 12].

$$U_{KP} = 3{,}66 \cdot 10^6 \cdot 0{,}001 \cdot \left(\frac{3{,}14 \cdot 0{,}15}{0{,}18} - 2{,}3 \cdot lg \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}001}{0{,}18} \right) = 21841{,}25\ B$$

$$= 22 \cdot 10^3\ мВ,$$

$$E = \left[\frac{8\pi f H U (U - U_{кр})}{9 \cdot 10^9 \cdot \varepsilon_0 \cdot S_1^3 \left(\frac{\pi H}{S_1} - 2{,}3 \lg \frac{2\pi R_1}{S_1} \right)} \right]^{0{,}5}, \qquad (2.8)$$

де f – коефіцієнт, що залежить від відношення H/S_1, при

$H/S_1 = 0{,}300/(2 \cdot 0{,}18) = 0{,}833$, $f = 0{,}0423$ [11, 12].;

U – середнє значення робочої напруги знаходиться в межах від 60 кВ до 100 кВ [9], приймаємо U = 60 кВ;

ε_0 – діелектрична стала вакууму, ε_0 = 8,85·10^{-12} Ф/м [10].

$$E = \left[\frac{8 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}0423 \cdot 0{,}15 \cdot 60(60 - 22)}{9 \cdot 10^9 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 0{,}18^3 \left(3{,}14 * 0{,}833 - \lg \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}001}{0{,}18} \right)} \right]^{0{,}5} = 1{,}31 \cdot 10^5\ B/м$$

Динамічний коефіцієнт в'язкості газу:

$$\mu_i = \mu_0 \frac{273 + C^{|}}{T + C^{|}} \cdot \left(\frac{T}{273} \right)^{1,5}, \qquad (2.10)$$

де μ_0 – динамічні в’язкості окремого компонента газової суміші при нормальних умовах, Па·с [8];

C_1' - стала Сезерленда [8].

Динамічна в’язкість окремих компонентів газової суміші при робочих умовах представлена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 Динамічна в’язкість окремих компонентів газової суміші

Газовий склад	μ, ПА·с
N2	$6{,}202 \cdot 10^{-5}$
O2	$7{,}592 \cdot 10^{-5}$
CO	$4{,}691 \cdot 10^{-5}$
CO2	$3{,}244 \cdot 10^{-5}$
H2O	$4{,}026 \cdot 10^{-5}$
SO2	$3{,}213 \cdot 10^{-5}$

Відносна молекулярна маса газу, кг/моль:

$$M = \Sigma a_i \cdot M_i, \qquad (2.11)$$

де M_i – молекулярна маса окремого компонента газової суміші, моль [8];

a_i - об’ємний зміст окремих компонентів газової суміші, долі.

$$M = 0{,}73 \cdot 28 + 0{,}15 \cdot 32 + 0{,}0096 \cdot 28 + 0{,}05 \cdot 44 + 0{,}06 \cdot 18 + 0{,}0004 \cdot 64 =$$
$$= 28{,}8144 \text{ кг/моль}$$

В'язкість газової суміші визначаємо з виразу, Па·с:

$$\frac{\mathrm{M}}{\mu}=\sum\frac{\mathrm{M_i}}{\mu_i}=\frac{0{,}73\cdot 28}{6{,}202\cdot 10^{-5}}+\frac{0{,}15\cdot 32}{7{,}59\cdot 10^{-5}}+\frac{0{,}0096\cdot 28}{4{,}69\cdot 10^{-5}}+\frac{0{,}05\cdot 44}{3{,}24\cdot 10^{-5}}+\frac{0{,}06\cdot 18}{4{,}03\cdot 10^{-5}}+\frac{0{,}0004\cdot 64}{3{,}21\cdot 10^{-5}}==4{,}94\cdot 10^{5},$$

$$\mu=\frac{M}{4{,}94\cdot 10^{5}}=\frac{28{,}8144}{4{,}94\cdot 10^{5}}=58{,}33\cdot 10^{-6}\ \text{Па}\cdot\text{с}$$

Визначаємо швидкість дрейфу частинок пилу в електричному полі, м/с:

- при розмірі частинок більше 1 мкм:

$$\omega=\frac{0{,}118\cdot 10^{-10}\cdot E^{2}}{\mu}\cdot r, \qquad (2.12)$$

де r – еквівалентний радіус частинки пилу, м.

$$\omega=\frac{0{,}118\cdot 10^{-10}(1{,}31\cdot 10^{5})^{2}}{58{,}33\cdot 10^{-6}}\cdot r=3{,}51\cdot 10^{3}\cdot r$$

В таблиці 2.2 наведено дисперсний склад пилу та швидкість дрейфу частинок відповідно до їх діаметру.

Таблиця 2.2 – Дисперсний склад пилу

Розмір частинок, мкм	0-30	30-63	63-100	100-400	більше 400
Середній розмір частинок, мкм	15	47	82	250	400
Масова частка,%	20	34	27	14	5
Швидкість дрейфу пилу, м/с	0,05258	0,16476	0,28747	0,87643	1,40229

Питома поверхня осадження:

$$f = \frac{n \cdot S}{V} = \frac{1 \cdot 5650}{97,9} = 57,71$$

де n – кількість апаратів, шт.;

S – загальна площа осадження, м^2.

Фракційний коефіцієнт очистки:

$$\eta_i = 1 - e^{-f\omega_{Дрі}}, \quad (2.13)$$

де $\omega_{Дрі}$ – швидкість дрейфу частинок певного розміру м/с.

Фракційний коефіцієнт очистки представлено в табл. 2.3.

Кінцева запиленість, г/м^3:

$$z_к = z_н \cdot \sum b_i.\left(1 - \omega_{Др\,i}\right), \quad (2.14)$$

де b_i - масова доля часток певного розміру, долі;

$z_н$ – початкова запиленість газу, г/м.

Таблиця 2.3 – Фракційний коефіцієнт очистки

Розмір частинок, мкм	Розмір частинок, мкм	Масова доля,%	Фактичний коефіцієнт очистки по фракціям
0-30	15	20	0,982515705
30-63	47	34	0,999926275
63-100	82	27	0,999999938
100-400	250	14	1
Більше 400	400	5	1

$$z_к = 4 \cdot \big(0{,}2 \cdot (1 - 0{,}982515705) + 0{,}34 \cdot (1 - 0{,}999926275) + 0{,}27 \cdot\cdot (1 - 0{,}999999938) + 0{,}14 \cdot (1 - 1) + 0{,}05 \cdot (1 - 1)\big) = 0{,}01 \text{ г/м}^3$$

Ефективність роботи ЕГА1-40-9-6-2, %:

$$\eta = \frac{z_н - z_к}{z_н} \cdot 100\ \%, \qquad (2.15)$$

$$\eta = \frac{4 - 0{,}01}{4} \cdot 100 = 99{,}75\%$$

2.2 Підбір апарату живлення

Ефективність електрофільтру в значній мірі визначається роботою агрегату живлення.

Вибір апарату виробляють за силою випрямленого струму, що вимагається:

$$I = L \cdot i_0, \qquad (2.16)$$

де L – сумарна активність довжини коронуючих електродів, які живляться від одного агрегату, м;

i_0 – лінійна щільність струму, мА/м.

$$i_0 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot k \cdot f}{9 \cdot 10^{10} \cdot d^2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot H}{S} - 2{,}3 \cdot \log\frac{2 \cdot \pi \cdot R}{S}\right)} \cdot U \cdot \left(U - U_{кр}\right), \qquad (2.17)$$

де k – рухомість іонів в газах, К=2,10·10^{-4} м^2/(В·с) [10];

R – радіус коронуючого електроду, R = 0,1 м[10].

$$i_0 = \frac{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 2{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot}{9 \cdot 10^{10} \cdot d^2 \cdot \left(\frac{3{,}14 \cdot 300}{0{,}18 \cdot 2} - 2{,}3 \cdot \log\frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}1}{0{,}18}\right)} \cdot 60 \cdot (60 - 22) =$$

$$= 2 \cdot 10^{-4} \text{мА/м},$$

$$L = l \cdot n_{\text{д}} \cdot n_{\text{ш}} \qquad (2.18)$$

де l– номінальна висота електродів, $l = 9$ м [11, 12];

$n_{\text{д}}$ – кількість рядів по довжині одного поля,;

$n_{\text{ш}}$ – кількість рядів по ширині, 40 [11, 12];

$$n_{\text{д}} = \left(\frac{L_2}{S} + 1\right) \cdot n \qquad (2.19)$$

де L_2- довжина одного поля електрофільтру, L_2=4180 мм [11, 12];

S – крок коронуючих електродів в ряду, S=180 мм[11, 12],

n – кількість проходів, 40 [11, 12].

$$n_{\text{д}} = \left(\frac{4180}{180} + 1\right) \cdot 40 = 1000;$$

де B_1- ширина електрофільтру, B_1=6100 мм [11, 12];

H_1 – відстань між сусідніми осаджуючими електродами, H_1=300 мм [11, 12].

$$L = 9000 \cdot 1000 \ = 9000000 \text{ мм},$$

$$I = 9000000 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 1800 \text{ мА}$$

Повна потужність, що споживається електрофільтром:

$$N = \left(\frac{U_{\text{а}} \cdot I_{\text{ср}} \cdot K_{\text{ф}} \cdot \cos\varphi}{1{,}41 \cdot \eta}\right) + N_1, \qquad (2.20)$$

де U_a – амплітудне значення, U_a=60 кВ [10, 11, 12];

$I_{ср}$ – середня сила струму корони, $I_{ср}$=1,8 А [10, 11, 12];

$К_ф$ – коефіцієнт форми випрямленого струму, Кф=1,2 [10, 11, 12];

η – коефіцієнт корисної дії агрегату, η=0,94 [10, 11, 12];

cos φ коефіцієнт потужності, cosφ=0,83 [10, 11, 12];

N_1 – потужність, яка споживається механізмами струшування та обігрівом ізоляторних коробок, N_1=2000 Вт [10, 11, 12].

$$N = \left(\frac{60 \cdot 10^3 \cdot 1{,}8 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}83}{1{,}41 \cdot 0{,}94}\right) + 2000 = 83158\text{Вт} = 83\ \text{кВт}$$

За величиною випрямленого струму та споживаної потужності для одного поля обираємо агрегат живлення серії АТПОМ-160 [10, 11, 12], так як полів два, то потрібно 2 агрегати живлення.

2.3 Аеродинамічний розрахунок газового тракту

Газовий тракт в системі очистки газів агломераційного виробництва включає 1 електрофільтр, 1 ексгаустер та 1 вентилятор.

Умовно розділимо газовий тракт на наступні ділянки: 1 ділянка: колектор; 2 ділянка: колектор – електрофільтр; 3 ділянка: електрофільтр – ексгаустер; 4 ділянка: ексгаустер – розділення потоків; 5 ділянка: розділення – димова труба; 6 ділянка: розділення потоку на повернення – розділення потоку на агломашину; 7 – I розділення потоку на агломашину – II розділення потоку на агломашину; 8 – II розділення потоку на агломашину – III розділення потоку на агломашину; 9 – III розділення потоку на агломашину – IV розділення потоку на агломашину. Довжини ланок вказані в табл. 2.4.

Вихідні данні взяті з розділу 2.1:

Витрата газів за робочих умов:

$Q_{\text{р}} = 4266223{,}00$ м^3/год;

$q_{\text{р}} = 118{,}51$ м^3/с;

Температура газів до очистки: $t_{\text{р}} = 250$°С;

Барометричний тиск: В = 101 кПа;

Тиск після агломераційної печі: Р = - 10 кПа;

Густина газів за робочих умов після печі: $\rho_1 = 0{,}603$ кг/м^3;

Гідравлічний опір електрофільтра: $\Delta P_{еф}$ = 0,25 кПа.

Розраховуємо опір колектору початкової ланки газоходу (l_1).

Розрахуємо діаметр трубопроводу, м:

$$d_l = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{q_{\text{р}}}{W}}, \qquad (2.21)$$

де W – швидкість газу в колекторі, знаходитись в межах до 10 м/с. Приймаємо 9 м/с [9].

$$d_1 = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{118{,}51}{9}} = 4{,}1 \text{ м}$$

Таблиця 2.4 – Довжини ланок газоходу

Умовне позначення ланки	Довжина, м
l_1	25
l_2	25
l_3	21,564
l_4	8,93
l_5	10,705
l_6	92,538
l_7	4,225
l_8	4,225
l_9	4,225

Приймаємо діаметр колектора 4,1 метри [9]. Після колектору встановлюємо конфузор для переходу до цієї ділянки.

Перераховуємо робочу швидкість газу в колекторі м/с:

$$W_l = 1{,}27 \cdot \frac{q_{\text{р}}}{d_1^2}, \tag{2.22}$$

$$W_1 = 1{,}27 \cdot \frac{118{,}51}{4{,}1^2} = 8{,}95 \text{ м/с}$$

Знаходимо коефіцієнт гідравлічного тертя для ділянки:

$$\lambda_l = \frac{0{,}0348}{\sqrt[4]{d_1}}, \tag{2.23}$$

$$\lambda_1 = \frac{0{,}0348}{\sqrt[4]{4{,}1}} = 0{,}024$$

Знаходимо опір тертя, Па:

$$\Delta \text{P}_l = \lambda \cdot \frac{l_{\text{і}}}{d_{\text{і}}} \cdot \frac{W^2}{2} \cdot \rho_{\text{і}}, \tag{2.24}$$

$$\Delta \text{P}_{l1} = 0{,}024 \cdot \frac{25}{4{,}1} \cdot \frac{8{,}95^2}{2} \cdot 0{,}603 = 3{,}61 \text{ Па}$$

Приймаємо $\Delta \text{P}_{l1} = 4$ Па.

Розраховуємо суму місцевих опорів на ділянці (l_1).

Місцеві опори: зміна діаметру, при переході з колектору в трубопровід, за допомогою конфузору та опір агломераційної машини.

Місцевий опір, Па:

$$\Delta \text{P}_{\text{м}l} = \left(\sum \zeta\right) \cdot \frac{W_l^2}{2} \cdot \rho_1, \tag{2.25}$$

де ζ – коефіцієнти місцевих опорів.

Для з'єднання трубопроводів різних діаметрів передбачається конфузор з кутом звуження 40º. $\zeta_{\text{конф}} = 0{,}1$ [13].

Тоді місцевий опір на ділянці l_1 буде дорівнювати:

$$\Delta P_{\text{м}l1} = 0{,}1 \cdot \frac{8{,}95^2}{2} \cdot 0{,}603 = 2{,}42 \text{ Па}$$

Приймаємо $\Delta P_{\text{м}l1} = 3 + 10000 = 10003$ Па.

Аналогічно розраховуємо опір трубопроводу на другій ділянці.

Швидкість газу має знаходитись в межах 15 – 20 м/с. Приймаємо 18 м/с [10, 14].

Розрахуємо діаметр трубопроводу за формулою (2.21):

$$d_2 = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{118{,}51}{18}} = 2{,}899 \text{ м}$$

Приймаємо стандартний діаметр – 2,8 м [13].

Перераховуємо робочу швидкість газу в трубопроводі за формулою (2.22):

$$W_2 = 1{,}287 \cdot \frac{118{,}51}{2{,}8^2} = 19{,}2 \text{ м/с}$$

Знаходимо коефіцієнт гідравлічного тертя для ділянки за формулою (2.23):

$$\lambda_2 = \frac{0{,}0348}{\sqrt[4]{2{,}8}} = 0{,}027$$

Знаходимо опір тертя за формулою (2.19):

$$\Delta P_{l2} = 0{,}027 \cdot \frac{25}{2{,}8} \cdot \frac{19{,}2^2}{2} \cdot 0{,}603 = 26{,}71 \text{ Па}$$

Приймаємо $\Delta P = 27$ Па.

Місцеві опори на другій ділянці (l_1) раптове розширення та раптове звуження при вході та виході газу з електрофільтру, відповідно, $\zeta_{\text{р.р.}} = 0{,}01, \zeta_{\text{р.зв.}} = 0{,}1$ [13].

Тоді місцевий опір на ділянці l_2 буде дорівнювати:

$$\Delta P_{мl2} = (0{,}1 + 0{,}01) \cdot \frac{19{,}2^2}{2} \cdot 0{,}603 = 12{,}38 \text{ Па}$$

Приймаємо $\Delta P_{мl2} = 13$Па.

Розраховуємо спільний опір тертя трубопроводу на ділянках (l_{1-2}).

$$\Delta P_{1-2} = 10003 + 27 + 13 = 10043\text{Па}$$

Перераховуємо густину після електрофільтру за формулою (2.3) враховуючи місцеві опори та опори по довжині:

$$\rho_2 = 1{,}337 \cdot \frac{273 \cdot (101 - 10{,}043)}{(273 + 230) \cdot 101{,}325} = 0{,}63 \text{ кг/м}^3$$

Тоді витрата газу буде дорівнювати за формулою (2.6):

$$Q_2 = 118{,}5 \cdot \frac{0{,}603}{0{,}63} = 114{,}03 \text{ м}^3/\text{год}$$

Аналогічно розраховуємо опір на ділянці (l_3).

Розрахуємо діаметр трубопроводу за формулою (2.21):

$$d_3 = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{114{,}03}{18}} = 2{,}844 \text{ м}$$

Приймаємо стандартний діаметр – 2,8 м.

Перераховуємо робочу швидкість газу в трубопроводі за формулою (2.22):

$$W_3 = 1{,}27 \cdot \frac{114{,}03}{2{,}8^2} = 18{,}47 \text{ м/с}$$

Знаходимо коефіцієнт гідравлічного тертя для ділянки за формулою (2.23):

$$\lambda_3 = \frac{0{,}0348}{\sqrt[4]{2{,}8}} = 0{,}027$$

Знаходимо опір тертя за формулою (2.24):

$$\Delta P_{l3} = 0{,}027 \cdot \frac{21{,}564}{2{,}8} \cdot \frac{18{,}47^2}{2} \cdot 0{,}63 = 22{,}16 \text{ Па}$$

Приймаємо $\Delta P_{l3} = 23$ Па.

Місцеві опори четвертої ділянки: 2 повороти на 90°.

Коефіцієнт опору повороту на 90°[13]:

$$\zeta_{90^\circ} = 0{,}19 \cdot \frac{d}{R} \qquad (2.26)$$

Приймаємо співвідношення діаметру та радіусу трубопроводу завжди рівним 1. Тобто, $\frac{d}{R} = 1$.

$$\zeta_{90^\circ} = 0{,}19 \cdot 1 = 0{,}19$$

Тоді місцевий опір на ділянці l_3 буде дорівнювати:

$$\Delta P_{мl3} = 0{,}19 \cdot 2 \cdot \frac{18{,}47^2}{2} \cdot 0{,}63 = 40{,}65 \text{ Па}$$

Приймаємо $\Delta P_{мl3} = 41$ Па.

Розраховуємо загальний опір на ділянці (l_3):

$$\Delta P_3 = 23 + 41 = 64 \text{ Па}$$

Розрахуємо діаметр трубопроводу на ділянці чотири за формулою (2.21):

$$d_4 = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{114{,}03}{18}} = 2{,}686 \text{ м}$$

Приймаємо стандартний діаметр – 2,8 м.

Перераховуємо робочу швидкість газу в трубопроводі за формулою (2.22):

$$W_4 = 1{,}27 \cdot \frac{114{,}03}{2{,}8^2} = 16{,}47 \text{ м/с}$$

Знаходимо коефіцієнт гідравлічного тертя для ділянки за формулою (2.23):

$$\lambda_4 = \frac{0{,}0348}{\sqrt[4]{2{,}8}} = 0{,}027$$

Знаходимо опір тертя за формулою (2.24):

$$\Delta P_{l4} = 0{,}027 \cdot \frac{9}{2{,}8} \cdot \frac{16{,}47^2}{2} \cdot 0{,}63 = 7{,}30 \text{ Па}$$

Приймаємо $\Delta P_{l4} = 8$ Па.

На четвертій ділянці місцевим опором є розгалуження трубопроводу зі зміною діаметрів, $\zeta_{\text{р.т.}} = 2{,}1$ [13]. Тоді місцевий опір на ділянці l_4 буде дорівнювати:

$$\Delta P_{\text{м}l4} = 2{,}1 \cdot \frac{16{,}47^2}{2} \cdot 0{,}63 = 178{,}64 \text{ Па}$$

Приймаємо $\Delta P_{\text{м}l4} = 179$ Па.

Розраховуємо загальний опір на ділянці (l_4):

$$\Delta P_4 = 8 + 179 = 187 \text{ Па}$$

Розраховуємо загальний опір на ділянках (l_{1-4}):

$$\Delta P_{1-4} = 10043 + 187 + 64 = 10294 \text{ Па}$$

Перераховуємо густину та витрату газів на шостій – дев’ятій ділянках, так як вони знаходяться під тиском, на відміну від попередніх, що були під розрідженням. Необхідно перерахувати витрату газу. Припускаємо, що тиск у газоході не відрізняється від атмосферного, тобто Р = 1 кПа.

Перераховуємо густину за формулою (2.3):

$$\rho_3 = 1{,}287 \cdot \frac{273 \cdot (101 + 1)}{(273 + 230) \cdot 101{,}325} = 0{,}703 \text{ кг/м}^3$$

Тоді витрата газу буде дорівнювати за формулою (2.1):

$$Q_3 = Q_2 \cdot \frac{0{,}7}{0{,}627} = 101{,}68 \text{ м}^3/\text{с}$$

Враховуємо, що газовий потік на цій ділянці складає – 64,5%, так як інша частина йде на повернення в агломашину.

$$Q_{\text{зал}} = 101{,}68 \cdot 0{,}645 = 65{,}58 \text{ м}^3/\text{с}$$

Розрахуємо діаметр трубопроводу за формулою (2.21):

$$d_5 = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{65{,}59}{18}} = 2{,}15 \text{ м}$$

Приймаємо стандартний діаметр – 2,2 м.

Перераховуємо робочу швидкість газу в трубопроводі за формулою (2.22):

$$W_5 = 1{,}27 \cdot \frac{65{,}59}{2{,}2^2} = 17{,}21 \text{ м/с}$$

Знаходимо коефіцієнт гідравлічного тертя для ділянки за формулою (2.23):

$$\lambda_5 = \frac{0{,}0348}{\sqrt[4]{2{,}2}} = 0{,}029$$

Знаходимо опір тертя за формулою (2.24):

$$\Delta P_{l5} = 0{,}029 \cdot \frac{10{,}75}{2{,}2} \cdot \frac{17{,}21^2}{2} \cdot 0{,}703 = 14{,}48 \text{ Па}$$

Приймаємо $\Delta P_{l5} = 15$ Па.

На п’ятій ділянці місцевим опором є поворот 60° та вихід газу у димову трубу, $\zeta_{д.т} = 0{,}07$ [13]. Тоді місцевий опір на ділянці l_5 буде дорівнювати:

$$\Delta P_{м5} = (0{,}152 + 0{,}07) \cdot \frac{17{,}21^2}{2} \cdot 0{,}703 = 23{,}12 \text{ Па}$$

Приймаємо $\Delta P_{м5} = 24$ Па.

Розраховуємо загальний опір на ділянці (l_6):

$$\Delta P_5 = 15 + 24 = 39 \text{ Па}$$

Розраховуємо опір ділянки (l_6)

Враховуємо, що на шостій ділянці тільки 35,5 % від витрати газу повертається в агломашину.

$$Q_{пов} = 101{,}68 \cdot 0{,}355 = 36{,}1 \text{ м}^3/\text{с}$$

Розрахуємо діаметр трубопроводу за формулою (2.21):

$$d_6 = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{36{,}1}{18}} = 1{,}6 \text{ м}$$

Приймаємо стандартний діаметр – 1,6 м.

Перераховуємо робочу швидкість газу в трубопроводі за формулою (2.21):

$$W_6 = 1{,}27 \cdot \frac{36{,}1}{1{,}6^2} = 17{,}91 \text{ м/с}$$

Знаходимо коефіцієнт гідравлічного тертя для ділянки за формулою (2.23):

$$\lambda_6 = \frac{0{,}0348}{\sqrt[4]{1{,}6}} = 0{,}031$$

Знаходимо опір тертя за формулою (2.24):

$$\Delta P_{l6} = 0{,}031 \cdot \frac{92{,}538}{1{,}6} \cdot \frac{17{,}91^2}{2} \cdot 0{,}703 = 201{,}79 \text{ Па}$$

Приймаємо $\Delta P_{l6} = 202$ Па.

На шостій ділянці місцевим опором є конфузор, три повороти 90° та засувка, $\zeta_{з.} = 0{,}06$ [13]. Тоді місцевий опір на ділянці l_6 буде дорівнювати:

$$\Delta P_{м6} = (0{,}19 \cdot 3 + 0{,}06 + 0{,}1) \cdot \frac{17{,}91^2}{2} \cdot 0{,}703 = 82{,}31 \text{ Па}$$

Приймаємо $\Delta P_{м6} = 83$ Па.

Загальний опір ділянки (l_6):

$$\Delta P_6 = 201 + 83 = 284 \text{ Па}$$

Розрахуємо діаметр трубопроводу на сьомій ланці, враховуючи, що чверть потоку газу йде в агломашину, за формулою (2.21):

$$d_7 = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{36{,}1 \cdot 3/4}{20}} = 1{,}31 \text{ м}$$

Приймаємо стандартний діаметр – 1,3 м.

Перераховуємо робочу швидкість газу в трубопроводі за формулою (2.21):

$$W_7 = 1{,}27 \cdot \frac{36{,}1 \cdot 3/4}{1{,}3^2} = 20{,}34 \text{ м/с}$$

Знаходимо коефіцієнт гідравлічного тертя для ділянки за формулою (2.23):

$$\lambda_7 = \frac{0{,}0348}{\sqrt[4]{1{,}3}} = 0{,}03$$

Знаходимо опір тертя за формулою (2.24):

$$\Delta P_{l7} = 0{,}03 \cdot \frac{4{,}225}{1{,}3} \cdot \frac{20{,}34^2}{2} \cdot 0{,}703 = 15{,}42 \text{ Па}$$

Приймаємо $\Delta P_{l6} = 16$ Па.

На сьомій ділянці місцевим опором є конфузор та розділення потоку [10]. Тоді місцевий опір на ділянці l_7 буде дорівнювати:

$$\Delta P_{м7} = (1{,}6 + 0{,}1) \cdot \frac{20{,}34^2}{2} \cdot 0{,}703 = 247{,}1 \text{ Па}$$

Приймаємо $\Delta P_{м6} = 248$ Па.

Загальний опір ділянки (l_6):

$$\Delta P_7 = 248 + 16 = 264 \text{ Па}$$

Розрахуємо діаметр трубопроводу на восьмій ланці, враховуючи на розділення потоку навпіл, за формулою (2.21):

$$d_8 = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{36{,}1}{18 \cdot 2}} = 1{,}13 \text{ м}$$

Приймаємо стандартний діаметр – 1,0 м.

Перераховуємо робочу швидкість газу в трубопроводі за формулою (2.21):

$$W_8 = 1{,}27 \cdot \frac{36{,}1}{1{,}6^2 \cdot 2} = 22{,}92 \text{ м/с}$$

Знаходимо коефіцієнт гідравлічного тертя для ділянки за формулою (2.23):

$$\lambda_8 = \frac{0{,}0348}{\sqrt[4]{1{,}0}} = 0{,}035$$

Знаходимо опір тертя за формулою (2.24):

$$\Delta P_{l8} = 0{,}035 \cdot \frac{4{,}225}{1{,}6} \cdot \frac{17{,}91^2}{2} \cdot 0{,}703 = 27{,}16 \text{ Па}$$

Приймаємо $\Delta P_{l8} = 28$ Па.

На восьмій ділянці місцевим опором є конфузор та розгалуження потоку[10]. Тоді місцевий опір на ділянці l_8 буде дорівнювати:

$$\Delta P_{м8} = (2{,}1 + 0{,}1) \cdot \frac{22{,}92^2}{2} \cdot 0{,}703 = 406{,}43 \text{ Па}$$

Приймаємо $\Delta P_{м8} = 407$ Па.

Загальний опір ділянки (l_8):

$$\Delta P_8 = 407 + 28 = 435 \text{ Па}$$

Розрахуємо діаметр трубопроводу на дев'ятій ланці, враховуючи, що витрата складає чверть потоку газу, за формулою (2.21):

$$d_9 = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{36{,}1}{18 \cdot 4}} = 0{,}8 \text{ м}$$

Приймаємо стандартний діаметр – 0,7 м.

Перераховуємо робочу швидкість газу в трубопроводі за формулою (2.21):

$$W_9 = 1{,}27 \cdot \frac{36{,}1}{0{,}7^2 \cdot 4} = 23{,}39 \text{ м/с}$$

Знаходимо коефіцієнт гідравлічного тертя для ділянки за формулою (2.23):

$$\lambda_9 = \frac{0{,}0348}{\sqrt[4]{0{,}7}} = 0{,}038$$

Знаходимо опір тертя за формулою (2.24):

$$\Delta P_{l9} = 0{,}038 \cdot \frac{4{,}225}{1{,}6} \cdot \frac{23{,}39^2}{2} \cdot 0{,}703 = 44{,}17 \text{ Па}$$

Приймаємо $\Delta P_{l9} = 45$ Па.

На шостій ділянці місцевим опором є конфузор та розгалуження потоку[13]. Тоді місцевий опір на ділянці l_9 буде дорівнювати:

$$\Delta P_{м9} = (2{,}1 + 0{,}1) \cdot \frac{22{,}92^2}{2} \cdot 0{,}703 = 692{,}48 \text{ Па}$$

Приймаємо $\Delta P_{м9} = 693$ Па.

Загальний опір ділянки (l_6):

$$\Delta P_9 = 45 + 693 = 738 \text{ Па}$$

Розраховуємо загальний опір на трубопроводу, ділянок шостої – дев'ятої:

$$\Delta P_{6-9} = 738+435+264+284 = 1721 \text{ Па}$$

2.4 Підбір тягодуттєвого обладнання

Тягодуттєве обладнання підбирають на основі аеродинамічного розрахунку газового тракту, що відводить. Обираємо ексгаустер Н6500-11-4, характеристика представлена в табл. 2.5. Продуктивність димососу приймають з запасом 10% по відношенню до розрахованої кількості газів на вході в димотяг с урахуванням притягу повітря по газовому тракту, що відводить, незалежно від температури газів, проте з поправкою на барометричний тиск[11, 12].

Таблиця 2.5 – Характеристики ексгаустеру Н6500-11-4

Параметри	Значення
Об’ємна продуктивність, м^3/с	108
Потужність двигуна, кВт	1600
ККД,%	83
Температура газу, °С	150
Тиск, Па	12450

Розрахуємо продуктивність ексгаустеру за формулою, м^3/с:

$$V_{д} = \frac{1{,}1 \cdot Q_{i} \cdot 101{,}3}{В}, \tag{2.27}$$

$$V_{д1} = \frac{1{,}1 \cdot 114{,}03 \cdot 101{,}3}{101} = 125{,}86 \text{ м}^3/\text{с}$$

Тиск, що створюється ексгаустер, приведене до умов каталогу, згідно якому підбирається ексгаустер:

$$\Delta p_{кат} = 1{,}2 \cdot Р_{i} \cdot К \tag{2.28}$$

де 1,2 – коефіцієнт запасу;

Р - сумарний опір газового тракту перед димотягом (обчислений у п. 2.1);

К – коефіцієнт перерахунку.

$$К = \frac{(273 + Т_{г}) \cdot 101{,}3 \cdot \rho_{0г}}{(273 + Т_{кат}) \cdot В \cdot \rho_{0п}} \tag{2.29}$$

де $Т_г$ - температура газу перед димососом, °С;

$Т_{кат}$ - температура, до якої віднесені дані з каталогу, °С;

$\rho_{0г}$ та $\rho_{0п}$ - густина, відповідно газу та повітря при н.у. кг/м^3.

Обчислюємо:

$$К_1 = \frac{(273 + 230) \cdot 101{,}3 \cdot 1{,}29}{(273 + 150) \cdot 101 \cdot 1{,}189} = 1{,}2$$

Підставляємо отримане значення *К* до формули (2.28):

$$\Delta р_{кат1} = 1{,}2 \cdot 10294 \cdot 1{,}2 = 14823{,}36 \text{ Па}$$

Потужність, що споживається димотягом, кВт:

$$N = \frac{N_{кат}}{К}, \qquad (2.30)$$

де $N_{кат}$ – значення потужності з каталогу, кВт.

$$N = \frac{1600}{0{,}81} = 1975{,}31 \text{ кВт}$$

Для повернення газу в агломашину обираємо ВДГ-20, відцентровий вентилятор гарячого дуття, характеристика представлена в табл. 2.6 [15]. Продуктивність вентилятору приймають з запасом 10% по відношенню до розрахованої кількості газів на вході в вентилятор з урахуванням притягу повітря по газовому тракту, що відводить, незалежно від температури газів, проте з поправкою на барометричний тиск.

Таблиця 2.6 – Характеристики вентилятора ВДГ-20

Параметри	Значення
Об’ємна продуктивність, м^3/с	42,78
Потужність двигуна, кВт	75
ККД,%	72
Температура газу, °С	400
Тиск, Па	2906

Розрахуємо продуктивність вентилятору для повернення газу в агломашину за формулою (2.27):

$$V_{д2} = \frac{1{,}1 \cdot 36{,}1 \cdot 101{,}3}{101} = 39{,}83 \text{ м}^3/\text{с}$$

Тиск, що створюється вентилятором, приведене до умов каталогу, згідно якому підбирається вентилятор.

Коефіцієнт перерахунку розраховуємо по формулі (2.29):

$$К_2 = \frac{(273 + 230) \cdot 101{,}3 \cdot 1{,}28}{(273 + 400) \cdot 101 \cdot 1{,}189} = 0{,}81$$

Підставляємо отримане значення *К* до формули (2.28):

$$\Delta р_{кат2} = 1{,}2 \cdot 1721 \cdot 0{,}81 = 1672{,}81 \text{ Па}$$

Потужність, що споживається димотягом за формулою (2.30):

$$N = \frac{75}{0{,}51} = 38{,}25 \text{ кВт}$$

2.5 Розрахунок ефективності утилізації тепла

Питома теплоємність газу, Дж/м^3:

$$c_г = \sum (c_i \cdot a_i),$$

де c_i – питома теплоємність компоненту газу, Дж/(кг·К);

a_i - об’ємний зміст окремих компонентів газової суміші, долі.

$$c_г = 1051 \cdot 0{,}73 + 913 \cdot 0{,}15 + 1043 \cdot 0{,}0096 + 837 \cdot 0{,}05 + 4182 \cdot \quad \cdot 0{,}06 + 625 \cdot 0{,}0004 = 1207 \text{ Дж/м}^3$$

Кількість теплоти, необхідна для нагрівання газу до 230°С:

$$Q = c_г \cdot Q_{\text{пов н.у.}} \cdot (t_{\text{кін}} - t_{\text{поч}}),$$

де $t_{\text{поч}}$ – початкова температура газу, 20°С;

$t_{\text{кін}}$ – кінцева температура газу, 230°С;

$Q_{\text{пов н.у.}}$ – кількість газу, що повертається в агломашину за нормальних умов, м^3/год;

$$Q_{\text{пов н.у.}} = 36{,}1 \cdot 3600 \cdot \frac{0{,}7}{1{,}28} = 71072 \text{ м}^3\text{/год};$$

$$Q = 1207 \cdot 71072 \cdot (230 - 20) = 18014619840 \text{ Дж/год} = 18014619{,}84 \text{ КДж/год}$$

Кількість коксу, який необхідно використати для нагріву газу, кг

$$m = \frac{Q}{q_к},$$

де $q_к$ –вища теплотворна здатність коксу, 28000 КДж/кг [16].

$$m = \frac{18014619{,}84}{28000} = 643 \text{ кг/год}$$

Робочий час агломераційної машини 7000 год/рік, тоді маса коксу зекономленого за рік складає 4501 т/рік. При вартості коксу від 5000 до 10000 грн/т економія в середньому складає 33 мільйони грн/рік [17, 18].

РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1. Вимоги до розміщення огородження

1. Усі рухомі частини обладнання, що знаходяться на висоті менш ніж 2,5 м від підлоги та можуть бути випадково доторкнуті, повинні бути огороджені. Огорожа може бути виготовлена з суцільних або сітчастих матеріалів (розмір осередку не більше 20х20 мм) або у вигляді поручнів на відстані не менше 1 м від рухомих частин. Місця розміщення огороджень, наявність хвірток, отворів, знімних секцій чи блокувань мають бути вказані на кресленнях устаткування. Усі хвіртки та отвори, призначені для доступу обслуговуючого персоналу, повинні бути позначені попереджувальними знаками безпеки. Під час експлуатації обладнання з рухомими частинами, доступ обслуговуючого персоналу до цих деталей за огородження або виконання робіт на них забороняється.

2. Якщо окремі небезпечні для людей рухомі частини машин чи агрегатів неможливо огородити під час обслуговування, ці машини та агрегати можна огородити загальним огородженням.

3. Передачі зубчастими, пасовими або ланцюговими механізмами, а також муфти повинні мати суцільне огородження знімними кожухами, кріплення яких можна зняти лише за допомогою спеціального інструменту, незалежно від їхнього розташування та швидкості обертання.

4. Противаги, розташовані за межами обладнання, повинні бути огороджені або розміщені в закритих направляючих пристроях (колодязях, трубах, шахтах), що виключають доступ людей до небезпечних зон.

5. Для проведення ремонтних робіт, налаштування обладнання та спостереження за технологічними процесами в огородженнях можуть бути передбачені вікна та люки. Вони повинні мати механізм закривання, щоб

запобігти випадковому падінню людини, та бути з'єднані з пусковим пристроєм обладнання, машин або механізмів.

6. В кожному цеху має бути розроблений та затверджений роботодавцем список елементів обладнання, для яких знімні огородження повинні мати блокування. Для нових і реконструйованих об'єктів блокування повинні бути передбачені в проєкті.

7. Огорожа повинна бути частиною обладнання та відповідати проєктним вимогам. Робота обладнання або механізмів з пошкодженими огородженнями або без них заборонена.

8. Перевірка стану огороджень повинна здійснюватися на кожній зміні. Виявлені пошкодження повинні бути усунені негайно.

9. Під час роботи обладнання заборонено проводити ремонт, очищення вручну та закріплення частин чи огороджень.

10. Знімати огородження для ремонту обладнання можна тільки після повної зупинки механізмів. Пуск після ремонту, огляду та очищення дозволяється лише після установки огорожі та надійного закріплення її частин [19, 20].

3.2. Вимоги до розміщення майданчиків та сходів

1. Для обслуговування запірної, регулюючої арматури та систем опалення і вентиляції, що знаходяться на висоті понад два метри від підлоги, необхідно встановлювати спеціальні стаціонарні платформи. Використання приставних драбин для цих цілей не допускається. Якщо у проєкті передбачено дистанційне керування арматурою, то спеціальні майданчики встановлювати не потрібно. У цьому випадку слід застосовувати мобільні платформи, підвісні колиски чи спеціальну техніку з телескопічними підйомниками для огляду та ремонту арматури.

2. Сходи та майданчики повинні відповідати вимогам ГОСТ 23120-78 "Маршові сходи, майданчики та сталеві огородження. Технічні умови". Конструкція настилу переходів, майданчиків та сходів має бути такою, щоб запобігти ковзанню людей під час руху.

3. Майданчики, а також технологічні та монтажні отвори мають бути огороджені поручнями, висота яких не менше 1 метра, із додатковою горизонтальною перекладиною на висоті 0,5 метра, а також суцільним обшивом знизу до висоти 0,14 метра. Всі приямки, люки, зумпфи, колодязі, дренажні канави та інші відкриті конструкції повинні бути оснащені таким огородженням, або бути закритими міцними кришками чи настилами, що знаходяться на рівні підлоги.

4. На робочих майданчиках необхідно встановити таблички, що вказують максимально допустиме загальне та зосереджене навантаження. Опорні конструкції сходів і майданчиків повинні витримувати навантаження не менше 2000 Н/м² (200 кгс/м²).

5. Металеві сходи повинні бути встановлені під кутом 45° для постійного використання та 60° — для періодичного (два рази протягом зміни), з шириною сходів не менше 0,6 м. Висота сходинок не повинна перевищувати 0,3 м. Сходи повинні мати поручні з обох боків висотою не менше 1 метра. Для сходів висотою до 1,5 м дозволяється встановлювати поручні з одного боку.

6. Якщо сходи мають висоту понад 10 м, то через кожні 5 м мають бути встановлені майданчики для відпочинку.

7. Для доступу в приямки та колодязі можна використовувати вертикальні сходи або скоби з відстанню 0,3 м між ними по висоті. Вертикальні сходи заввишки понад 2 м повинні бути оснащені огородженнями у вигляді дуг або хомутів, щоб захистити людину ззаду.

8. На даху резервуара, на відстані не менше 1,8 м від сходів, що ведуть до резервуара, повинні бути встановлені поручні висотою не менше 1 метра. На обгородженій частині покрівлі має бути люк для вимірювання рівня рідини,

а також арматура та вимірювальні пристрої. Якщо арматура або клапани розташовані на різних ділянках покрівлі, до них повинні бути підведені майданчики з огородженнями. Не дозволяється ставати безпосередньо на покрівлю резервуара.

9. Майданчики для обслуговування устаткування, сходи та перехідні містки повинні перебувати в належному стані та своєчасно ремонтуватися [19].

3.3. Особливості техніки безпеки при обслуговуванні та ремонті електрофільтрів

Електрофільтри є складними високовольтними пристроями, що мають багато точок обслуговування. Тому при обслуговуванні таких систем необхідно суворо дотримуватись вимог «Правил технічної експлуатації електроустаткування»[21], а також «Правил технічної експлуатації електроустаткування споживачів і вимог техніки безпеки під час його використання»[22], а також проводити навчання персоналу згідно з актуальними нормами та інструкціями. Ось основні умови для забезпечення безпеки під час експлуатації електрофільтрів:

1. Для запобігання випадковому контакту з електричними частинами, що знаходяться під напругою, дверці ізоляційних коробок повинні бути оснащені блокуючим заземлюючим пристроєм. Поблизу люків мають бути встановлені заземлюючі гвинти для приєднання переносного заземлення. Без належного заземлення вхід до електрофільтру заборонений, навіть якщо блокуючі пристрої присутні.

2. Внутрішні огляди та ремонт електрофільтрів повинні проводитись лише під наглядом або за участі особи, відповідальної за експлуатацію. Вони допускаються лише після виконання таких умов:

- відключення електрофільтрів від газу за допомогою надійного обладнання;

- зняття напруги і заземлення живлення та коронуючої системи;

- провітрювання корпусу до повного очищення від газу, якщо використовуються токсичні чи вибухонебезпечні гази, перевірка їх відсутності за допомогою газоаналізатора;

- охолодження обладнання до температури 50°С;

- постійний нагляд за персоналом, що працює в середині пристрою, з наявністю можливості швидкої евакуації.

3. Керівництво експлуатацією має здійснювати кваліфікований працівник, який має групу з техніки безпеки не нижче IV, відповідно до зазначених правил. До обслуговування може бути допущений працівник, що пройшов навчання на місці, має кваліфікаційну групу не нижче III і пройшов атестацію з безпеки праці на цьому обладнанні. Перевірки знань безпечного обслуговування мають проводитись не рідше ніж один раз на рік, результати фіксуються у журналі.

4. У приміщенні для обслуговуючого персоналу мають бути наступні документи:

- інструкції з експлуатації електрофільтра;

- норми та правила техніки безпеки і виробничої санітарії;

- інструкції з поведінки під час аварій або пожеж;

- інструкція надання першої допомоги;

- електрична схема обладнання;

- схеми газо- і пилових комунікацій;

- список осіб, яким дозволено перебувати на території підстанції та біля електрофільтра.

Також в приміщенні мають бути в справному стані:

- спецодяг і захисне обладнання;

- попереджувальні знаки;

- засоби пожежогасіння;

- аптечка.

5. Під час експлуатації необхідно контролювати стан:

- ізоляційних коробок, де повинні бути справні замки, механізми блокування, що не дозволяють відкривати дверцята без попереднього заземлення;

- контурів заземлення;

- теплоізоляції корпусів та газоходів;

- огороджень механізмів, що знаходяться поза електрофільтром;

- клапанів безпеки;

- площадок, сходів та огороджень;

- електричного освітлення;

- шатра та будівлі.

6. Забороняється:

- вмикати електрофільтр без закритих ізоляційних коробок, люків або при несправному блокуванні;

- обслуговувати механізми під час їх роботи;

- вмикати механізми без захисту або з непотрібно закріпленими огородженнями;

- стояти на бар'єрах майданчиків або кришках муфт;

- перебувати в перетворювальній підстанції при відсутності вентиляції;

- дозволяти стороннім особам знаходитися на обладнанні без супроводу відповідальної особи.

7. При роботі всередині електрофільтру необхідно використовувати каски, спецодяг, окуляри, респіратори і протигази.

8. Заборонено використовувати переносні лампи напругою понад 12 В всередині електрофільтру.

9. Під час чергування одна особа не має права:

- виконувати роботи, не передбачені інструкцією;

- самостійно відкривати ізоляційні коробки або люки;

- виконувати поточний ремонт, окрім заміни запобіжників або налаштування контактів при вимкненому обладнанні.

10. Друга особа (крім чергового) повинна бути присутньою:

- при обслуговуванні ізоляторів;

- при роботі з перемикачами, кабельними муфтами та іншими елементами;

- при обслуговуванні механізмів струшування та інших елементів;

- під час роботи всередині електрофільтру та газоходів. [11, 12]

РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

4.1 Розрахунок капітальних витрат на очищення газу

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

У загальному вигляді капітальні вкладення включають в себе такі статті витрат:

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

Вартість основного устаткування представлена в табл. 4.1.

Вартість основного устаткування Сосн.у. газоочисної системи складе:

$$C_{осн.у.} = 21\ 200\ 000 + 3\ 240\ 000 + 960\ 000 + 703\ 200 + 46\ 000 + 245\ 500 = 26\ 348\ 700 \text{ грн.}$$

Вартість контрольно-вимірювальних приладів складе 25% від вартості газоочисного устаткування:

$$C_{КВП} = 0{,}25 \cdot C_{ОСН.У.}, \quad (4.1)$$

$$Сквп = 0{,}25 \cdot 26\ 348\ 700 = 6\ 587\ 175 \text{ грн}$$

Вартість основного устаткування Сосн.у.с. з урахуванням вартості димової труби складе:

$$Сосн.у.с. = 26\ 348\ 700 + 460\ 000 = 26\ 808\ 700 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.1 - Капітальні вкладення в газоочисні установки

№ п/п	Показники	Проєктний варіант		
		Кількість, шт.	Ціна за од., грн.	Сума, тис. грн.
1	Електрофільтр ЕГА1-40-9-6-2	1	10600000	1060
	Агрегати живлення серії АТПОМ-160	2	270000	540
	Ексгаустер Н6500-11-4 та ВДГ-20 без електродвигуна	2	240000	480
	Електродвигун ДА302 16-18	2	175800	351,6
	Устаткування ділянки утилізації вловленого пилу			245,5
Вартість основного устаткування				2677,1
	Димова труба з/б	1	460000	460
Вартість основного устаткування та споруд				26808,7
	Газоходи			460
	КВП			6587,175
РАЗОМ				33855,875
2	Вартість монтажу обладнання			10 018,763
	Вартість монтажу комунікацій			69
3	Вартість будівель			540
4	Накладні витрати			6 771,175
Всього капітальних вкладень		тис.грн.		51 254,813
Питомі капітальні вкладення		грн./ 1000м^3		5,262

Загальна вартість устаткування Су. складе:

Су. = 26 808 700 + 460 000 + 6587 175 = 33 855 875 грн

См.у. – вартість встановлення і монтажу устаткування, См.у. = 0,3·(Сосн.у.с,+Сквп) грн.;

См.к. – вартість монтажу комунікацій, См.к. = 0,15·Ском., грн..;

Сн. – накладні витрати, якщо монтаж здійснюється спеціалізованими організаціями, Сн = 0,2·Су., грн..;

См.у. = 0,3 · (26 808 700 + 6 587 175) =10 018 763 грн.,

См.к. = 0,15 · 460 000 = 69 000 грн.,

Сн = 0,20 · 33 855 875 = 6 771 175 грн.

Сзд. – вартість будівель, приймаємо розміри будівлі підстанції для обслуговування електрофільтрів: (10 х 30 х 4) м, за 1м^3 будівлі 450 грн.;

Сзд. = 450·1200 = 540 000 грн.

Загальні капітальні вкладення складають:

К = 33 855 875 + 10 018 763 + 69 000 + 6 771 175 = 51 254 813 грн.

Розраховуємо капітальні затрати у вигляді питомих величин, які віднесено до 1000 м^3 газу (грн./1000м^3).

$$C_K = (C_{ОСН.У.} + C_M + C_H + C_{ЗД} + C_{М.К.}) \cdot \frac{1000}{3600 \cdot Q_C \cdot \tau}, \qquad (4.2)$$

де Q_c – секундна витрата газів, що очищуються, м^3/с, Q_c = 317 м^3/с;

τ – ефективний час роботи газоочистки за рік, год.

Результати розрахунків заносимо до табл. 4.1

4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на очищення газу і уловлювання пилу

Річні експлуатаційні витрати на очистку газів, грн./рік

$$C = \sum_{i=1}^{n} C_i = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7, \quad (4.3)$$

де C_1 – витрати на електроенергію, грн.;

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

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

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

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

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

C_7 – загальновиробничі витрати, грн.

Енергетичні витрати:

$$C_1 = r \cdot l \cdot N \cdot \tau, \quad (4.4)$$

де r – вартість електроенергії, для промислових підприємств, у звичай ні години r = 1,696 грн./кВт·год., у годину пік r = 3,397 грн./кВт·год. ;

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

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

$$C_1 = (1{,}696 \cdot 0.75 + 3.397 \cdot 0.25) 1{,}1 \cdot 2549{,}6 \cdot 8400 = 5068695{,}311 \text{ грн./рік}$$

Амортизаційні відрахування від основних фондів ($С_3$) визначається множенням вартості основних фондів на відповідні норми амортизаційних відрахувань:

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

Результати розрахунку заносимо до табл. 5.2.

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

$$Ср.ф. = 0,15 \cdot С_{заг,} \quad (4.5)$$

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

Тоді амортизаційні відрахування будуть складатися:

$$С_3 = С_{заг} + Ср.ф. \quad (4.6)$$

Результати розрахунку заносимо до табл. 3.6.

Основна і додаткова зарплата виробничих робітників:

$$С_4 = 536000 \text{ грн.}$$

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

$$С_7 = 0,30(С_4) = 221556,32 \text{ грн.}$$

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

$$E_y = Q_{ym} \cdot Ц, \quad (4.7)$$

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

Ц – ціна відпускна за 1т, Ц = 94 грн.

$$Еу. = 86409{,}80 \cdot 94 = 8238558{,}842 \text{ грн}$$

Уловлений пил повертається у виробництво.

Результати розрахунку заносимо до табл. 5.2.

4.3 Розрахунок зменшення екологічного податку

Суми податку, який справляється за викиди в атмосферне повітря забруднюючих речовин стаціонарними джерелами забруднення ($П_{вс}$), обчислюються виходячи з фактичних обсягів викидів, ставок податку за формулою [ПКУ, ст. 249.3]

$$П_{вс} = \sum_{i=1}^{л} M_i \cdot H_{ni}, \quad (4.8)$$

де M_i – фактичний обсяг викиду i-тої забруднюючої речовини в тоннах, т;

H_{ni} – ставки податку в поточному році за тонну i-тої забруднюючої речовини у гривнях з копійками, грн./т.

Проєктна система очистки газів дозволяє зменшити фактичний обсяг викиду пилу за рік на 97 382,492 т.

Пил агломераційно-доменного виробництва має орієнтовно безпечний рівень впливу (ОБРВ) 0,15 мг/м^3. Ставка податку для такого пилу 83,07 грн./т [ПКУ, ст. 243.3]. Отже сума екологічного податку зменшиться на суму

$$П_{вс} = 97\ 382{,}492 \cdot 83{,}07 = 8\ 089\ 563{,}61 \text{ грн./рік.}$$

Уловлений пил повертається в виробництво, що дозволяє зменшити для підприємства екологічний податок за розміщення відходів.

Таблиця 4.2 - Експлуатаційні витрати на очищення газу

№	Найменування	Один. виміру	Цена, грн		Проєктний варіант	
					Величина витрат , грн/1000м^3	Витрати за год
1	2	3	4	5	6	7
1	Електроенергія	кВт·год	1.696	3.397	5,20337	50686953.11
2	Амортизаційні відрахування	грн			0,58228	5672098.75
3	ЗП основний робочих					
	- основна	грн			0,04274	416361.60
	- додаткова	грн			0,03307	322159.48
4	Єдиний соціальний внесок	грн			0,01668	162474.64
5	Витрати на ремонт та отримання обор.	грн			0,08734	850814.81
6	Загальновиробничі витрати	грн			0,02274	221556.32
7	Загальні витрати на очистку	грн			5,98823	58332418.71
8	Економія від утилізації			94		8238558.842
9	Зменьшення екологічного налогу					
	- викиди від стаціонарних джерел		83.07			8089563.610
					4,27	41566075.050

4.4 Техніко-економічне обґрунтування рішень, які прийняті у проєкті

Термін окупності капітальних вкладень дорівнює:

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

Термін окупності капітальних вкладень з урахуванням еконалогу:

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

Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень складає

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

Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень з урахуванням еконалогу:

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

Нормативний термін окупності $T_н$ = 6,67 років, а нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень $E_н$ = 0,15. У проєктному варіанті $T_{ок} < T_н$, а $E_{пр} > E_н$. Отже запропонована схема очистки газів з утилізацією вловленого пилу економічно доцільна.

Результати розрахунків заносимо до табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Основні техніко-економічні показники запроєктованої установки

№	Найменування	Один. виміру	Величина
1.	Річна продуктивність газоочисної установки, П	млн. $м^3$	9603,97
2.	Технічна норма продуктивності, N	$м^3$/год	200000
3.	Початкова запиленість, Z_1	г/$м^3$	4,00
4.	Кінцева запиленість, Z_2	г/$м^3$	0,001
5.	Кількість вловленого пилу, Q	т	96010,89
6.	Кількість утилізованої пилу, Qут	т	86409,80
7.	Капітальні вкладення	грн	51254813
8.	Електроенергія	грн	50686,953
9.	ЗП основний робочих		
	- основна	грн	416361,60
	- додаткова	грн	322159,48
10.	Економія від утилізації	грн	8238558,842
11.	Зменшення екологічного налогу		
	- викиди від стаціонарних джерел	грн	8089563,610
12.	Загальні експлуатаційні витрати	грн	41566075,050
13.	Термін окупності капітальних вкладень з урахуванням еконалогу	рік	3,06
14.	Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень з урахуванням еконалогу	грн/(грн·рік)	0,327

ВИСНОВОК

Під час виконання кваліфікаційної роботи було розглянуто джерело та характеристику технологічних газів агломераційного виробництва та фізико-хімічні явища в процесі агломерації. Було проаналізовано системи збору, та очищення шляхи утилізації тепла технологічних газів агломашин.

В ході дослідження було проведено порівняння різних систем очистки газів для агломашин, зокрема мокрих і сухих методів. Сухі методи очищення, зокрема за допомогою електрофільтрів, виявилися більш ефективними завдяки низьким енерговитратам, відсутності потреби в водно-шламовому господарстві та кращим умовам для експлуатації газоходів.

Сухий спосіб очистки технологічних газів в електрофільтрі має низку переваг: низьке енергоспоживання, відсутність проблем із корозією труб газоходу, зменшення трудових витрат на обслуговування та очищення, а також покращення умов для роботи ексгаустерів.

Одноступенева система очистки за допомогою сухих горизонтальних електрофільтрів є найбільш доцільним варіантом, оскільки вона забезпечує високий ступінь очистки газів (залишкова запиленість складає 0,1 г/м³), знижуючи витрати на енергію та покращуючи ефективність виробничого процесу.

Впровадження рециркуляції аглогазів у зону спікання дозволяє знизити викиди пилу та CO на 22-25%, зменшити витрату твердого палива на 2-3 кг/т агломерату, що також сприяє зниженню викидів SO_x та NO_x. Максимальна ступінь рециркуляції становить 35,5%.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення системи рециркуляції газів та оптимізацію роботи електрофільтрів з метою підвищення ефективності очищення та зменшення екологічного навантаження.

Вибір сухого методу очищення технологічних газів агломашин з утилізацією тепла агломерату є найбільш економічно доцільним і екологічно

ефективним варіантом, що дозволяє значно знизити викиди шкідливих речовин в атмосферу та покращити умови експлуатації обладнання.

Для забезпечення безпеки працівників необхідно правильно проєктувати майданчики та сходи на виробничих об’єктах, де проходять регулярні обслуговування та ремонти. Вони повинні бути зручними, стійкими, із відповідними захисними бар'єрами для запобігання нещасним випадкам, і мати зручний доступ до основного обладнання.

Огородження на виробничих ділянках повинні бути розміщені відповідно до норм безпеки, щоб забезпечити захист працівників від можливих механічних та електричних небезпек. Огородження мають бути надійними, зручними для обслуговування і відповідати стандартам щодо висоти, матеріалів та конструкцій.

Роботи з обслуговування та ремонту електрофільтрів повинні проводитись із суворим дотриманням вимог техніки безпеки. Працівники повинні бути оснащені засобами індивідуального захисту, проводити регулярні перевірки технічного стану обладнання, а також забезпечити безпечне відключення електроживлення перед початком робіт. Крім того, важливо проводити навчання персоналу та забезпечити постійний контроль за дотриманням техніки безпеки під час експлуатації електрофільтрів.

Запропоновано та обґрунтовано вибір система сухої очистки технологічних газів агломашини та рециркуляцію очищених газів в зону спікання агломашини з метою утилізації тепла. Проведено розрахунок та обрано апарати, що входять в систему очистки. Система включає електрофільтр ЕГА1-40-9-6-2, нагнітач 6500-14-1, вентилятор ВДГ-20.

За результатами розрахунків електрофільтр має наступні характеристики:

а) Витрата газу за робочих умов – 426622,99 $м^3$/год;

б) Фактична площа активного перерізу електрофільтру – 97,9 $м^2$;

в) Критична напруженість електричного поля – 365942,871 В/м;

г) Критична напруга корони – 21 мВ;

д) Ефективність очистки – 99%.

Кінцева запиленість складає 10 мг/м^3, що задовольняється технологічним вимогами. Для забезпечення живлення електрофільтру було обрано два агрегати живлення серії АТПОМ-160.

Для утилізації тепла було обрано повернути частину газів після очистки в зону спікання агломашини. Витрата газів для рециркуляції склала 36,1 м^3/с. Завдяки цьому було зекономлено 4501 т/рік коксу, в грошовому еквіваленті – 33 млн./рік.

Встановлено, що період окупності капітальних вкладень запропонованої системи очистки, з урахуванням екологічного податку, складає 3,06 року, при коефіцієнті економічної ефективності капітальних вкладень 0,327 грн/рік·грн.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Грес Л. П., Єрьомін О. О., Каракаш Є. О., Радченко Ю. М. Екологічні аспекти металургійних технологій (1 ч.) : навч. посібник. Дніпро : Україн. держ. ун-т науки і технол., 2022. 106 с.

2. Фізичні та хімічні основи галузевого виробництва: Навчальний посібник. / Смирнов В. О., Білецький В. С. «Новий Світ-2000», ФОП Піча С. В., 2022. 148 с.

3. Бєкєтов В. Є., Євтухова Г. П. Джерела та процеси забруднення атмосфери : конспект лекцій для студентів 3 курсу денної та заочної форм навчання спеціальності 101 Екологія. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бєкєтова, 2019. 113 с .

4. Найкращі доступні технології та методи управління (НДТМ). Довідковий документ для виробництва чавуну та сталі / Р. Ремус та ін. Люксембург : Від. публ. Європ. Союзу, 2013. 607 с.

5. Самойленко Н. М. Системи технологій та промислова екологія. Ч. І. Металургійний та енергетичний комплекс : навч. посіб. / Н. М. Самойленко, В. І. Аверченко, В. Б. Байрачний. Харків : НТУ «ХПІ», Лідер, 2020. 212 с. ISBN 978-617-7476-42-8.

6. Рішення для агломераційного виробництва DHM GROUP. *DHM GROUP*. URL: https://dhmgroup.com/virobnictvo/rishennja-dlja-aglomeracijnogo-virobnictva/ (дата звернення: 19.11.2024).

7. Vodennikova O. S., Vodennikov S. A., Bondarenko Y. V. Modernization of the agglomeration factory of PJSC “KAMET-STEEL”: organizational, technological, environmental and technical and economic aspects. *Metal and Casting of Ukraine*. 2023. Т. 31, № 4. URL: https://doi.org/10.15407/steelcast2023.04.01 (дата звернення: 19.11.2024).

8. Молярна маса газів. *Мірник*. URL: https://mirnyk.com/UA/molyarna-masa-gaziv/index.html (дата звернення: 25.11.2024).

9. Конспект лекцій з дисципліни «Металургія чорних металів». Розділ 1 «Теорія та технологія процесів підготовки сировини до плавки» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 136. «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія чорних металів» /Укл.: Руденко М. Р. Кам'янське: ДДТУ, 2019. 76 с.

10. Природоохоронні технології. Частина 1. Захист атмосфери : навчальний посібник / Северин Л. І., Петрук В. Г., Безвозюк І. І., Васильківський І. В. Вінниця : ВНТУ, 2012. 388 с.

11. Електрофільтри. *Проєктно-будівельна компанія Вент-Заводи*. URL: https://7-vz.com/ua/category/elektrofiltry/ (дата звернення: 19.11.2024).

12. Електрофільтри НПП «Дніпроенергосталь». *ТОВ НВП "Дніпроенергосталь"*. URL: https://destal.net/equipment/elektrofiltri/ (дата звернення: 19.11.2024).

13. Облаштування і розрахунок системи загальнообмінної вентиляції виробничих приміщень. Методичні вказівки до виконання практичної роботи з курсу «Охорона праці в галузі» для студентів інженерно-технічних спеціальностей денної та заочної форми навчання. Укладачі: С. С. Левуш, В. П, Скачко Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2012. 25 с.

14. Кожемякін Г. Б. , Бєлоконь К. В. Теоретичні основи та техніка захисту повітряного басейну : методичні вказівки до виконання курсового проєкту та лабораторних робіт для студентів ЗДІА напряму 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування». Запоріжжя: ЗДІА, 2011. 115 с.

15. ТОВ «Промислові вентилятори». *ТОВ «Промислові вентилятори» інтернет магазин промислової вентиляції і електродвигунів, Україна | Ventilator*. URL: https://ventilator.ua/?new-lang=ua (дата звернення: 19.11.2024).

16. Про затвердження Технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із устаткування (установки) для випалювання та агломерації металевої руди (включаючи сульфідну руду) : Наказ М-ва екології

та природ. ресурсів України від 21.12.2012 № 671 : станом на 25 квіт. 2023 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0003-13#Text (дата звернення: 19.11.2024).

17. Kasheev M. A., Vladi V. A., Rudenko N. R. Improving the effectiveness of the gas purification equipment in agglomerative production. *Metal and Casting of Ukraine*. 2020. Т. 28, № 1. С. 8–15. URL: https://doi.org/10.15407/steelcast2020.01.008 (дата звернення: 19.11.2024).

18. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія газів» ч. ІІ. Для студентів напряму підготовки 6.051301 «Хімічна технологія», Укладачі: Шестозуб А. Б., Волошин М. Д. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2013. 73 с.

19. ДСТУ Б В.2.6-52:2008. Конструкції будинків і споруд. Сходи маршеві, площадки та огорожі сталеві. Технічні умови. На заміну ГОСТ 23120-78 ; чинний від 2010-01-01. Вид. офіц. Київ : Нац. стандарт України, 2010. 24 с.

20. НПАОП 27.0-7.04-21. Мінімальні вимоги щодо безпеки та здоров’я на роботі в металургійній промисловості. Чинний від 2021-05-21. Вид. офіц. 2021.

21. Про затвердження правил технічної експлуатації електроустановок споживачів: наказ М-ва палива та енергетики України від 27 липня 2006 р. № 258. *Офіційний вісник України*. 2006. № 44. 227 с.

22. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : веб-сайт. URL: https://dnaop.com (дата звернення: 22.11.2024).