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 очистки аспіраційних газів агломераційного виробництва»*

Виконав: студентка ___групи *6.1831*_____

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

*Мирна А.Д.*_____

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

Рецензент *к.т.н. Грідяєв В.В*_____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя
2025

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 *перший бакалаврський 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
«*25*» *12* 2025 року

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

Мирна Анна Дмитрівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Проєкт системи очистки аспіраційних газів агломераційного виробництва»
керівник роботи *Манідіна Євгенія Анатоліївна к.т.н, доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від "__"_____ 202_ року № _____
2. Строк подання студентом роботи *10.06.2025*
3. Вихідні дані до роботи *температура відхідних газів t_o = 70 °С; об'єм аспіраційних газів за нормальних умов Vo = 1000000 м³/год.; атмосферний тиск Ратм = 101325 Па;тиск газів у системі газоходів Рг = - 2,3 кПа; щільність частинок пилу п = 3500 кг/м³;концентрація пилу в аспіраційних газах (початкова) z_1 = 9,5 г/м³;*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Устрій та вантажопотоки агломераційного цеху. Характеристика технологічного процесу. Характеристика викидів агломераційного виробництва. Технології захисту довкілля від аспіраційних газів агломераційного виробництва. Пристрій і принцип дії сухого пластинчастого електрофільтру. Проєктування горизонтального електрофільтру. Аеродинаміка газового тракту системи газоочиски аспіраційних викидів аглоцеху. Ідентифікація небезпечних та шкідливих факторів в агломераційному виробництві. Виробнича санітарія. Заходи та засоби з поліпшення умов праці. Аналіз стану електробезпеки на виробництві. Пожежна безпека. Розробка заходів зі зменшення впливу вібрації на робітників агломераційного цеху.*

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис
Загальна частина	*Манідіна Є.А., доцент*	
Аналіз систем газоочищення аспіраційних газів агломераційного виробництва	*Манідіна Є.А., доцент*	
Проєктний розділ	*Манідіна Є.А., доцент*	
Охорона праці та техногенна безпека	*Манідіна Є.А., доцент*	

7. Дата видачі завдання 12.05.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	
1	*Вступ*	12.05.2025	
2	*Загальна частина*	12.05-19.05	
3	*Аналіз систем газоочищення аспіраційних газів агломераційного виробництва*	19.05-22.05	
4	*Проєктний розділ*	22.05-02.06	
5	*Охорона праці та техногенна безпека*	03.06-10.06	
6	*Висновки*	10.06	
7	*Презентація*	10.06	

Студент *Анна МИРНА*

Керівник роботи *Євгенія МАНІДІНА*

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер *Андрій ВАГІН*

РЕФЕРАТ

АГЛОМЕРАЦІЙНИЙ ЦЕХ, АСПІРАЦІЙНІ ВИКИДИ, СИСТЕМИ ГАЗООЧИЩЕНЬ, ГОРИЗОНТАЛЬНИЙ ЕЛЕКТРОФІЛЬТР, ОХОРОНА ПРАЦІ

Пояснювальна записка до кваліфікаційного проєкту: 65 с., 7 табл., 6 рис., 11 джерел,

Об’єкт дослідження – виробництво агломерату на агломераційному підприємстві.

Мета роботи – розробити ефективну установку систему газоочистки аспіраційних викидів агломераційного виробництва.

Аспіраційні викиди з’являються на таких ділянках, як хвостова частина агломашин, зони завантаження агломерату в бункери, приймальні ємності для руди й пилу, стрічкові конвеєри та місця пересипу в шихтовому відділенні.

Запропоновано варіант очищення аспіраційних викидів від шести агломераційних машин за допомогою горизонтальних електрофільтрів. Для цього запилене повітря, що надходить від хвостових частин шести агломашин, а також з місць завантаження агломерату, вузлів підготовки шихти, гуркотів і охолоджувачів, збирається в колектор великого діаметра і направляється на очищення до двох двосекційних електрофільтрів ЕГА 2-56-12-6-3.

Аналіз умов праці в агломераційному виробництві показав, що працівники стикаються з впливом пилу, шкідливих газів, підвищеного шуму, теплового навантаження та вібрації, що потребує запровадження засобів індивідуального та колективного захисту.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 7
1.1 Устрій та вантажопотоки агломераційного цеху 7
1.2 Характеристика технологічного процесу 16
1.3 Характеристика викидів агломераційного виробництва 19
2 АНАЛІЗ СИСТЕМ ГАЗООЧИЩЕННЯ АСПІРАЦІЙНИХ ГАЗІВ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА 25
2.1 Технології захисту довкілля від аспіраційних газів агломераційного виробництва 25
2.2 Пристрій і принцип дії сухого пластинчастого електрофільтру 28
3 ПРОЄКТНИЙ РОЗДІЛ 30
3.1 Проєктування горизонтального електрофільтру 30
3.2 Аеродинаміка газового тракту системи газоочиски аспіраційних викидів аглоцеху 40
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 50
4.1 Ідентифікація небезпечних та шкідливих факторів в агломераційному виробництві 50
4.2 Виробнича санітарія. Заходи та засоби з поліпшення умов праці 52
4.3 Аналіз стану електробезпеки на виробництві 56
4.4 Пожежна безпека 58
4.5 Розробка заходів зі зменшення впливу вібрації на робітників агломераційного цеху 59
ВИСНОВКИ 62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ 64

ВСТУП

Металургійні підприємства є значними джерелами забруднення повітря, оскільки в ході виробництва викидаються численні шкідливі гази та частинки пилу. За відсутності ефективних систем очищення ці забруднення можуть суттєво погіршити якість повітря, сприяти утворенню кислотних дощів та забрудненню води й ґрунту, що негативно позначається на екосистемі.

Викиди металургійних заводів можуть спричиняти серйозні проблеми зі здоров’ям як у працівників підприємств, так і в мешканців прилеглих районів. Токсичні гази, зокрема оксиди азоту, діоксид сірки, важкі метали та пил, можуть викликати захворювання дихальної та серцево-судинної системи, а також інші хронічні хвороби.

Переробка уловлених пилових і газових викидів може бути вигідною для підприємств, оскільки у деяких випадках очищені гази можна повторно використовувати в технологічних процесах, що знижує витрати на енергоресурси та сировину. Крім того, удосконалення систем очищення дозволяє зменшити фінансові витрати на сплату екологічних штрафів та підвищити ефективність виробництва.

Сучасні стандарти сталого розвитку та соціальної відповідальності спонукають металургійні компанії до впровадження заходів зі зниження негативного впливу на довкілля. Це допомагає не лише відповідати екологічним нормам, а й покращує репутацію компанії серед громадськості, ділових партнерів та інвесторів.

Отже, очищення газових викидів металургійних підприємств має ключове значення як для захисту навколишнього середовища, так і для збереження здоров'я людей, підвищення економічної ефективності та дотримання екологічних вимог.

РОЗДІЛ 1
ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Устрій та вантажопотоки агломераційного цеху

З виникненням агломерації з'явилася можливість раціонального використання відходів виробництва: колошникового пилу, окалини, піритних недогарків та ін.

Сучасна агломераційна фабрика є складною системою, що складається з різних будівель, механізмів і машин, які відповідають за підготовку руд і концентратів до процесу спікання, саму агломерацію та подальшу обробку готового агломерату (рис. 1.1). У її структурі можна виділити основні та допоміжні відділення, серед яких: вагоноперекидачі та приймальні бункери для сировини, склади для усереднення, цехи для дроблення та подрібнення пального і флюсів, відділення для шихтових бункерів, змішувальні та грануляційні цехи, агломераційний цех з агломераційними машинами, відділення для охолодження і сортування агломерату, газоочисні установки для очищення відхідних газів, а також корпуси ексгаустерів для підтримки необхідного рівня тяги в системі. Цей комплекс обладнання та структур забезпечує безперебійний та ефективний процес агломерації, оптимізуючи якість готового продукту та дотримуючись вимог екологічної безпеки [11].



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд агломераційної фабрики

Агломерацією називається процес спікання дрібних руд і концентратів шляхом спалювання палива в шарі матеріалу, що спікається або підведення високотемпературного тепла ззовні. Мета агломерації полягає у покращенні металургійних властивостей сировини внаслідок її окускування, введення флюсу та інших корисних добавок, а в ряді випадків та видалення шкідливих домішок.

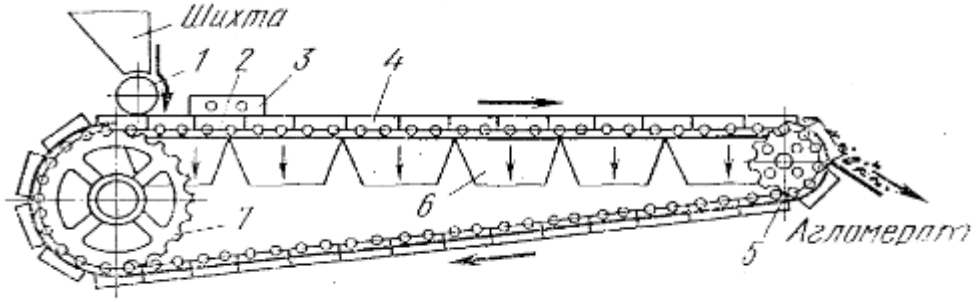
Найбільшого поширення набув спосіб виробництва агломерату на стрічкових конвеєрних машинах, при якому спалювання твердого палива в шарі матеріалу відбувається за рахунок кисню повітря, що безперервно просмоктується через шар, що спікається.

Схема установки для агломерації руд. Характерні риси зберігаються незалежно від конструкції спікальної машини. Найбільш поширені машини стрічкового типу (рис.1.2), які являють собою безперервний ряд візків, що рухаються (паллет) з колосниковими гратами.

Паллета – це ящик на роликах з двома бортами по краях і дном у вигляді колосникових грат. Паллети рухаються рейками. Рух паллет відбувається за допомогою пари зубчастих коліс, які захоплюють своїми зубами паллету знизу, виштовхують її нагору і штовхають доти, доки зуби коліс залишаються зчепленими з роликами паллети. При цьому, кожна попередня палета штовхає наступну. Швидкість руху паллет становить 3,2 – 8,0 м/хв. Рух зубчастих коліс створює тиск однієї паллети на іншу, що усуває виникнення зазору між паллетами. У розвантажувальній частині машини ролики паллети переходять на нижню рейкову колію і візок котиться до зубчастих колес під дією власної ваги під ухил [2].

Під верхнім рейковим шляхом машини розташовані вакуум-камери, пов'язані з ексгаустером, що створює розрядження 16 кПа. Шихту завантажують на паллети у головній частині машини на шар ліжка. Потім паллети проходять під запальним горном: верхній шар шихти обробляють продуктами горіння суміші доменного та коксового газів, що подається протягом 1-2 хв через газовий пальник. Пальник відводять, тому що надалі процес не потребує підведення тепла ззовні. У міру вигоряння вуглецю зона горіння палива переміщається вниз,

проходячи всю висоту шару ліжка за 12-15 хв. Охолоджуючи агломерат, повітря підігрівається та його теплота використовується у зоні горіння твердого палива. Продукти горіння, що відходять, віддають своє тепло холодній сирій шихті, нагріваючи її. Сира шихта підігрівається. При цьому вона втрачає вологу. В цілому агломераційний процес проводиться з надлишком повітря для мікрооб'ємів і для нього характерна відновлювальна атмосфера. Після вигоряння вуглецю зона високих температур переміщається донизу, розплав охолоджується повітрям. Готовий агломерат є продуктом кристалізації розплаву.



1 – барабанний живильник для завантаження шихти; 2 – напрямні рейки; 3-запальний горн; 4 – спікальні візки (паллети); 5 – напрямна зірочка; 6 – вакуум-камери; 7 – приводна зірочка.

Рисунок 1.2 – Схема агломераційної машини

Одновалкова дробарка призначена для дроблення гарячого агломерату перед подачею його на гуркіт і є машиною для дроблення, яке здійснюється стисненням пирога агломерату зубами зірочок між нерухомими колосниками.

Гуркіт самобалансовий призначений для відділення дрібниці – 5 мм з агломерату крупністю до +20 мм, що використовується як «ліжко». Гуркіт являє собою вібраційну машину, яка здійснює коливальні рухи під дією відцентрової сили, що виникає при обертанні вібраторів.

Прямолінійний охолоджувач призначений для охолодження та транспортування готового агломерату, крупністю 120 мм з початковою

температурою 600 °С до температури не більше 100^0С. Прямолінійний охолоджувач є машиною конвеєрного типу з безперервним процесом завантаження гарячого агломерату, охолодження його і розвантаження охолодженого агломерату. Охолодження відбувається за рахунок продування спеціальними вентиляторами зовнішнього повітря через шар агломерату, що рухається. Полотно охолоджувача складається з двох нескінченних ланцюгів, що несуть 238 секцій. Для продування повітря через шар агломерату на полотні охолоджувача встановлені дутьові вентилятори типу ВДН-24. Дутєвий вентилятор складається з корпусу, напірний повітропровід якого приєднаний до дуття камер [2].

Агломераційна фабрика є складною спорудою, що включає систему подачі руди і коксу, помольне, сортувальне, змішувальне відділення. Усі роботи на фабриці механізовані. Схему вантажопотоків можна побачити на рис. 1.3.

Підготовка шихти для агломерації. Компоненти шихти надходять на агломераційну фабрику залізничним транспортом, після чого розвантажуються в спеціально обладнані бункери та транспортуються конвеєрними лініями до складів для усереднення. Приймальні бункери поділяються на три основні групи: для руди та концентратів, для палива та добавок, а також для флюсів. Розвантаження матеріалів із залізничних вагонів здійснюється шляхом відкриття люків, що забезпечує швидкість і ефективність процесу.

Шихтове відділення є важливою частиною фабрики, де створюється шихта – суміш підготовлених компонентів у необхідних пропорціях, що гарантує високоякісний агломерат та підтримує безперервність процесу. Це відділення розташоване в окремій будівлі поруч із корпусом спікання і складається з трьох основних зон: зони завантаження шихтових бункерів, зони самих шихтових бункерів і зони дозування компонентів для шихти [11].

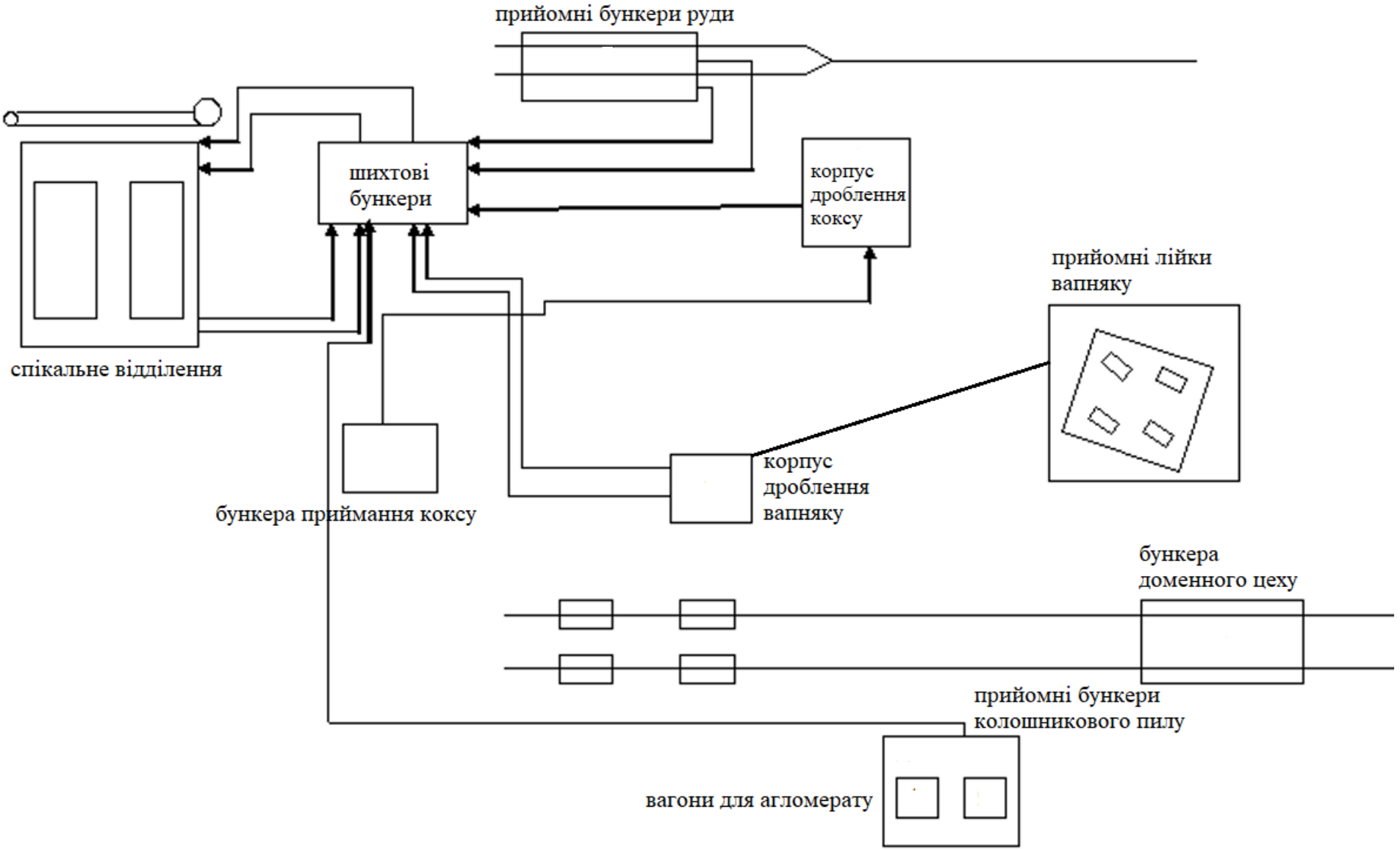


Рисунок 1.3 – Схема вантажопотоків аглоцеху

Основне завдання при підготовці шихти полягає у виборі оптимальних значень великої кількості матеріалів та ступеня зволоження, необхідних для створення хорошої газопроникності шихти. Це забезпечує виробництво пористого та міцного агломерату. При поганій газопроникності кількість повітря, що надходить у зону згоряння, стає недостатнім, горіння, що почалося, йде мляво і навіть може зовсім припинитися. Тепла, що виділяється, буде недостатньо для утворення рідкої фази і агломерат не утворюється. На газопроникність впливає кількість вологи. Кількість вологи, що додається, залежить від фізичних властивостей шихти. Для щільних руд вологи потрібно менше, для м'яких руд – більше; для дрібної руди вологи додають більше, більшої – менше. Для магнетитових та мартито-гематитових руд оптимальна кількість вологи становить 9%, для бурих залізняків 28%. Велика шихта може змінюватися від 0,1 до 10-12 мм. Оптимальний вміст палива у шихті визначається якістю рудної сировини. При нестачі палива агломерат містить невелику кількість FeO – такий агломерат добре відновлюється, але механічно неміцний. При високій витраті палива та при великій кількості кремнезему в шихті виходить оплавлений агломерат з високим вмістом FeO. Такий агломерат міцний, але гірше відновимо.

Призначенням флюсів є забезпечення повного ошлакування всієї порожньої породи, що міститься в руді, коксі золі та інших компонентах доменної шихти.

Для зміцнення сирих котунів застосовують бентонітову глину, гашене вапно, хлористий кальцій, хлористий натрій, лужно-спиртову барду та ін.

Процеси агломерації можна поділити на кілька стадій:

1. Підготовча. Після запалення палива на поверхні шару шихти гарячі гази проходять через холодний шар шихти вниз і віддають їй тепло. Волога, що випаровується з верхніх шарів, конденсується в холодних нижніх шарах. У міру опускання донизу зони спікання кількість вологи в нижніх шарах шихти збільшується. Верхні шари все більше підсушуються, нагріваються газами і

теплом, що надходить від зони спікання, що наближається, до температури займання палива. Починається друга стадія агломерації.

2. Стадія згоряння. Паливо запалюється, частково відновлюються оксиди заліза, утворюються рідкі фази, що оплавляють окремі тверді частинки залізняку. Згоряння палива у шарі шихти суттєво відрізняється від горіння вугілля чи коксу у топці. Якщо у звичайній топці вуглець повністю згоряє до CO_2, то на стрічці агломераційної машини з'являються значні кількості CO [2].

3. Стадія охолодження. Охолодження агломерату відбувається в спеціальному відділенні охолодження, що є важливою частиною процесу. Схема обладнання агломераційної фабрики, що включає ці етапи, наведена на рис. 1.4. Бункери 3 для компонентів шихти заповнюються зверху через ґрати 2, використовуючи реверсивний стрічковий конвеєр 1. Для зворотного матеріалу використовуються окремі конвеєри 28, які заповнюють бункер зворотом.

Дозування компонентів на збірний конвеєр шихти 5 здійснюється через вагові стрічкові дозатори 4, які є короткими стрічковими конвеєрами, що встановлені під горловинами бункерів. Маса компонентів, що подаються на збірний конвеєр, визначається швидкістю руху дозаторів, яка може бути відрегульована за допомогою центрального пульта управління шихтовим відділенням.

Спеціальна ваговимірювальна система, розташована на дозаторах, забезпечує контроль за масою руди на конвеєрі, гарантуючи точність зважування до ±2%. Після цього шихта, злегка зволожена для покращення зв’язування компонентів, змішується в обертовому барабанному змішувачі 6, і потім транспортується конвеєром 7 до барабана-огрудковувача 8 для подальшого процесу формування.

Змішана й огрудкована шихта з бункера 9 через живильник 30 подається на агломераційну стрічку 11 для подальшого спікання. На початковому етапі живильник 29 укладає на колосникові ґрати шар підстилки, який потім подається через конвеєр 26 для продовження обробки.

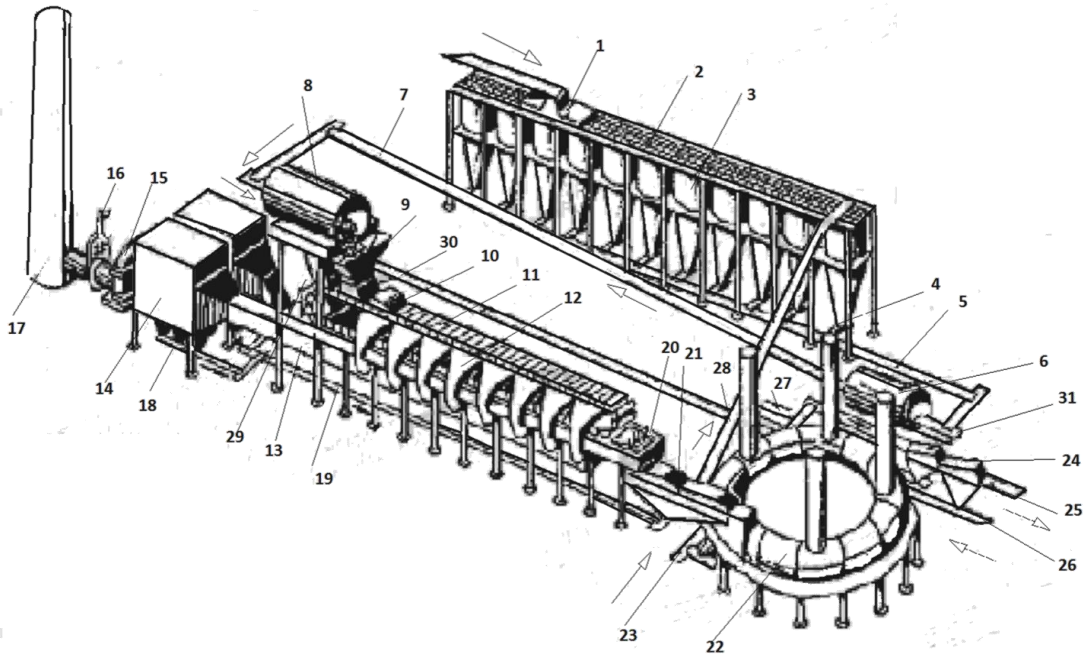


Рисунок 1.4 – Розташування обладнання в агломераційному цеху

Палети з шихтою рухаються над вакуум-камерами 12, а над основною частиною стрічки розміщений запальний горн 10. Відхідні гази надходять до пиловловлювачів 14 через збірний газопровід 13. У більшості випадків для очищення відхідних газів застосовується комбінована система газоочистки, що вирішує проблему забруднення довкілля пилом і підвищує зносостійкість лопатей ротора ексгаустера 15. Між ексгаустером і димовою трубою 17 зазвичай встановлюють головний шибер 16, за допомогою якого можна регулювати роботу ексгаустера. Вакуум у кожній вакуум-камері налаштовується за допомогою спеціальних клапанів.

Готовий шар агломерату з палети падає у валкову дробарку 20, де дробиться, а на грохотах 21 відокремлюється гаряче повернення (непридатний агломерат). Придатний агломерат охолоджується в охолоджувачі 22 і потім конвеєром 23 подається на грохоти 24 для холодного агломерату. Після відокремлення підстилки на грохоті 24 придатний агломерат транспортується конвеєром 25 в доменний цех, а непридатний агломерат конвеєрами 27 і 28 повертається в бункер звороту. До гарячого звороту з грохоту 21 та холодного

звороту з грохоту 31 додають пил і шлами газоочистки, а також дрібний пил (конвеєри 18, 19) [1].

Якісним показником агломерату є механічна міцність, газопроникність, відновлюваність, вміст заліза та домішок. Готовий агломерат після дроблення, відсіву дрібних фракцій подається до бункера доменного цеху.

Шкідливі викиди агловапняного виробництва. Агломераційне виробництво є одним із основних джерел забруднення повітряного басейну. Пилоутворення починається з моменту надходження сирих матеріалів на завод, при вивантаженні їх, перевантаженні та транспортуванні, підготовці шихти або котунів до спікання.

При спіканні аглошихт утворюється також велика кількість газів, до складу яких входять шкідливі речовини – сірчистий ангідрид та окис вуглецю, що викидаються в атмосферу з технологічними газами.

Процес спікання супроводжується значним виділенням газу, що утворюється в результаті вигоряння вуглецю та сірки, що містяться в шихті. Агломераційний газ забирає з собою пил шихти. Зміст окремих компонентів газової суміші залежить від кількості сірки в руді, витрати палива, а також від технологічних параметрів процесу отримання агломерату. Тому концентрація окремих компонентів газу, а також його запиленість та дисперсний склад пилу на аглофабриках можуть бути різними.

З метою зменшення надходження пилу та шкідливих газів у виробничі приміщення агломераційних фабрик від дробильно-сортувального та транспортного обладнання головного корпусу та відділень підготовки шихти влаштовують аспіраційну вентиляцію. Кількість повітря, що відсмоктується, визначається прийнятими в промисловості вентиляції нормативами з умови забезпечення таких швидкостей руху повітря у відкритих технологічних отворах укриттів, які виключали б виділення шкідливостей у навколишнє середовище [2].

1.2 Характеристика технологічного процесу

Процес агломерації спрямований на поліпшення властивостей сировини шляхом її огрудкування, додавання флюсів і корисних компонентів, а також, у певних випадках, видалення шкідливих домішок. Основу шихти для виробництва агломерату становлять такі компоненти, як концентрат, залізна руда, флюс, паливо та зворот агломерату. Додатково до шихти включають різні відходи виробництва, такі як колошниковий пил, доменні й сталеплавильні шлами, прокатну окалину тощо, які слугують дешевими замінниками залізної руди [1].

Основні вимоги до якості залізних руд включають: високий вміст заліза (60-67 %), мінімальний вміст шкідливих домішок, високий вміст основних оксидів у пустій породі, стабільний хімічний склад, високу відновлюваність, гарну газопроникність насипної маси (гранулювання), міцність, відсутність дрібних фракцій і хорошу збагачуваність.

Залізні концентрати складаються з наступних сполук, %: Fe – 58-68; FeO – 18-28; SiO_2 – 4-13; CaO – 4-13; MgO – 0-1,0; Al_2O_3 – 0-3,0; S – 0-0,7; TiO_2 – 0-0,9.

В свою чергу, руди складаються з наступних сполук, %: Fe – 50-67; FeO – 0,5-20; SiO_2 – 10-25; CaO – 0,5-20; MgO – 0-3,0; Al_2O_3 – 0,5-5,0; S – 0-2,0; TiO_2 – 0-0,3.

Також, до складу агломераційної шихти додають зворот, шлами сталеплавильного або доменного газоочисного устаткування, окалину.

Саме використання звороту (дрібного, недостатньо спеченого агломерату з розмірами до 10 мм). В такому металургійному відході окрім сполук заліза містяться залишки коксику (0,4-1 %), що не згорів з різних причин у ході процесу спікання на агломераційній стрічці, залишки вапняку, вапна, шматочки руди.

Під час агломерації в якості палива застосовують: тверде паливо (коксовий дрібняк, антрацитний штиб, малокалорійне вугілля тощо), рідке

(мазут) і газоподібне паливо (коксовий, доменний і природний гази). Після згорання палива в шихті залишається зола.

Додавання коксику забезпечує інтенсифікацію процесу та необхідний рівень тепла в агломерації та утворюється менша кількість золи. Витрата твердого палива залежить від характеристик шихти для спікання і становить в межах 4- 10 % від загальної маси аглошихти.

До складу агломераційної шихти додають звичайний вапняк (з вмістом CaO не менше 53,5 %) та вапно, яке отримують в аглоцеху шляхом випалювання (фракція 3-15 мм, вміст CaO не менше 75 %). Основні флюси, такі як вапняк і доломіт, вводять в агломерат для забезпечення необхідної основності. Дрібноподрібнений вапняк і вапно підвищують грудкуватість шихти, покращуючи її газопроникність у процесі спікання.

Перед спіканням компоненти шихти дозують, зволожують, змішують та огрудковують. Під час завантаження на агломашину шихта складається з грудок, утворених з рудних часток, коксу та вапняку (витрата коксу залежить від умов і може варіювати від 3 до 15 % за масою). Шихта викладається на колосникові ґрати, вкриті шаром постелі (готовий агломерат розміром 8-15 мм або великі шматки шихти без палива), який захищає колосники від високих температур, запобігає просипанню шихти через зазори та полегшує зняття готового агломерату після процесу.

Ключова особливість агломерації полягає в тому, що кокс горить лише у вузькому по висоті шарі шихти. Усі частки палива нижче ще не досягли температури інтенсивного горіння або не отримують достатньо кисню. У міру вигоряння вуглецю зона горіння опускається вниз, проходячи всю висоту шару постелі за 12-15 хв.

У будь-який момент над зоною горіння розташований готовий агломерат, крізь який проходить повітря, що прохолоджує агломерат, підігріваючись і передаючи теплоту в зону горіння палива. Продукти горіння також передають своє тепло холодному шару сирої шихти, швидко її нагріваючи. Протягом тривалого часу температура газів, що відходять, становить близько 50 °С і

підвищується до 200-300 °С лише в останні хвилини процесу, тоді як температура в зоні горіння може досягати 1500 °С.

Отже, агломераційний процес є економічним, оскільки майже повністю використовує тепло відхідних газів і значну частину тепла готового продукту, що пояснює його широке використання в промисловості.

Сира шихта в областях, прилеглих до зони горіння, швидко нагрівається, поступово втрачаючи спершу гігроскопічну, а потім гідратну вологу. Водяна пара, що утворюється, може конденсуватися, потрапляючи на холодні ділянки шихти, утворюючи зону, де вологість шихти перевищує початкову оптимальну, що створює зону перезволоження.

У зоні нагріву шихти відбуваються хімічні реакції між твердими фазами, такі як розкладання карбонатів і гідратів, а також окиснення або відновлення заліза. У найпростішому випадку спікання гематитових руд з кварцовою пустою породою гематит розпадається в зоні високих температур і відновлюється газоподібними продуктами горіння палива до магнетиту й вюститу. Продукт цієї реакції – фаяліт – плавиться при температурі 1205 °С, значно нижчій за ту, що зазвичай панує в зоні горіння. Утворений розплав активно розчиняє оксиди заліза, і при нормальній або збільшеній витраті палива значна частина шихти переходить у рідкий стан. Після вигоряння вуглецю зона високих температур опускається вниз, і розплав швидко охолоджується повітрям. Готовий агломерат – це продукт кристалізації розплавів [1].

До доменних цехів надходить так званий придатний агломерат розміром до 15 мм. Частки агломерату розміром 8-15 мм використовуються як шар на агломашині. Дрібний агломерат (менше 8 мм) і залишки не спеченої шихти додаються до агломераційної шихти як зворотні матеріали, що не лише зменшує відходи виробництва, але й покращує газопроникність шихти.

Якість агломерату визначається його хімічним складом, міцністю та здатністю до відновлення. Міцність агломерату залежить від температури виникнення рідких фаз у зоні спікання, їхньої кількості та властивостей. На це

впливають витрати палива, склад шихти, мінералогічний склад отриманого агломерату тощо.

1.3 Характеристика викидів агломераційного виробництва

Компоненти шихти з бункерів шихтових змішувачів або безпосередньо з барабанного змішувача безперервно надходять на стрічку машини. Під час руху стрічкового конвеєра шар шихти проходить під витяжний зонт запального горна з пальниками на природному газі. На ділянці запального горна шихта нагрівається до 600-800 ºС, що спричиняє окиснення вуглецю коксу, і далі температура підвищується до 1200-1300 °С, необхідної для спікання шихти, завдяки горінню коксу в її шарі. Для підтримки процесу горіння повітря всмоктується через шихту в вакуум-камери, розташовані під агломераційною машиною. Утворені продукти горіння та пил ексгаустером спрямовуються через газовідвід у систему пиловловлювання, а очищені гази випускаються в атмосферу через трубу.

Під час агломерації шихти утворюється значна кількість пилу. Це спричинено просіюванням шихтової суміші через колосникові ґрати, розтріскуванням агломерату під час руху й вібрації конвеєра, а також при його скиданні. Кількість пилу змінюється вздовж агломераційної стрічки. У першій половині стрічки обсяги пилу невеликі, оскільки шихта має підвищену вологість і низьку газопроникність. У другій половині, після висихання шихти, газопроникність зростає, і повітряний потік, що проходить через агломерат, посилюється. Тут агломерат розширюється та утворює тріщини, частково через вібрацію стрічки. Повітря, проходячи через тріщини, відриває частинки агломерату, які у вигляді пилу потрапляють до газозбірника продуктів горіння. Найбільше розтріскування та пиловиділення відбувається при скиданні агломерату з конвеєра в хвостовій частині агломашини. Обсяги викидів у різних камерах агломашини наведені в табл. 1.1. У процесі агломерації залізних руд в

атмосферу викидається велика кількість технологічних газів, що містять агломераційний пил, окиси азоту, оксиди вуглецю, а при агломерації сірчистих руд – SO_2.

Таблиця 1.1 – Обсяги викидів у різних камерах агломашини

Параметри викидів	Номер вакуумкамери агломашини					
	1	2	6,7-26	28	30	32
Витрата газу, $м^3$/год.	28500	18500	10000-14000	17000	17000	23000
Концентрація пилу, г/$м^3$	10,0	3,5	0,2-0,6	4,0	8,1	18,2

Пилогазові викиди в агломераційних цехах виникають від технологічного обладнання, такого як агломераційна машина, охолоджувачі для повернення і агломерату, випалювальні печі, а також численних аспіраційних систем, встановлених на дробарках, грохотах, транспортерах тощо. Крім цього, на навколишнє середовище впливають зовнішні джерела пиловиділення, зокрема розвантажувальні та навантажувальні пристрої для вихідних матеріалів. Пилоутворення починається ще з моменту надходження сировини на підприємство – під час її вивантаження, транспортування, перевантаження, а також у процесах підготовки шихти чи окатишів до спікання.

Аспіраційні викиди на аглофабриці надходять від хвостової частини агломашин, місць завантаження агломерату в хопери, а також від прийомних бункерів руди й колошникового пилу, конвеєрів і перевантажувальних вузлів у відділенні підготовки шихти.

У табл. 1.2 наведена характеристика аспіраційних викидів.

Таблиця 1.2 – Характеристика аспіраційних викидів пилу від 6 агломераційних машин

Найменування джерел	Кількість джерел	Викиди шкідливих речовин	
		Секундний, г/с	Річний, т/рік
Хвостова частина агломашини	6	50,5	1560
Приймальні бункери руди	16	7,59	240

Приймальні бункери колошникового пилу	12	7,59	240
Конвеєри та розвантажувальні вузли шихтового відділення	1	7,59	240
Рудний двір (вагоноопрокидувач)	1	7,05	222,9
Всього			2502,9

Пилоутворення під час вивантаження сирих матеріалів залежить головним чином від їхнього типу та властивостей. Крупні та вологі матеріали виділяють менше пилу, а дрібні й сухі – більше. Пил також виділяється при укладанні сирих матеріалів на рудному дворі після вивантаження.

У приміщенні вагоноперекидача під час вивантаження коксового дріб'язку концентрація пилу в робочій зоні становить 42–46 мг/м³, тоді як в аспіраційному повітрі пилу може бути від 75 до 150 мг/м³. При вивантаженні руди вміст пилу в повітрі складає 12–14 мг/м³, а вапняку – 13–15 мг/м³.

У розподільчому корпусі пил утворюється при перевантаженні коксового дріб'язку, руди, колошникового пилу та вапняку. Кількість коксового пилу до очищення скрубером сягає 180–260 мг/м³, рудного пилу – 65–135 мг/м³, а після скрубера – 16 мг/м³.

Пилоутворення в дробильному корпусі відбувається під час подрібнення коксового дріб'язку, руди та вапняку. Подрібнені матеріали транспортуються в шихтові бункери, де при перевантаженні виділяється значна кількість пилу. Під час перевантаження руди концентрація пилу може досягати 220 мг/м³, коксового дріб'язку – 520 мг/м³, а вапняку – 250 мг/м³.

Із шихтових бункерів матеріали через дозувальні столи надходять у барабан для первинного змішування, де також відбувається пилоутворення. Викиди відзначаються під час охолодження агломерату.

Велика кількість пилу виділяється при скиданні агломерату з кінцевої частини стрічки на колосниковий гуркіт. Під час розламування агломерату також виділяються гази внаслідок згоряння вуглецю й сірки. Інтенсивне пилоутворення

спостерігається під час сортування агломерату на віброгуркотах і при його навантаженні у вагони.

На багатьох аглофабриках працюють відділення для випалу вапняку, обладнані різним обладнанням. При їхній роботі утворюються газоподібні продукти, що містять вапняний пил, а також оксид вуглецю та сірчистий ангідрид.

Аналіз дисперсного складу пилу від хвостових частин агломашин і вузла навантаження агломерату проводився за допомогою ситового методу [10]. Дисперсний склад пилу від хвостових частин агломашин і вузла навантаження агломерату наведено в табл. 1.3. Результати обробки дисперсного складу пилу наведено на рис. 1.1.

Таблиця 1.3 – Гранулометричний склад пилу від хвостових частин агломашин і відділу навантаження агломерату

Розмір часток пилу, мкм	0- 5	5-10	10-20	20-40	40-60	60-80	>80
Вміст, %	5,5	4,5	12,0	19,0	17,5	23	18,5

Цей пил має абразивні властивості. Його об'ємна маса становить 2,0 г/см³, а природний кут укосу – 40º. Концентрація водяної пари в газах дорівнює 15 г/м³ сухого газу, а вміст зважених часток у газі – 10 г/м³.

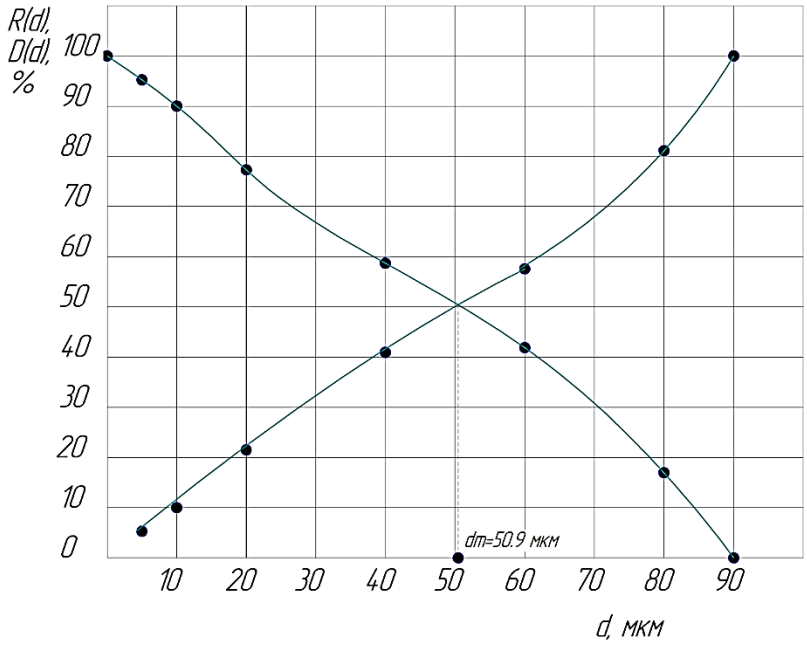


Рисунок 1.1 – Визначення медіанного діаметра часток пилу

Аналіз гранулометричного складу пилових часток за інтегральним методом показав, що медіанний діаметр часток пилу становить 50,9 мкм.

Склад газів, що відходять від хвостової частини агломашин і вузла навантаження агломерату %: 70,8 N_2, 12,5 O_2, 8,7 H_2O, 7,2 CO_2, 0,75 CO, 0,05 SO_2.

Проаналізуємо дані щодо гранулометричного та хімічного складу пилу з шихтового, вапняно-дробильного, коксо-дробильного відділень та тракту повернення, що гаситься наведені в таблицях 1.4-1.8.

Таблиця 1.4 – Гранулометричний склад пилу від шихтового і вапняно - дробильного відділення

Розмір, мкм	6,3-16	16-25	25-40	40-63	63-80	80-100	100-125	125-250	>250
Вміст по масі, %	9,5	11,4	13,2	32,67	8,6	2,4	2,65	0,38	0,1

Таблиця 1.5 – Хімічний склад пилу від шихтового і вапняно - дробильного відділення

Найменування сполук	**FeO**	**Fe_2O_3**	**SiO_2**	**CaO**	**Al_2O_3**	**MgO**	**S**
Вміст по масі, %	3,51	29,55	7,97	27,31	1,29	0,48	0,18
Найменування сполук	**C**	**SO_3**	**MnO**	**K_2O+Na_2O**	**TiO_2**	**P_2O_5**	**інш.**
Вміст по масі, %	8,28	0,11	0,09	0,09	0,03	0,03	21,08

Таблиця 1.6 – Дисперсний склад пилу відділення дроблення коксу

Розмір, мкм	0-5	5-10	10-20	20-40	40-60	60-125
Вміст по масі %	11	7	13	19	14	36

Таблиця 1.7 – Дисперсний склад пилу від тракту повернення, що гаситься

Розмір, мкм	100-125	80-100	63-80	40-63	25-40	16-25	10-16	6,3-10	0-6,3
Вміст по масі, %	0,34	0,29	0,58	5,8	27,85	30,88	18,95	8,97	6,34

Таблиця 1.8 – Хімічний склад пилу від тракту повернення, що гаситься

Найменування сполук	FeO	Fe_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	C	SO_3	MnO	K_2O+Na_2O
Вміст по масі, %	9,91	61,18	9,2	15,9	1,4	1,1	0,9	0,1	0,16	0,15

2 АНАЛІЗ СИСТЕМ ГАЗООЧИЩЕННЯ АСПІРАЦІЙНИХ ГАЗІВ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

2.1 Технології захисту довкілля від аспіраційних газів агломераційного виробництва

Одним із джерел аспіраційних викидів під час агломерації є хвостові частини агломераційних машин, які включають дробарки, грохоти та вузли для завантаження агломерату у вагони. Зменшити рівень таких викидів можна шляхом створення герметичних укриттів для цих елементів, хоча це є досить складним завданням. Значні підсоси повітря та виділення запилених газів спостерігаються в місцях, де змінюється напрямок газового потоку, а також через абразивний знос укриттів і повітропроводів, наявність щілин та незакритих люків. Локалізовані неорганізовані викиди часто називають аспіраційними. Наприклад, на агломераційній фабриці ПАТ «Запоріжсталь» хвостова частина агломераційної машини обладнана загальним укриттям, яке розташоване між зонтом і вантажним тунелем. Ємності для вагонів з'єднані з укриттями розвантажувальних частин агломераційних машин через повітроводи, які потім підключені до витяжних труб.

З огляду на високу запиленість газів на багатьох агломераційних машинах впроваджуються вдосконалені системи аспірації хвостових частин і пиловловлювання. Раніше для очищення аспіраційних викидів використовували вологі системи, такі як циклони-промивачі, скрубери та труби Вентурі з відцентровими краплевловлювачами, а також сухі системи, зокрема електрофільтри та тканинні (рукавні) фільтри. У деяких випадках застосовували комбіновані схеми, поєднуючи сухі циклони з мокрими скруберами, включаючи труби Вентурі. Однак такі системи не завжди забезпечували необхідну ефективність очищення, залишаючи залишкову концентрацію пилу на рівні 0,5 г/м³, оскільки циклони різних конструкцій не можуть затримувати дрібнодисперсний пил. Існують системи очищення, що використовують двоступеневу аспірацію, яка включає батарейні циклони та труби Вентурі

прямокутного перерізу зі скруберами-краплеуловлювачами. Пил, що потрапляє в систему, видаляється за допомогою гідротранспорту та спрямовується в шламову насосну станцію для подальшої обробки. Однак така схема має певні недоліки: значні капітальні витрати на будівництво шламових каналів і відстійників, низьку надійність експлуатації, що може порушити безперебійну роботу основного технологічного обладнання. Також важливо захистити газоочисні установки від ерозії та корозії, враховуючи їхню високу енергоємність і недостатню ефективність.

Осадження часток на стінках газоходів і в димососах відбувається внаслідок взаємодії активного вапна з SO_2 і CO_2, що містяться в агломераційних газах. Це призводить до утворення нерозчинних у воді сульфатів і карбонатів кальцію, які руйнують футерування обладнання, викликають засмічення газоходів і можуть порушувати роботу димососів.

Також слід зазначити, що безпосередня утилізація вологих шламів шляхом їх подачі на стрічку є небажаною, оскільки це погіршує газопроникність шихти, що, в свою чергу, уповільнює процес агломерації. Транспортування вологих шламів також викликає певні труднощі. Зазвичай вологість шламів, які використовуються в агломераційній шихті, не повинна перевищувати 8-9%, а в окремих випадках допускається до 12%, за умови, що шлами зберігають сипучість. Утилізація відходів в агломераційному виробництві зазвичай відбувається у формі пилу, гранул, згущеної суспензії або зневодненого шламу.

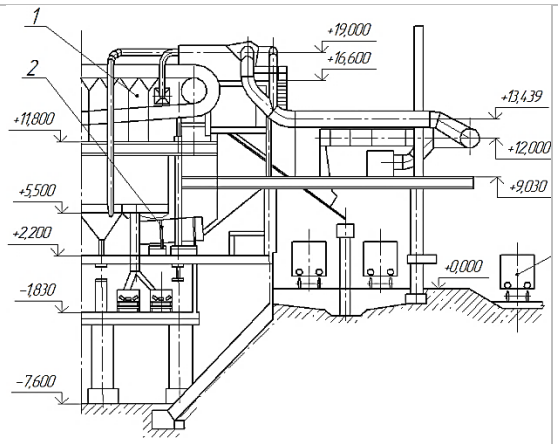
Використання необроблених шламів у шихті призводить до збільшення витрат пального на видалення вологи. Це також створює додаткове навантаження на ексгаустери, погіршує процес спікання і, в результаті, знижує міцність агломерату.

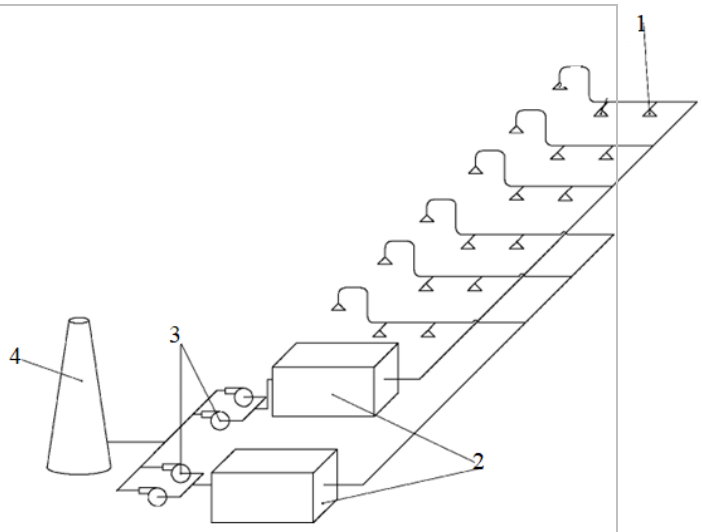
Таким чином, одним із недоліків «мокрих» пиловловлювачів є необхідність створення системи водно-шламового господарства, а також захисту обладнання від залипання, корозії та абразивного зносу.

У останні роки спостерігається тенденція до покращення очищення аспіраційних викидів на газоочистних установках. Це передбачає використання

потужних електрофільтрів і димососів, здатних обробляти обсяги газів від 1 до 2 мільйонів м³ на годину.

Ми пропонуємо рішення для очищення аспіраційних викидів від шести агломераційних машин за допомогою горизонтальних електрофільтрів. Запилене повітря, що надходить з хвостових частин агломашин, а також з місць завантаження агломерату, вузлів підготовки шихти, гуркотів і охолоджувачів, збирається в колектор великого діаметра і направляється на очищення до двох двосекційних електрофільтрів ЕГА 2-56-12-6-3 (рис. 2.1 а, б).





1 – хвостова частина агломашини; 2 – установка барабану охолодження повернення; 3 – вагон	1 – витяжний зонт; 2 – горизонтальний електрофільтр; 3 – вентилятор; 4 – димова труба.

Рисунок 2.1 – Система відведення та очистки аспіраційних газів

Отже, аспіраційне повітря, яке відводиться з хвостових частин агломераційних машин і завантажувальних вузлів агломерату в хопери, переміщається через колектор за допомогою чотирьох димососів ВДН–32Б до двох електрофільтрів для очищення, а потім викидається в атмосферу через димову трубу.

Впровадження колекторної системи дозволяє збирати викиди з різними рівнями вологості та усереднювати їх, що позитивно впливає на електрофізичні властивості накопиченого пилу. Усереднені характеристики пилогазового потоку сприяють ефективному використанню електричного методу очищення аспіраційних викидів агломераційного виробництва. Крім того, колекторна схема подачі пилоповітряної суміші до електрофільтрів забезпечує гнучкість в експлуатації газоочисного обладнання в різних аварійних ситуаціях.

2.2 Пристрій і принцип дії сухого пластинчастого електрофільтра

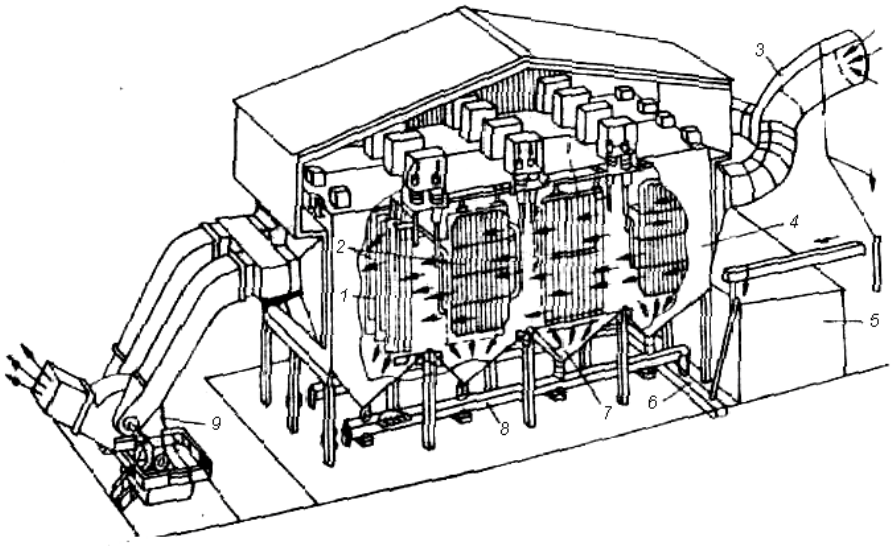
Пластинчасті електрофільтри типу ЕГА (рис. 2.1) використовуються для ефективного сухого очищення газів, які виникають під час різних технологічних процесів у різних секторах промисловості, таких як чорна та кольорова металургія, а також хімічна і нафтова промисловість.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд електрофільту

Електрофільтри типу ЕГА є односекційними багатопільними апаратами прямокутної форми з корпусом зі сталі. Ці електрофільтри призначені для очищення газів при температурах до 330°С. Максимальна дозволена концентрація пилу в очищуваному газі становить 50 г/м³. Гідравлічний опір

електрофільтрів дорівнює 150 Па, а допустиме розрідження на вході становить 4 кПа (рис. 2.2).



1 – коронуючи електроди, 2 – освітлювальні (пластинчасті) електроди, 3 – газопровід газу, що надходить на очищення; 4 – корпус електрофільтра, 5 – приміщення електроапаратури; 6, 8 – гвинтові транспортери, 7 – бункер уловленого пилу; 9 – димотяг (ексгаустер)

Рисунок 2.2 – Улаштування електрофільтра типу ЕГА

Споживання електроенергії для очищення 1000 м³ газу складає 0,3 кВт·год. Промисловість випускає 41 різновид електрофільтрів типу ЕГА. Електродна система цих фільтрів складається з широкосмугових (0,64 м) відкритих електродів і рамних коронуючих електродів з голчастими елементами, з міжелектродною відстанню 0,300 м. Номінальна висота електродів може бути 6, 7,5, 9 або 12 м. Осаджувальний електрод виготовляється з 4-8 елементів, що забезпечує активну довжину поля в межах 2,56; 3,2; 3,84; 4,48; або 5,12 м. За шириною електрофільтри можуть мати від 10 до 88 газових проходів. Мінімальна площа активного перетину для проходу газу становить 16,5 м², тоді як максимальна – 285,6 м².

3 ПРОЄКТНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Проєктування горизонтального електрофільтру

Розрахунок електрофільтра типу ЕГА ведемо за наступних вихідних умов:

- температура відхідних газів t^o = 70 ^oC;
- об'єм аспіраційних газів за нормальних умов V_o = 1000000 $м^3$/год.;
- атмосферний тиск $P_{атм}$ = 101325 Па;
- тиск газів у системі газоходів $P_г$ = - 2,3 кПа;
- щільність частинок пилу ρ_n = 3500 $кг/м^3$;
- концентрація пилу в аспіраційних газах (початкова) z_1 = 9,5 $г/м^3$;

В таблиці 3.1 наведено хімічний склад газів та густина сполук, які містяться в суміші газів, за нормальних умов [5].

Таблиця 3.1 – Хімічний склад газів та густина сполук, які містяться в суміші газів, за нормальних умов

Сполуки	SO_2	CO	CO_2	H_2O	O_2	N_2
Вміст по масі, %	0,05	0,75	8,2	7,7	12,5	70,8
Густина компонентів за нормальних умов, $кг/м^3$	2,926	1,250	1,976	0,804	1,429	1,251

За даними розділу 1 наводимо усереднений дисперсний склад пилу в аспіраційних газах.

Таблиця 3.2 – Усереднений дисперсний склад пилу в аспіраційних газах

Приймаємо робочу напругу на електрофільтрі U = 80 кВ.

Розмір часток пилу, мкм	0-5	5…10	10…20	20…40	40…60	60…80	> 80
Вміст, %	5	4,5	12	19	17,5	23,5	18,5

Проводимо за методикою, наведеною в роботі [5] розрахунок основних параметрів електрофільтра ЕГА.

1. Визначаємо густину суміші аспіраційних газів за нормальних умов, кг/м^3:

$$\rho_0 = 0{,}01 \cdot \sum_1^n \rho_{0i} \cdot a_i , \qquad (3.1)$$

де a_i –вміст сполук газової суміші, об. %;

$\rho_{0\rightleftarrows i}$ – густина сполук газової суміші за н. у., кг/м^3, довідкові дані

$$\rho_0 = 0{,}01 \cdot \left((2{,}926 \cdot 0{,}05) + (1{,}250 \cdot 0{,}75) + (1{,}976 \cdot 8{,}2) + (0{,}804 \cdot 7{,}7) + (1{,}429 \cdot 12{,}5) + \right.$$
$$\left. + (1{,}251 \cdot 70{,}8)\right) = 1{,}299 кг/м^3$$

2. Тоді при робочих умовах густина суміші газів, кг/м^3, буде визначатися за наступною формулою:

$$\rho = \frac{273 \cdot (B \pm P_г)}{101325 \cdot T} \cdot \rho_0 , \qquad (3.2)$$

де B – атмосферний тиск, B =101325 кПа;

$P_г$ – тиск газів у системі газоході, $P_г$ = -2,3 кПа;

T – температура газів, T^o =(70+273) ^{o} K.

Робимо підстановку відомих параметрів:

$$\rho = \frac{273 \cdot (101{,}3 - 2{,}3)}{101{,}325 \cdot (70 + 273)} \cdot 1{,}299 = 1{,}01 \text{ кг/м}^3$$

3. Визначаємо об’єм газу при робочих умовах, м^3/с, за наступною формулою:

$$V = \frac{101325 \cdot T}{273 \cdot (B \pm P_г)} \cdot V_0 , \qquad (3.3)$$

де V_0 – обсяг газу за нормальних умов, V_o = 1000000 м^3/год.

$$V = \frac{101{,}325 \cdot (273 + 70)}{273 \cdot (101{,}3 - 2{,}3)} \cdot \frac{1000000}{3600} = 357{,}199 \text{ м}^3/\text{с}$$

4. Приймаємо швидкість газу в електрофільтрі типу ЕГА [5] W = 1-1,2 м/с. Для розрахунків беремо W = 1 м/с. Отже, визначаємо необхідну площу активного перерізу електрофільтру, м^2, за наступною формулою:

$$S = \frac{V}{W}, \tag{3.4}$$

де W – швидкість газу, м/с;

V – об'єм аспіраційних газів за робочих умов, м^3/с.

$$S = \frac{357{,}199}{1} = 357{,}199 \text{ м}^2$$

5. За допомогою каталогу обираємо 2 електрофільтрів типу ЕГА 2-56-12-6-3. Площа активного перетину кожного електрофільтру становить S =181,7 м^2. Для забезпечення необхідної площі активного перетину встановлюємо ці електрофільтри паралельно один одному.

Перераховуємо швидкість фільтрації в електрофільтрі відповідно до обраних типів електрофільтрів з площею фільтрації (181,7х2) м^2. Тоді фактична швидкість буде визначатися за формулою:

$$W = \frac{V}{nS}, \tag{3.5}$$

де n – кількість апаратів, n = 2 шт.,

$$W = \frac{357{,}199}{2 * 181{,}7} = 0{,}98 \text{ м/с}$$

6. Визначаємо коефіцієнт температурного розширення з урахуванням параметрів відхідних газів та стандартних умовах ($p_{ст}$ = 101325 Па; $t_{ст}$ = 20 ºС):

$$\beta = \frac{(B \pm P_г) \cdot (273 + t_{ст})}{p_{ст}(273 + t)}, \tag{3.6}$$

де p і $p_{ст}$ – тиск відповідно газу, що очищають, і при стандартних умовах, кПа;

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

$$\beta = \frac{(101{,}3 - 2{,}3)\cdot(273 + 20)}{101{,}3 * (273 + 70)} = 0{,}83 \text{ кг/м}^3$$

7. Визначаємо критичну напруженість електричного поля, В/м, за наступною формулою:

$$E_{KP} = 3{,}04 \cdot \left(\beta + 0{,}0311 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{R_1}} \right) \cdot 10^6, \qquad (3.7)$$

де R_1 – радіус вістря коронуючого електроду, мм, приймаємо R = 0,3 мм.

Тоді

$$E_{KP} = 3{,}04 \cdot \left(0{,}83 + 0{,}0311 \cdot \sqrt{\frac{0{,}83}{0{,}0003}} \right) \cdot 10^6 = 7{,}5 \cdot 10^6 \text{ В/м.}$$

Далі визначаємо критичну напругу корони, В, за наступною формулою:

$$U_{KP} = E_{KP} \cdot R_1 \cdot \left(\frac{\pi \cdot H}{2 \cdot S_1} - 2{,}3 \cdot Lg \cdot \frac{2\pi \cdot R_1}{S_1} \right), \qquad (3.8)$$

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

S_1 – крок електродів, м.

Відповідно до довідкових даних, приймаємо для електрофільтра типу ЕГА відстань між площинами коронуючих і осаджувальних електродів рівною $H = \frac{0{,}300}{2}$м, а крок електродів - S_1 = 0,18 м.

$$U_{KP} = 7{,}5 \cdot 10^6 \cdot 0{,}0003 \cdot \left(\frac{3{,}14 \cdot 0{,}3}{2 \cdot 0{,}18} - 2{,}3 \cdot \log \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}0003}{0{,}18} \right) = 16{,}13 \cdot 10^3 \text{ В}$$

Отже, критична напруга корони становить 16,13*10^3 В.

8. Визначаємо далі рухливість іонів газової суміші за нормальних умов, за наступною формулою:

$$K_0 = \text{К}_{0\text{i}} \cdot a_i, \tag{3.9}$$

де $\text{К}_{0\text{i}}$ – рухливість іонів газової суміші за нормальних умов.

a_i – об'ємний вміст компонентів газової суміші, долі.

$K_0 = \text{К}_{0\text{i}} \cdot a_i$

$\text{К}_\text{о}$ = (0,082 · 0,96 + 0,125 · 1,84 + 0,708 ·1,84 + 0,077 · 0,57 + 0,0075 · 1,15 + 0,0005 ·0,41)·10^{-4} = 1,66 · 10^{-4} м^2/(В ·с),

9. Далі робимо перерахунок рухливості іонів газової суміші за р.у. за наступною формулою:

$$K = K_0 \cdot \frac{(273 \cdot T) \cdot 101{,}3}{273 \cdot (B \pm P_г)}, \tag{3.10}$$

$$K = 1{,}66 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{(273 + 70) \cdot 101{,}3}{273 \cdot (101{,}3 - 2{,}3)} = 2{,}13 \cdot 10^{-4} \quad \text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$$

10. Визначаємо лінійну щільність струму корони, А/м, за наступною формулою :

$$i_0 = \frac{4\pi \cdot K \cdot \psi \cdot U \cdot (U - U_{кр})}{9 \cdot 10^9 \cdot S_1^2 \cdot \left(\frac{\pi H}{2S_1} - \ln \frac{2\pi R_1}{S_1} \right)}, \tag{3.11}$$

де $\psi = 0{,}042$ при $\frac{H}{S} = \frac{0{,}3}{2 \cdot 0{,}18}$

$$i_0 = \frac{4 \cdot 3{,}14 \cdot 2{,}13 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}042 \cdot 80 \cdot 10^3 \cdot (80 - 16{,}13) \cdot 10^3}{9 \cdot 10^9 \cdot 0{,}18^2 \cdot \left(\frac{3{,}14 \cdot 0{,}275}{2 \cdot 0{,}18} - \ln \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}0003}{0{,}18} \right)} = 0{,}28 \cdot 10^{-3}$$

11. Тоді напруга електричного поля електрофільтра визначається за формулою:

$$E = \sqrt{\frac{8 \cdot i_0 \cdot H}{4 \cdot \pi \cdot K \cdot \varepsilon_0 \cdot S_1}}, \tag{3.12}$$

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

$$E = \sqrt{\frac{8 \cdot 0{,}28 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}3}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 2{,}13 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}18 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}}} = 3{,}97 \cdot 10^5 \text{ В/м}$$

12. За довідковими даними та відомим складом газової суміші визначаємо динамічний коефіцієнт в'язкості газу:

$$\mu = \mu_0 \cdot \frac{273 + C'}{T + C'} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{1,5}, \tag{3.13}$$

$\mu = \mu_0$

де μ_0 – динамічний коефіцієнт в'язкості газу за н. у., Па·с;

C' – постійна Сезерленда [5];

T – абсолютна температура, °К, $\mathrm{T} = 273 + t_{\mathrm{г}}$.

Вищенаведені довідникові дані вносимо до табл. 3.2.

$$\mu_{CO_2} = 13{,}7 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 254}{273 + 70 + 254} \cdot \left(\frac{273 + 70}{273}\right)^{1,5} = 17{,}03 \cdot 10^{-6}$$

$$\mu_{O_2} = 20{,}3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 131}{273 + 70 + 131} \cdot \left(\frac{273 + 70}{273}\right)^{1,5} = 24{,}37 \cdot 10^{-6}$$

$$\mu_{N_2} = 17{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 114}{273 + 70 + 114} \cdot \left(\frac{273 + 70}{273}\right)^{1,5} = 20{,}27 \cdot 10^{-6}$$

$$\mu_{H_2O} = 10{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 961}{273 + 70 + 961} \cdot \left(\frac{273 + 70}{273}\right)^{1,5} = 13{,}33 \cdot 10^{-6}$$

$$\mu_{CO} = 16{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 100}{273 + 70 + 100} \cdot \left(\frac{273 + 70}{273}\right)^{1,5} = 19{,}68 \cdot 10^{-6}$$

$$\mu_{SO_2} = 11{,}7 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 396}{273 + 70 + 396} \cdot \left(\frac{273 + 70}{273}\right)^{1,5} = 14{,}92 \cdot 10^{-6}$$

Таблиця 3.3 – Значення параметрів для обрахування динамічного коефіцієнту в'язкості газу

Сполука	Динамічний коефіцієнт в’язкості, за нормальних умов, $\mu_{o,}$ Па·с	Постійна Сезерленда, C'	Динамічний коефіцієнт за робочих умов, $\mu_{p,}$ Па·с
CO_2	$13{,}7 \cdot 10^{-6}$	254	$17{,}4 \cdot 10^{-6}$
O_2	$20{,}3 \cdot 10^{-6}$	131	$24{,}8 \cdot 10^{-6}$
N_2	$17{,}0 \cdot 10^{-6}$	114	$20{,}7 \cdot 10^{-6}$
H_2O	$10{,}0 \cdot 10^{-6}$	961	$13{,}7 \cdot 10^{-6}$
CO	$16{,}6 \cdot 10^{-6}$	100	$20{,}0 \cdot 10^{-6}$
SO_2	$11{,}7 \cdot 10^{-6}$	396	$15{,}3 \cdot 10^{-6}$

13. Тоді, встановлюємо відповідне значення відносної молекулярної маси суміші газів за наступною формулою:

$$M = \sum a_i m_i / 100, \qquad (3.14)$$

$$M = \frac{44 \cdot 8{,}2 + 32 \cdot 12{,}5 + 28 \cdot 70{,}8 + 18 \cdot 7{,}7 + 28 \cdot 0{,}75 + 0{,}05 \cdot 64}{100} = 29{,}06 \text{ кг/кмоль}$$

14. Визначаємо з формули 3.15 динамічну в'язкість газової суміші, Па·с:

$$\frac{M}{\mu} = \sum \frac{a_i m_i}{\mu_i} = 0{,}01 \cdot \left(\frac{8{,}2 \cdot 44}{17{,}03 \cdot 10^{-6}} + \frac{12{,}3 \cdot 32}{24{,}37 \cdot 10^{-6}} + \frac{70{,}8 \cdot 28}{20{,}27 \cdot 10^{-6}} + \frac{7{,}7 \cdot 18}{13{,}33 \cdot 10^{-6}} + \right.$$

$$\left. + \frac{0{,}75 \cdot 28}{19{,}68 \cdot 10^{-6}} + \frac{0{,}05 \cdot 64}{15{,}3 \cdot 10^{-6}} \right) = 1{,}47 \cdot 10^{6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu = \frac{M}{1{,}47 \cdot 10^{6}} = \frac{29{,}06}{1{,}47 \cdot 10^{6}} = 19{,}8 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

15. Отже, швидкість дрейфу частинок пилу в електричному полі електрофільтрі буде визначатися для різних розмірів частинок пилу, м/с:

- при розмірі частинок понад 1 мкм:

$$w = \frac{0{,}118 \cdot 10^{-10} \cdot E^2}{\mu} \cdot r, \qquad (3.15)$$

де r – еквівалентний радіус частинки пилу, м;

μ – динамічний коефіцієнт в'язкості газу за робочих умов, Па·с;

тоді для 1 мк швидкість дрейфу частинок пилу буде становити

$$w = \frac{0{,}118 \cdot 10^{-10} \cdot \left(3{,}97 \cdot 10^{5}\right)^2}{19{,}8 \cdot 10^{-6}} \cdot r = 9{,}4 \cdot 10^{4} \cdot r$$

Далі обраховуємо для всього діапазону дисперсного складу пилу середній радіус частинок та перераховуємо швидкість дрейфу цих частинок у полі електрофільтру.

В табл. 3.4 наведена залежність радіусу частинок пилу від дисперсного складу пилу.

Таблиця 3.4 – Залежність радіусу частинок пилу від дисперсного складу пилу

Розмір, мкм	0-5	5…10	10…20	20…40	40…60	60…80	> 80
Середній радіус, r, мкм	1,25	3,75	7,5	15,0	25,0	35,0	40,0

Отже, відповідно до форм. (3.15) перераховуємо всі швидкості дрейфу частинок пилу у полі електрофільтру ЕГА:

$W_{др\ 1,25} = 9{,}4 \cdot 10^{4} \cdot 1{,}25 \cdot 10^{-6} = 11{,}75 \cdot 10^{-2}$ м/с;

$W_{др\ 3,75} = 9{,}4 \cdot 10^{4} \cdot 3{,}75 \cdot 10^{-6} = 35{,}25 \cdot 10^{-2}$ м/с;

$W_{др\ 7,5} = 9{,}4 \cdot 10^{4} \cdot 7{,}5 \cdot 10^{-6} = 70{,}5 \cdot 10^{-2}$ м/с;

$W_{др\ 15,0} = 9{,}4 \cdot 10^{4} \cdot 15{,}0 \cdot 10^{-6} = 141 \cdot 10^{-2}$ м/с;

$W_{др\ 25,0} = 9{,}4 \cdot 10^{4} \cdot 25{,}0 \cdot 10^{-6} = 235 \cdot 10^{-2}$ м/с;

$W_{др\ 35,0} = 9{,}4 \cdot 10^{4} \cdot 35{,}0 \cdot 10^{-6} = 329 \cdot 10^{-2}$ м/с;

$W_{др\ 40,0} = 9,4 \cdot 10^4 \cdot 40,0 \cdot 10^{-6} = 376 \cdot 10^{-2}$ м/с.

16. Далі встановлюємо значення питомої поверхні осадження за формулою:

$$f = \frac{n \cdot S}{V}, \tag{3.16}$$

де n – кількість апаратів, шт.;

S – загальна площа осадження, м^2.

$$f = \frac{2 \cdot 15570}{357,199} = 87,18 \text{ м}^2$$

17. Розраховуємо значення фракційного коефіцієнту очистки за наступною формулою:

$$\eta_i = 1 - e^{-fW_{\partial pi}}, \tag{3.17}$$

Розрахунки ведемо для всіх фракцій пилу та вносимо до табл. 3.4:

$\eta_i = 1 - e^{-fW_{\partial pi}}$

$\eta_{1,25} = 1 - e^{-87,18 \text{ x } 0,1175} = 0,99996;$

$\eta_{3,75} = 1 - e^{-87,18 \text{ x } 0,3525} = 1,0;$

$\eta_{7,5} = 1 - e^{-87,18 \text{ x } 0,705} = 1,0;$

$\eta_{15,0} = 1 - e^{-87,18 \text{ x } 1,41} = 1,0;$

$\eta_{25} = 1 - e^{-87,18 \text{ x}2,35} = 1,0;$

$\eta_{35,0} = 1 - e^{-87,18\text{x}3,29} = 1,0;$

$\eta_{40,0} = 1 - e^{-87,18 \text{ x } 3,76} = 1,0;$

Таблиця 3.5 – Розрахункові дані ефективності роботи електрофільтру ЕГА 2-88-12-6-3

Фракція, мкм	Еквівалентний радіус частинки, мкм	Швидкості дрейфу частинок пилу, м/с	Фракційний коефіцієнт очистки, %
0-5	1,25	$5,63 \cdot 10^{-2}$	0,99998

5-10	3,75	$16,88 \cdot 10^{-2}$	100
10-20	7,5	$33,75 \cdot 10^{-2}$	100
20-40	15,0	$67,5 \cdot 10^{-2}$	100
40-60	25,0	$112,5 \cdot 10^{-2}$	100
60-80	35,0	$157,5 \cdot 10^{-2}$	100
Більше 80	40,0	$180,0 \cdot 10^{-2}$	100

18. Визначаємо загальний коефіцієнт очистки, без врахування виносу пилу під час струшування електродів електрофільтру за наступною формулою:

$$\eta = \frac{\eta_i \cdot \Phi_{фр}}{100}, \tag{3.18}$$

де $\Phi_{фр}$ – вміст часток фракцій, %.

$$\eta = \frac{0,99996 \cdot 5 + 1 \cdot 4,5 + 1 \cdot 12 + 1 \cdot 19 + 1 \cdot 17,5 + 1 \cdot 23,5 + 1 \cdot 18,5}{100} = 0,999998$$

19. Визначаємо загальний коефіцієнт очистки з врахуванням виносу пилу під час струшування електродів ($К_{вин} = 0,9$) за формулою :

$$\eta = 1 - exp\left[K_{вин} \cdot 2,3 \cdot \lg(1-\eta)\right], \tag{3.19}$$

$\eta = 1 - exp\left[0,9 \cdot 2,3 \cdot \lg(1 - 0,999998)\right] = 0,99999$ тобто 99,999 %.

20. Розраховуємо запиленість газів після електрофільтру, кінцеву запиленість за наступною формулою:

$$z_2 = z_1 \cdot (1-\eta), \tag{3.20}$$

$z_2 = 9,5 \cdot (1 - 0,99999) = 0,000095$ г/м^3

Отже, згідно з розрахунками, було обрано два електрофільтри типу ЕГА 2-56-12-6-3, які розташовані паралельно і мають активну площу перерізу 181,7 м^2. Це забезпечує високу ефективність очистки газу від пилу.

3.2 Аеродинаміка газового тракту системи газоочиски аспіраційних викидів аглоцеху

Для розрахунку повного опору газового тракту необхідно знайти суму опору з'єднувальних газоходів, опору електрофільтру ЕГА та врахувати опір димової труби. Отже, повний опір, Па, розраховується за формулою:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{газ.}} + \Delta P_{\text{ел.ф.}} + \Delta P_{\text{дим.тр}}, \quad (3.21)$$

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

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

$\Delta P_{\text{ел.ф.}}$ – опір електрофільтра, Па;

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

$$\Delta p = \sum_{i=1}^{m} \Delta \text{p}_{\text{тр } i} + \sum_{i=1}^{m} \Delta p_{м\ i}, , \quad (3.22)$$

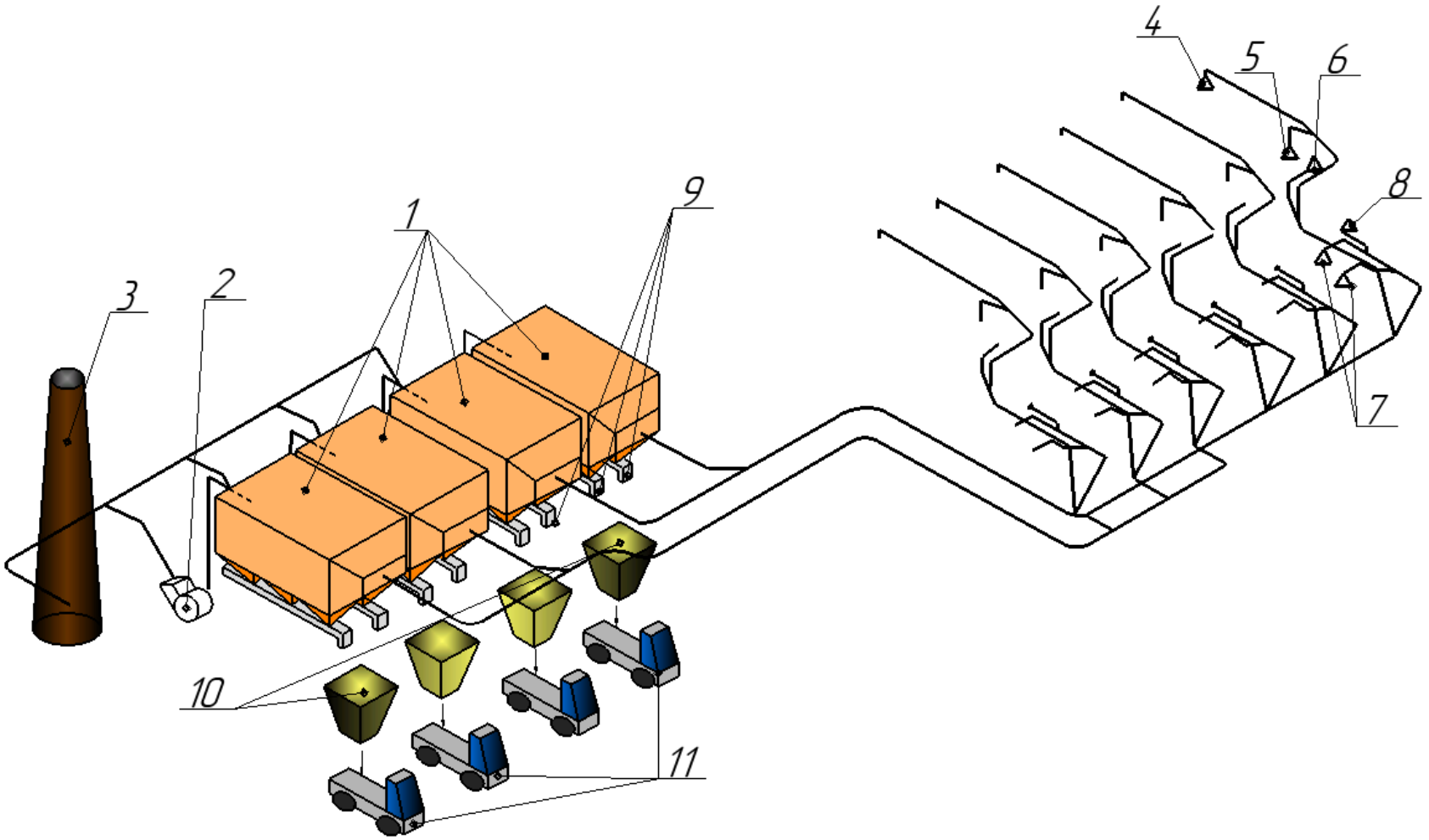
де i – номер розрахункової ділянки, згідно рис. 3.2;

m – кількість розрахункових ділянок, згідно рис. 3.2.

Лінійні втрати тиску на тертя вздовж розрахункової ділянки визначають за формулою Дарсі-Вейсбаха, Па:

$$\Delta p_{тр\ i} = \lambda_i \cdot \frac{l_i}{d_{\text{e}i}} \cdot \rho_{гі} \cdot \frac{w_i^2}{2}., \quad (3.23)$$

де λ_i – коефіцієнт гідравлічного тертя (Дарсі).



1 – електрофільтр; 2 – димотяг; 3 – димова труба; 4-8 – місця забору аспіраційного повітря; 10 – бункери; 11 - автотранспорт

Рисунок 3.2 – Розрахункова схема аеродинаміки газового тракту

Коефіцієнт Дарсі залежить від двох безрозмірних параметрів: числа Рейнольдса та відносної шорсткості. Число Рейнольдса обчислюється за наступною формулою:

$$Re_i = \frac{w_i \cdot d_{ei}}{\nu_i}., \tag{3.24}$$

Для визначення густини газів перед входом у газовідвідний тракт при температурі 80 ºС використовується формула, яка дозволяє розрахувати необхідне значення з урахуванням робочих умов.

$$\rho_г = \rho_0 \cdot \frac{273}{273 + t_г}, \tag{3.25}$$

де$t_г$ – температура газу, що очищується, °С.

$$\rho_г = 1{,}299 \cdot \frac{273}{273 + 70} = 1{,}034 \text{ кг/м}^3$$

Об’єм газів з урахуванням розрахункової робочої густини, м^3/с:

$$V = \frac{V_0}{3600} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_t}, \tag{3.26}$$

деρ_t – густина газу за робочих умов, кг/м^3, $\rho_t = \rho_г$

$$V = \frac{1000000}{3600} \cdot \frac{1{,}299}{1{,}034} = 348{,}97 \quad \text{м}^3/\text{с}$$

Таким чином, об'ємна витрата аспіраційних газів від однієї агломашини становитиме 58,16 м³/с. Подальші розрахунки проводимо з урахуванням втрати температури 0,5 °С на кожні 10 м довжини газоходу [5], а результати заносимо в табл. 3.4. При виборі діаметрів газоходів необхідно підібрати швидкість і об'ємну витрату газів таким чином, щоб на всіх ділянках і відгалуженнях газоходу їх значення залишалися відносно однаковими. Діаметр газоходу розраховується за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{V}{w}}, \tag{3.27}$$

де w – швидкість газів у газоході, м/с.

Відомо, що рух газів у газоході проходить через область «гідравлічно шорстких» труб, де поверхня труб значно впливає на опір потоку. У цьому випадку для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя застосовується наступна формула, яка враховує як шорсткість труб, так і динамічні характеристики потоку газу. Цей коефіцієнт є важливим параметром для розрахунку опору в системі та забезпечення стабільної роботи газоходу.

$$\lambda_i = 0{,}11 \cdot \left(\frac{k_{ei}}{d_{ei}} \right)^{0{,}25}, \qquad (3.28)$$

Втрати тиску на тертя в газоході рівні сумі втрат на окремих розрахункових ділянках:

$$\Delta p_{mp} = \sum_{i=1}^{m} \Delta p_{mpi}, \qquad (3.29)$$

Отримані результати заносимо в таб. 3.6.

Втрати тиску на місцевих опорах визначають по формулі Вейсбаха, Па:

$$\Delta p_{мі} = \xi_i \cdot \rho_{гі} \cdot \frac{v_i^2}{2}, \qquad (3.30)$$

де ζ_i – коефіцієнт місцевого опору, що залежить від його виду, форми трубопроводу, розмірів перешкод на шляху потоку.

Втрати тиску на місцевих опорах у газоході дорівнюють сумі втрат на окремих розрахункових ділянках, Па:

$$\Delta p_{м} = \sum_{i=1}^{m} \Delta p_{мі}, \qquad (3.31)$$

Види місцевих опорів, рис.3.2:, наведені у табл. 3.5.

Таблиця 3.6 – Характеристика ділянок системи газопроводів

Номер ділянки	Види місцевих опорів
Ділянка 1	Вхід в канал (розташований далеко від стінки)

	Секційне коліно, 3 шт.
Ділянка 2	Трійник (злиття потоків у несиметричному трійнику) Дифузор
Ділянка 3	Трійник (злиття потоків у несиметричному трійнику) Секційне коліно,1 шт Диффузор
Ділянка 4	Дифузор Трійник (злиття потоків у несиметричному трійнику)
Ділянка 5	Трійник (злиття потоків у несиметричному трійнику) Дифузор Секційне коліно, 1 шт Вхід в електрофільтр (дифузор)
Ділянка 5 -6	Опір електрофільтру
Ділянка 6	Вихід з електрофільтру (конфузор) Секційне коліно, 2 шт Трійник (розподіл потоків у симетричному трійнику)
Ділянка 7	конфузор Секційне коліно, 1 шт
Ділянка 8	Секційне коліно, 1 шт Диффузор
Ділянка 9	Трійник (злиття потоків) Дифузор Секційне коліно, 1 шт
Ділянка 10	Трійник (злиття потоків) Дифузор Вхід в димову трубу

Рух газів у газоході відбувається в умовах «гідравлічно шорстких» труб, де тертя між газом і трубною поверхнею створює додатковий опір потоку. Для точного визначення коефіцієнта гідравлічного тертя в таких умовах використовується спеціальна формула, яка враховує не лише шорсткість труб, але й інші фактори, як-от швидкість потоку та характеристики газу. Розрахунок цього коефіцієнта є ключовим для оптимізації ефективності газоходу, зменшення енергетичних витрат та забезпечення стабільного функціонування системи транспортування газу.

Таблиця 3.7 – Результати аеродинамічного розрахунку газового тракту

№ діл	Q, $м^3/с$	ρ, $кг/м^3$	d, м	V, м/с	L, м	$\Delta P_м$, Па	ΔP_l, Па	$\sum P$,Па
Витяжний зонт, 200 Па								
1	24,3	1,031	1,4	15,8	8,0	272,9	8,01	280,91
2	48,6	1,033	1,9	17,1	7,0	226,57	5,74	232,31
3	58,16	1,034	2,0	18,52	15,0	395,38	10,58	405,96
4	115,87	1,038	2,6	21,83	10,0	332,7	6,98	339,68
5	173,48	1,04	3,1	23,0	100	562,58	60,83	623,41
5-6	Електрофільтр, 500 Па							
6	173,98	1,043	3,1	23,06	14,0	628,70	14,2	642,9
7	87,07	1,044	2,2	22,91	8,0	191,68	8,61	200,29
8	87,07	1,044	2,2	22,91	8,0	185,52	8,61	194,13
9	174,31	1,045	3,1	23,1	12,0	372,2	9,26	381,46
10	349,29	1,047	4,4	22,98	19,0	540,76	10,47	551,23
Разом 4552,28 Па								

Розрахунок самотяги. Самотяга виникає на ділянці, де початкова та кінцева точки знаходяться на різних висотах. Вона обумовлена різницею густин між нагрітими газами та зовнішнім повітрям. Якщо гази рухаються вгору по каналу, самотяга вважається позитивною, а якщо вниз – негативною.

Розрахунок опору на вході в димову трубу ведеться за наступною формулою:

$$\Delta p_{вх.тр} = \lambda \cdot \frac{H_{тр}}{d_{тр}} \cdot \rho_г \cdot \frac{W^2_{гирл}}{2}, \qquad (3.32)$$

де λ – коефіцієнт Дарсі;

$H_{тр.}$ – висота димової труби, м, приймаємо Н= 120 м;

$W_{гирл.}$ – швидкість в гирлі димової труби, м/с, приймаємо $W_{гирл.}$=18 м/с;

$\rho_г$ – густина газів на вході в димову трубу, кг/м^3, відповідно до розрахунків 0,999 кг/м^3.

$$\Delta p_{вх.тр} = 0{,}017 \cdot \frac{120}{5{,}4} \cdot 1{,}047 \cdot \frac{18^2}{2} = 64{,}08 \text{ Па}$$

Опір на виході з димової труби:

$$\Delta p_{вих.тр} = \xi_{вих} \cdot \rho_i \cdot \frac{\omega_{уст}^2}{2},$$

(3.33)

де $\xi_{вих} = 1{,}15$ – коефіцієнт гідравлічного опору на виході з димової труби.

$$\Delta p_{вих.тр} = 1{,}15 \cdot 1{,}047 \cdot \frac{18^2}{2} = 195{,}06 \text{ Па}$$

Розраховуємо далі величину динамічного тиску, який необхідно створити для підтримки швидкості газу у гирлі труби $W_{уст.} = 18$ м/с:

$$\Delta p_д = \rho_i \cdot \frac{\omega_{уст}^2}{2}, \quad (3.34)$$

$$\Delta p_д = 1{,}047 \cdot \frac{18^2}{2} = 169{,}614 \text{ Па}$$

За формулою (3.38) визначаємо сумарний тиск в димовій трубі

$$P_Σ = {}_ΔP_{вх.тр.} + {}_ΔP_{вих.тр.} + P_д = 64{,}08 + 195{,}06 + 169{,}614 = 428{,}754 \text{ Па}$$

(3.38)

Розрахунок тяги, що створюється трубою (Самотяга):

$$P_с = (\rho_{атм} - \rho_г) \cdot q \cdot H_{тр},, \quad (3.35)$$

де $\rho_{атм}$ –густина зовнішнього повітря, кг/м^3:

$$p_{атм} = \rho_0 \cdot \frac{273 \cdot B}{(273 + t_{ос}) \cdot B_{ст}}, \quad (3.36)$$

де ρ_o – густина повітря за нормальних умов, кг/м^3, ρ_o =1,293 кг/м^3;

t_{oc} – температура зовнішнього повітря, ° С, приймаємо 27 °С ;

$B_{ст}$ – стандартний тиск, $B_{ст}$ = 101325 Па.

$$p_{атм} = 1{,}293 \cdot \frac{273 \cdot 101325}{(273+27) \cdot 101325} = 1{,}177 \text{ кг/м}^3$$

$P_c = (1{,}177 - 1{,}047) \cdot 9{,}81 \cdot 120 = 153{,}036$ Па.

Визначаємо необхідну величину додаткового тиску в трубі:

$P_{доп.} = P_c - P_\Sigma = 153{,}036 - 428{,}754 = -275{,}718$ Па

Оскільки значення $P_{доп} < 0$, то ця величина враховується як додатковий опір газовідвідного тракту. Це пояснюється тим, що тяговий агрегат повинен забезпечувати додатковий тиск для переміщення газів через димову трубу з заданою швидкістю.

Отже, загальне розрахункове значення опору газовідвідного тракту буде становити:

ΔP = 4552,28+275,718 = 4827,998 Па.

Вибір димососу здійснюється на основі аеродинамічного розрахунку газовідвідного тракту. Продуктивність димососу ($Q_д$) визначається з урахуванням запасу 10%, що дозволяє компенсувати можливі коливання в умовах експлуатації. Це значення вибирається незалежно від температури газів, проте з коригуванням на барометричний тиск, прийнятий за стандарт 101,3 кПа, щоб забезпечити ефективність роботи системи в різних умовах атмосферного тиску.

$$Q_д = 1{,}1 \cdot Q_р \cdot \frac{101{,}3}{p_{бар}}, \qquad (3.37)$$

На ділянці №7 витрата аспіраційного повітря становить $Q_р$ = 103,552 м^3/с = 372787,2 м^3/год. за робочих умов.

Тоді

$$Q_д = 1{,}1 \cdot 313452 \cdot \frac{101{,}3}{101{,}3} = 344797{,}2 \text{ м}^3/\text{год}$$

Тиск, який створюється димососом (розрідження), приведений до умов каталогу, за яким вибирається димосос, позначається як Δркат і приймається згідно з довідниковими даними:

$\Delta p_{кат} = \beta_2 \cdot \Delta p_р \cdot K_р = 1{,}2 \cdot 1301{,}709 \cdot 1{,}463 =$ Па

де β_2 – коефіцієнт запасу тиску, приймаємо β_2=1,2;

$\Delta p_р$ – сумарний опір газовідвідного тракту, Па, $\Delta p_р$ = 4944,35 Па.

$K_р$ – коефіцієнт перерахунку.

Коефіцієнт $K_р$ визначається по формулі:

$$K_р = \frac{T_{гі}}{T_х} \cdot \frac{101{,}3}{p_{бар}} \cdot \frac{\rho_{0гі}}{\rho_{0в}}, \qquad (3.38)$$

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

$\overline{\text{Т}_{\text{г}i}}$ – середня температура газу на останній розрахунковій ділянці газоходу, К. $\overline{\text{Т}_{\text{г}i}} = (\overline{t^0_{гі}} + 273)$;

$\rho_{0гі}$ – густина газу при НФУ на останній розрахунковій ділянці, кг/м^3;

$p_{бар}$ – атмосферний тиск, кПа;

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

Середня температура газу на восьмій розрахунковій ділянці $\bar{t}_г = 77$ ºС.

Тоді:

$$K_р = \frac{(273+60)}{(273+30)} \cdot \frac{101{,}3}{101{,}3} \cdot \frac{1{,}299}{1{,}293} = 1{,}104$$

$\Delta p_{кат} = 1{,}2 \cdot 4827{,}998 \cdot 1{,}104 = 6396{,}13$ Па

Обираємо, відповідно до розрахунків, вентилятор типу ВДН–32Б та визначаємо потужність димососу, кВт:

$$N = \frac{Q_{кат} \cdot p_{кат}}{\eta_{кат} \cdot K} \cdot 10^{-3}, \quad (3.39)$$

$$N = \frac{475 \cdot 6396{,}13}{0{,}68 \cdot 3600 \cdot 1{,}104} \cdot 10^{-3} = 1124{,}17 \text{ кВт}$$

В проєкті обирається 4 димососи, з яких по два встановлено для кожного електрофільтра.

Вентилятор типу ВДН-32Б – це осьовий вентилятор, який застосовується для вентиляції різних промислових об'єктів, а також у системах повітряного обміну на виробничих підприємствах. Принцип його дії базується на створенні потоку повітря або газів за допомогою обертання лопатей ротора, що встановлені на валу вентилятора. Під час обертання лопатей, повітря або гази рухаються вздовж осі вентилятора (осьовий напрямок потоку), що дозволяє ефективно забезпечувати вентиляцію приміщень або транспортувати гази через систему трубопроводів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Ідентифікація небезпечних та шкідливих факторів в агломераційному виробництві

На аглофабриках працівники піддаються впливу низки небезпечних і шкідливих факторів, серед яких основними є пил, шкідливі гази, шум, теплове випромінювання та вібрація. Вплив цих факторів на умови праці агломератника наведено у табл. 4.1.

Теплові впливи. Під час виробництва агломерату виділяється значна кількість тепла від розпеченого продукту, нагрітих поверхонь горна, трубопроводів газоповітряних трактів, а також через витоки гарячих газів через нещільності в обладнанні. На робочому місці агломератника інтенсивність теплового випромінювання сягає 4500-5000 Вт/м², у машиніста ексгаустера – 3300-3500 Вт/м², що в десятки разів перевищує нормативний показник у 140 Вт/м². Температура повітря в робочих зонах також є надмірною: 35-40 °С у агломератника, 39-41 °С у машиніста ексгаустера та 27-28 °С у дробильника. Такі умови перевищують допустимі значення температур та створюють додаткове теплове навантаження, що підсилюється інфрачервоним випромінюванням з довжиною хвиль до 10 мкм [3].

Запиленість. Більшість технологічних процесів, таких як дроблення, просівання, перевантаження, перемішування та спікання шихти, супроводжується виділенням великої кількості пилу. Концентрації пилу на робочих місцях агломератника (1050 мг/м³), дробильника (1500 мг/м³) та машиніста ексгаустера (135,95 мг/м³) значно перевищують норматив у 4 мг/м³. Пил негативно впливає на органи дихання, може ускладнювати орієнтування в робочій зоні, погіршувати видимість, а також спричиняти прискорене зношення обладнання. Крім того, пил у деяких випадках є вибухонебезпечним та може генерувати статичні заряди.

Шум і вібрація. Робота дробарок, агломашин і ексгаустера створює підвищений рівень шуму – до 100 дБА, що перевищує норматив у 92 дБА. Вібрації, спричинені роботою обладнання, також перевищують допустимі межі, створюючи додатковий вплив на організм. Високий рівень шуму та вібрації призводить до спазмів судин, порушень роботи нервової системи, шлунково-кишкового тракту, кістково-м'язового апарату, а також погіршує слух і зір.

Таблиця 4.1. – Оцінка факторів виробничого середовища трудового процесу агломератника.

Робоче місце – пост керування агломераційної машини

№ п/п	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норм. знач. ГДК, ПГДУ	Факт. знач.	III клас – шкідливі й небезпечні умови й характер праці			Час дії фактора, %, за зміну
				I	II	III	
1.	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3: I клас небезпеки - Хромовий ангідрид II клас небезпеки- Аерозоль оксиду марганцю III - IY клас небезпеки: азоту (II) оксид, сульфур (IV) оксид, карбону (II) оксид	 0,01 0,3 2,0 10,0 20,0	 0,008 0,35 1,9 6,7 18,0	1,17р			72
2.	Пил переважно фіброгеної дії, мг/м^3	4,0	10,50			2,63 р	90
3.	Вібрація (загальна й локальна), дБ	92	97		5		80
4.	Мікроклімат у приміщенні: -температура повітря, ^oC -швидкість руху повітря, м/с -відносна вологість повітря,% -інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	 15-26 0,2-0,5 75 140	 38 0,3 65 5000			 12 5000	 90 70
5.	Категорія важкості й напруженість праці	Важка III, дуже напружена					

Шкідливі гази. Технологічні гази, що утворюються під час роботи агломашини, містять токсичні компоненти, серед яких сірчистий ангідрид, оксиди азоту, вуглецю, аміак та оксиди марганцю. Концентрації оксидів марганцю (0,35 мг/м³) та діоксиду азоту (1,8 мг/м³) перевищують гранично допустимі значення (0,05 мг/м³ та 2 мг/м³ відповідно), що може спричиняти негативний вплив на здоров'я працівників.

Загальна оцінка умов праці. Робоче місце агломератника відноситься до категорії з особливо шкідливими та важкими умовами праці, що відповідає вимогам Списку №1. Це передбачає додаткові соціальні гарантії, такі як доплата у розмірі 24%, додаткова відпустка тривалістю 14 днів та забезпечення профілактичного харчування (молоко).

Такі умови праці вимагають ретельного впровадження заходів безпеки, поліпшення вентиляції, захисту від теплового та шумового впливу, а також регулярного медичного контролю за станом здоров'я працівників.

4.2 Виробнича санітарія. Заходи та засоби з поліпшення умов праці

Одним із найбільш ефективних способів запобігання виділенню пилу під час спікання агломерату є повне закриття агломераційної машини. Це охоплює як її робочу частину, так і холостий хід та систему видачі агломерату. Укриття має бути встановлене по всій довжині хвостової частини машини, починаючи від запального горна, і по всій ширині прорізу міжповерхового перекриття, де розташована машина. Особлива увага приділяється герметизації зазорів між машиною та перекриттям для уникнення витоку пилу.

Над хоперами розміщують витяжні зонти, які забезпечують ефективне видалення запиленого повітря. Для цього підтримується швидкість руху повітря в зазорі між витяжним зонтом і бортиком хопера на рівні 2 м/с, що дозволяє відводити до 80 000 м³/год повітря від кожного зонта.

Відведене запилене повітря проходить багатоступеневу систему очищення, після чого уловлений пил повертається в технологічний процес, знижуючи втрати матеріалу і покращуючи екологічну ситуацію.

Оскільки процес просівання агломерату є безперервним, а завантаження хоперів відбувається періодично, витяжка повітря здійснюється окремо від укриттів гуркотів, дробарок і зонтів над хоперами. Такий підхід дозволяє оптимізувати роботу вентиляційної системи та підвищити ефективність очищення.

Для підвищення рівня пилоподавлення необхідно впроваджувати сучасні герметичні конструкції укритів, проводити регулярний технічний огляд обладнання, а також застосовувати автоматизовані системи контролю за роботою вентиляційних установок. Це дозволить забезпечити стабільну роботу виробничих процесів із мінімальним впливом на навколишнє середовище[9].

Для підвищення ефективності та екологічної безпеки роботи агломераційних машин рекомендується здійснювати повне укриття їх холостого ходу. Екранування повинно охоплювати всю висоту приміщення в зоні від стіни, що розділяє приміщення холостого ходу та розвантажувальну частину, до приводної зірочки в головній частині машини.

Над зонами завантаження агломерату у вагони слід встановлювати витяжні зонти, під’єднані до жолобів видачі, забезпечуючи герметизацію всієї траси жолобів. Це сприяє локалізації пилу та мінімізує його потрапляння в атмосферу.

Переваги укриття агломераційних машин:

1. Покращення умов праці. Усувається необхідність відсмоктування повітря з об’єму приміщення для технологічних потреб, що виключає розрідження повітря та запобігає підсмоктуванню нагрітого й запиленого повітря з інших зон.

Нормалізується робота вентиляційного та аераційного обладнання, забезпечується подача чистого повітря, що полегшує боротьбу з надлишковим теплом і загазованістю.

3. Ефективне уловлювання пилу. Забезпечується ефективне відсмоктування з укриттів над хвостовою частиною стрічок, гуркотів, жолобів видачі тощо, що дозволяє зберігати та використовувати цінну сировину.

Знижується забруднення атмосфери пилом, який раніше потрапляв у повітря через витяжні труби укриттів і бункерів.

4. Покращення обслуговування. Для роботи з пневмозатворами бункерів створюється спеціальний обслуговуючий коридор, що сприяє комфортним і безпечним умовам праці.

Захист від тепла та шуму. Через значне виділення тепла у приміщенні спікання необхідний посилений повітрообмін, особливо в літній період.

Для зниження шуму рекомендується концентрувати шумні агрегати в окремих зонах, ізолюючи їх звукоізолюючими перегородками, або створювати для персоналу кабіни зі звукоізоляцією та оглядовими вікнами. Як звукоізоляційні матеріали використовуються пористі речовини з відкритими повітряними порами.

Захист від вібрації. Для зниження вібрації впроваджуються конструктивні та технологічні заходи, зокрема:

- балансування обертових частин;
- усунення дефектів обладнання;
- використання динамічних гасителів.

Віброізоляція здійснюється за допомогою гумових амортизаторів, які працюють на стиск та частково на зсув. Хоча такі амортизатори ефективно затримують високочастотні вібрації, вони менш придатні для роботи за низьких температур і під впливом несприятливих атмосферних умов.

Індивідуальний захист працівників. Для зниження шумового впливу застосовуються антифони (вкладиші або навушники).

Захист від теплових випромінювань забезпечується за допомогою спеціального робочого одягу, а також належного охолодження робочих зон.

Комплекс цих заходів не лише покращує умови праці, але й сприяє підвищенню ефективності виробництва, зменшенню впливу на навколишнє середовище та дотриманню норм безпеки.

Санітарно-гігієнічні заходи включають дотримання питного режиму, організацію режиму праці й відпочинку. Науково обґрунтований підхід до режиму праці й відпочинку передбачає визначення не лише загального часу відпочинку протягом зміни, але й оптимальних моментів для перерв та їх тривалості. Це сприяє підтриманню високої й стабільної працездатності, а також збереженню здоров'я працівників. Перерви на відпочинок мають бути синхронізовані з технологічними паузами виробничого процесу.

Для зниження фізичного навантаження та підвищення ефективності роботи рекомендується:

- механізація трудомістких процесів, що зменшує фізичну напругу;
- скорочення тривалості робіт, які потребують значних статичних зусиль, шляхом організації ротації працівників, що виконують ці завдання.

Профілактика порушення водного балансу є важливим елементом гігієнічних заходів. Для робітників важких професій рекомендується вживання прохолодних напоїв (квас, мінеральна або газована вода) невеликими порціями (по 200 мл) протягом робочої зміни. Найкращою є вода з температурою 12–15 °С, яка ефективно втамовує спрагу та допомагає регулювати тепловий стан організму.

Індивідуальні засоби захисту в умовах нагрівального мікроклімату включають спеціальний одяг, виготовлений з матеріалів із низькою теплопровідністю та здатністю відбивати теплові промені. Найчастіше це тканини з льону або бавовни, що забезпечують комфорт і знижують вплив високих температур.

Додаткові заходи для підвищення ефективності санітарно-гігієнічних умов:

1. Робочі місця: Оснащення зон відпочинку вентилювальними пристроями або охолоджувальними системами для зниження теплового навантаження.

2. Організація праці: Забезпечення робітників спеціальними перервами для гідратації та відновлення, особливо в періоди інтенсивного теплового навантаження.

3. Просвітницькі заходи: Інформування працівників про важливість дотримання режиму праці й відпочинку, а також правил питного режиму для підтримання водно-сольового балансу організму.

Комплексна реалізація цих заходів сприяє створенню комфортних та безпечних умов праці, що позитивно впливає як на здоров'я робітників, так і на загальну продуктивність виробництва [9].

4.3 Аналіз стану електробезпеки на виробництві

Виробничі приміщення агломераційного цеху класифікуються як особливо небезпечні щодо ураження електричним струмом. Це обумовлено наявністю чотирьох ознак, характерних для приміщень з підвищеною небезпекою, таких як підвищена вологість, наявність струмопровідного пилу, можливість контакту з металевими конструкціями, що можуть опинитися під напругою, та високі температури.

Електричні мережі у цеху:

- використовуються чотирьохпровідні електричні мережі із глухозаземленою нейтраллю змінного струму напругою до 1000 В.
- двопровідні мережі постійного струму.
- напруга в ланцюгах змінного струму становить 36, 220, 380 і 6000 В.

Напруга 36 В використовується для живлення переносних освітлювальних пристроїв. Напруга 220 В застосовується для загального та

локального освітлення. Напруга 380 і 6000 В призначена для живлення електродвигунів, ексгаустерів та іншого обладнання.

Заходи безпеки від ураження електричним струмом:

1. Захисне заземлення – підключення металевих частин обладнання до заземлювального контуру для відведення струму у разі пробою ізоляції.

2. Захисне занулення – створення прямого з'єднання металевих частин обладнання із нейтральним проводом для швидкого автоматичного відключення в разі пробою напруги.

3. Захисне відключення – автоматичне відключення напруги при виникненні небезпечної ситуації.

Попередження про небезпеку:

- використання попереджувальних плакатів, таких як заборонні, попереджувальні, дозволяючі та нагадувальні, розміщених у зонах підвищеної небезпеки.

- установлення постійних попереджувальних сигналів, зокрема на дверях приміщень з електроустановками напругою понад 1000 В та інших небезпечних місцях.

Додаткові заходи:

- регулярна перевірка стану ізоляції, заземлення та обладнання;

- проведення інструктажів і навчання працівників щодо дій у разі аварійної ситуації;

- використання захисних засобів, таких як гумові рукавички, діелектричні килимки та інструменти з ізольованими ручками.

- створення зон із обмеженим доступом до обладнання, що працює під високою напругою.

Комплексна реалізація цих заходів спрямована на зниження ризиків ураження електричним струмом і забезпечення безпечних умов праці в агломераційному цеху [8].

4.4 Пожежна безпека

Виробничі приміщення агломераційного цеху поділяються на категорії за ступенем пожежної небезпеки: Б, Г, Д.

Категорія Б: включає приміщення, де виконуються операції випалу на випалювальних машинах КМ-14 і ОПР, а також приміщення для спікання агломерату.

Категорія Г: охоплює приміщення шихтового відділення, відділення агломерації та гарячого повернення.

Категорія Д: включає всі інші виробничі приміщення цеху, які мають нижчий ступінь пожежної небезпеки [7].

Будівлі агломераційного цеху виконуються з матеріалів, що відповідають II ступеню вогнестійкості. Для забезпечення пожежної безпеки приміщення різних категорій ізольовані одне від одного, а також від транспортних галерей, коридорів і сходових маршів за допомогою протипожежних стін [4].

Прорізи у протипожежних стінах оснащені спеціальними дверима з функцією самозакривання.

Отвори для трубопроводів і кабелів у стінах та перекриттях герметизуються мінеральною ватою.

Кабельні тунелі й канали виконані з негорючих матеріалів і поділені на відсіки довжиною до 150 м.

Оснащення засобами пожежогасіння. Приміщення різних категорій обладнуються переносними вогнегасниками залежно від ступеня пожежної небезпеки:

1. Категорія Б:
   - вогнегасники ВПП-10 (хімічно пінні) – 2 шт.
   - вогнегасники ВП-10-01 (порошкові, заряд АВС(Е)) – 2 шт.
   - вогнегасники ВВ-8 (вуглекислотні) – 2 шт.

2. Категорії Г та Д:

- вогнегасники ВПП-10 (хімічно пінні) – 2 шт.
- вогнегасники ВП-10-01 (порошкові, заряд ВР(Е)) – 2 шт.

Первинні засоби пожежогасіння розміщуються на пожежних щитах у виробничих приміщеннях. Комплект містить:

- вогнегасники – 6 шт. (для категорії Г та Д – 4 шт.).
- ящик з піском об'ємом 0,1 м³.
- покривало з негорючого матеріалу розміром 2 м × 2 м.
- дві лопати, два ломи, дві сокири й три гаки.

Додаткові заходи безпеки:

- забезпечення регулярної перевірки стану вогнегасників і протипожежного обладнання.
- проведення навчання персоналу щодо дій у разі пожежі.
- встановлення автоматичних систем пожежної сигналізації в місцях підвищеного ризику.
- забезпечення легкого доступу до протипожежних засобів у всіх приміщеннях цеху [7].

4.5 Розробка заходів зі зменшення впливу вібрації на робітників агломераційного цеху

Для боротьби з вібрацією пропонується використовувати наступні організаційні заходи:

- виключення із технологічного процесу віброактивного обладнання;
- дистанційне керування віброактивним обладнанням із кабін та пультів;
- застосування засобів індивідуального захисту від вібрацій та проведення санітарно-профілактичних заходів для робітників, що мають контакт із віброінструментом або обладнанням.

Для зменшення вібрації кожухів, огороджень та інших деталей, виконаних із сталевих листів, рекомендовано застосовувати вібропоглинання. З цією метою на вібруючу поверхню наносяться матеріали, що володіють великим внутрішнім тертям (гума, антивібраційна мастика). Добрими вібропоглинальними властивостями володіє «шарований» метал: металеві листи, склеєні шаром в'язкої речовини, або пакети металевих листів із різними характеристиками. Послаблення вібрації ручного інструмента ударної дії (пневматичні молотки) та зворотно-поступального руху досягається зменшенням маси інструмента, зміною його кінематичної схеми, врівноваженням мас у ньому, зменшенням технологічних допусків, використанням демпфуючих затискачів, динамічних віброгасників.

Розрахунок протишумового укриття грохота. Найбільш шкідливим фактором роботи грохоту є шум. Рівень шуму грохоту становить 100 дБА, що значно перевищує допустиме значення. Тому їх встановлюють в окремих приміщеннях і ретельно вкривають кожухом [6].

Укриття являє собою звукоізолюючий кожух виконаний зі сталі товщиною 2 мм, на який зсередини наклеєний звукопоглинальний шар скляної вати з товщиною 100 мм і накладена металева сітка. Для поглинання шуму, що виникає від вібрації грохоту, між підтримуючими опорами і несучими конструкціями, кожухом передбачають спеціальні віброізолюючі прокладки. У кожусі передбачаються двері, через які виконують заміну сита.

Обчислюємо загальну масу Q кожуха, яка припадає на 1 м² площі. Кожух складається з таких компонентів:

- маса сталевого листа становить – 31,2 кг/м²;
- маса шару скляної вати – 15 кг/м².

Таким чином, загальна маса кожуха на 1 м² становить:

$$Q = 31,2+ 15 = 46,2 \text{ кг/м}^2, \quad (4.1)$$

Для забезпечення оптимальних характеристик кожуха важливо враховувати не лише масу, але й механічні та теплоізоляційні властивості матеріалів, з яких він виготовлений. Сталевий лист забезпечує міцність

конструкції, тоді як шар скляної вати сприяє ефективному поглинанню шуму та зниженню тепловтрат.

Обчислюємо звукоізолюючу здатність кожуха за формулою, дБ:

$$R = 20 \lg Q + 20 \lg f - 56, \quad (4.2)$$

де G – вага 1 м^2 огорожі заданої товщини, кг/м^2;

f – звукова частота, Гц, f = 63 Гц.

R = 20 lg46,2+ 20 lg 63 – 56 = 13,3 дБ,

Розраховуємо додаткове зниження рівня шуму, яке досягається завдяки використанню звукопоглинального матеріалу, за допомогою наступної формули в децибелах (дБА):

$$\Delta L = 10 \cdot \lg \frac{a_2}{a_1} \quad (4.1)$$

де α_1 – коефіцієнт звукопоглинання непокритих поверхонь кожуха. Для металу на всіх частотах $\alpha_1 = 0{,}01$;

α_2 – коефіцієнт звукопоглинання стінок кожуха, покритих звукопоглинальним матеріалом. $\alpha_2 = 0{,}1$.

$$\Delta L = 10\, lg \frac{0{,}1}{0{,}01} = 10$$

Таким чином, сумарне зниження рівня шуму:

$$R_{\Sigma} = R + \Delta L = 10 + 13{,}3 = 23{,}3$$

Завдяки використанню протишумового кожуха для укриття грохоту рівень шуму зменшився на 23,3 дБА. Отже, рівень шуму, який створюється грохотом, тепер складе 76,7 дБА, що є нижчим за встановлений гранично допустимий рівень шуму в виробничому приміщенні, який становить 80 дБА [6].

ВИСНОВКИ

В результаті теоретичних досліджень в кваліфікаційній роботі були зроблені наступні висновки:

1. Під час агломерації шихтових матеріалів утворюється велика кількість пилу. Основні причини цього — просіювання шихти через колосникові ґрати, руйнування агломерату під дією вібрацій та руху конвеєра, а також при його розвантаженні. Рівень запиленості змінюється по довжині стрічки агломашини.

2. Джерелами пилогазових викидів є технологічне обладнання: агломашини, охолоджувачі, печі випалу, а також аспіраційні установки на дробарках, грохотах і транспортерах. Також мають значення зовнішні джерела запиленості — завантажувально-розвантажувальні механізми.

3. Аспіраційні викиди з’являються на таких ділянках, як хвостова частина агломашин, зони завантаження агломерату в бункери, приймальні ємності для руди й пилу, стрічкові конвеєри та місця пересипу в шихтовому відділенні.

4. Запропоновано варіант очищення аспіраційних викидів від шести агломераційних машин за допомогою горизонтальних електрофільтрів. Для цього запилене повітря, що надходить від хвостових частин шести агломашин, а також з місць завантаження агломерату, вузлів підготовки шихти, гуркотів і охолоджувачів, збирається в колектор великого діаметра і направляється на очищення до двох двосекційних електрофільтрів ЕГА 2-56-12-6-3.

5. Колекторна система дозволяє не лише зібрати викиди з різною вологістю, але й вирівняти їхні параметри, що покращує електрофізичні властивості пилу та підвищує ефективність очищення

6. Використання системи газоочистки з горизонтальними сухими електрофільтрами забезпечило високий рівень очищення — залишкова

запиленість становить усього 0,003 г/м³. Це свідчить про ефективність запропонованого рішення з екологічної точки зору.

7. Для повторного використання відходів пил додають у шихту в кількості 10–15% від маси, за умови відсутності шкідливих домішок. Такий підхід дозволяє зміцнити агломерат без зниження продуктивності обладнання.

8. Аналіз умов праці в агломераційному виробництві показав, що працівники стикаються з впливом пилу, шкідливих газів, підвищеного шуму, теплового навантаження та вібрації, що потребує запровадження засобів індивідуального та колективного захисту.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Автоматизація агломераційного виробництва на базі застосування Neuro-Fuzzy систем регулювання нижнього рівня. URL: https://www.metaljournal.com.ua/automation-agglomeration-based-on-the-use-of-Neuro-Fuzzy-systems-of-regulation-of-the-lower-level/ (дата звернення 04.06.2025).
2. Агломераційне виробництво. URL: https://studfile.net/preview/4175969/page:2/ (дата звернення 04.06.2025).
3. Геврик, Є.О. Охорона праці: навч. посібник для внз: [рек. М-вом освіти і науки України]. Київ: Ельга, Ніка-Центр, 2004. 279 с.
4. Класифікація будівель і споруд за ступенем вогнестійкості. URL: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%95%D0%9D%D0%9F%20%D1%88%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C%20%D0%BE%20%D1%84/page33.html?utm_source=chatgpt.com (дата звернення 04.06.2025).
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. 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.
7. 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 04.06.2025).

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 04.06.2025).
9. 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.
10. Пилопригнічення в агломераційному виробництві. URL: https://coagulant.com.ua/catalog/pyloprygnichennya-v-aglomeraczijnomu-vyrobnycztvi/ (дата звернення 04.06.2025).
11. Удосконалення технології виробництва якісного агломерату. URL: https://nmetau.edu.ua/file/3.pdf (дата звернення 04.06.2025).