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 хімічного очищення викидів аглоцеху»*

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1833

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

спеціалізації
_____
(шифр і назва)

Є.І. Лось

Керівник доцент, к.т.н. Манідіна Є.А.

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

Запоріжжя
2024

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

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

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

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

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

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

«____» _____2024 року

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

_____*Лось Євген Володимирович*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Проєкт системи хімічного очищення викидів аглоцеху»_____
керівник роботи _____*Манідіна Євгенія Анатоліївна*_____*к.т.н, доцент*____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від *"28"02* 2024 року *№ 359-с*
2. Строк подання студентом роботи _____*06.12.2024*_____
3. Вихідні дані до роботи *розробити систему хімічного очищення технологічних газів агломераційного виробництва. Передбачити реагентний метод уловлювання сульфур(IV) оксиду з технологічних газів, що відходять від агломераційних стрічок.*
_____
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Вступ. Характеристика технологічного процесу спікання агломерату. Технології захисту довкілля від викидів сульфур(IV) оксиду. Обгрунтування вибору хімічного способу очистки газів від діоксиду сірки. Розрахунок апаратів газоочистки. Аеродинаміка газового тракту системи хімічної очистки аглогазів. Охорона праці та техногенна безпека. Економічна частина. Висновки. Перелік джерел посилань.*_____
_____
_____
_____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
презентаційний матеріал на 10 слайдах (на 10 сторінках): основні апарати газоочищення

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Розділ 1	*Манідіна Є.А., доцент*	
Розділ 2	*Манідіна Є.А., доцент*	
Розділ 3	*Манідіна Є.А., доцент*	
Розділ 4	*Манідіна Є.А., доцент*	
Розділ 5	*Манідіна Є.А., доцент*	

7. Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Вступ*		
2	*Загальна частина*		
3	*Аналіз систем газоочищення аспіраційних газів агломераційного виробництва*		
4	*Проєктний розділ*		
5	*Охорона праці та техногенна безпека*		
6	*Економічна частина*		
7	*Презентація*		

Студент _____ *Євген ЛОСЬ*
)

Керівник роботи _____ *Євгенія МАНІДІНА*

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *Андрій ВАГІН*

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 74 с., 8 табл., 11 рис., 14 джерел

АГЛОМЕРАЦІЙНЕ ВИРОБНИЦТВО, ТЕХНОЛОГІЧНІ ГАЗИ, СУЛЬФУР(IV) ОКСИД, ХІМІЧНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ, РУКАВНИЙ ФІЛЬТР

Об'єкт дослідження – агломераційне виробництво.

Предмет дослідження – системи хімічного очищення викидів агломераційного виробництва.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити систему хімічного очищення технологічних газів агломераційного виробництва.

Визначено, що від агломераційної стрічки в зоні спікання рудної сировини відводяться гази, які характеризуються наступним середнім хімічним складом: 3-6% вуглекислого газу (CO_2), 12-17% кисню (O_2), 0,3-3,0% оксиду вуглецю (CO). Концентрація діоксидів сірки ($SO_2 + SO_3$) у газах становить до 2000 мг/м³ для малосірчистої руди та 0,1–0,6% для сірчистих руд. Решту складу утворюють азот (N_2) та інертні гази.

Аналіз відомих хімічних способів очищення сірковмісних газів показав, що найбільш економічно вигідними та екологічнодоцільними є метод десульфурації відхідних газів на основі розпилювальної абсорбції.

Запроєктована система очищення, що включає: рукавний фільтр типу ФРІР- 5700, адсорбер, рукавний фільтр ФРІР-4500, димотяг та димову трубу.

ЗМІСТ

ВСТУП 7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 8
1.1 Устрій та вантажопотоки агломераційного цеху 8
1.2 Характеристика технологічного процесу 15
2 АНАЛІЗ СИСТЕМ ГАЗООЧИЩЕННЯ АСПІРАЦІЙНИХ ГАЗІВ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА 20
2.1 Технології захисту довкілля від викидів сульфур(IV) оксиду 20
2.1.1 «Мокрі» вапнякові (вапняні) методи очищення 20
2.1.2 Магнезитові циклічні методи 22
2.1.3 Аміачно-циклічні «мокрі» 25
2.1.4 Мокрі амонійно-карбамідні методи 29
2.1.5 Мокрий содово-циклічний метод 31
2.1.6 Мокро-сухий метод десульфурації відхідних газів на основі розпилювальної абсорбції 34
2.2 Обгрунтування вибору хімічного способу очистки газів від діоксиду сірки 36
3 ПРОЄКТНИЙ РОЗДІЛ 39
3.1 Розрахунок рукавного фільтру (перша ступень) 39
3.2 Розрахунок рукавного фільтру (друга ступень) 45
3.3 Аеродинаміка газового тракту системи хімічної очистки аглогазів 47
3.4 Розрахунок димової труби. Вибір димотяга 50
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 54
4.1 Ідентифікація небезпечних та шкідливих факторів в агломераційному виробництві 54
4.2 Виробнича санітарія. Заходи та засоби з поліпшення умов праці 56
4.3 Аналіз стану електробезпеки на виробництві 59
4.4 Пожежна безпека 61

4.5 Розробка заходів зі зменшення впливу вібрації та шуму на робітників агломераційного цеху 62
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 65
5.1 Розрахунок капітальних витрат на очищення газу 65
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на очищення газу і уловлювання пилу 66
5.3 Техніко-економічне обґрунтування проєктних рішень 69
ВИСНОВКИ 72
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ 73

ВСТУП

Металургійні підприємства є одними з найбільших джерел забруднення атмосфери, оскільки в процесі виробництва виділяються різноманітні шкідливі гази та пил. Без ефективної системи очищення ці викиди можуть серйозно погіршити якість повітря, викликати кислотні дощі та призвести до забруднення ґрунтів і води, що має негативні наслідки для екосистеми.

Шкідливі речовини, що потрапляють у повітря внаслідок діяльності металургійних підприємств, також можуть спричинити серйозні проблеми зі здоров'ям людей, що працюють у таких підприємствах, а також для мешканців прилеглих територій. Токсичні гази, такі як оксиди азоту, діоксид сірки, важкі метали та пил, можуть викликати респіраторні захворювання, проблеми з серцево-судинною системою та інші хронічні захворювання.

Утилізація вловленого пилу і газів може бути економічно вигідною для підприємства, оскільки в деяких випадках очищені гази можуть бути використані в подальших технологічних процесах, знижуючи витрати на енергоносії або сировину. Крім того, вдосконалення технології очистки може зменшити витрати на штрафи за перевищення лімітів викидів та покращити загальну ефективність виробництва.

Сучасні вимоги до сталого розвитку та соціальної відповідальності змушують металургійні підприємства вживати заходів щодо зниження шкідливого впливу на навколишнє середовище. Це не лише дозволяє відповідати екологічним нормам, але й покращує імідж компанії в очах громадськості, партнерів і інвесторів.

Таким чином, очищення газів від металургійних підприємств є надзвичайно важливим як для захисту навколишнього середовища, так і для здоров'я людей, економічної вигоди та дотримання екологічних стандартів.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Устрій та вантажопотоки агломераційного цеху

Сучасна агломераційна фабрика являє собою складну систему, що включає різноманітні будівлі, механізми та машини, які відповідають за підготовку руд і концентратів до процесу спікання, безпосередньо за сам процес агломерації та подальшу обробку готового агломерату (рис. 1.1). У її складі можна виділити основні та допоміжні відділення, які включають: вагоноперекидачі та приймальні бункери для приймання сировини, склади для усереднення, цехи для дроблення та подрібнення палива і флюсів, відділення для шихтових бункерів, змішувальний і грануляційний цехи, агломераційний цех, що містить агломераційні машини, відділення для охолодження і сортування агломерату, газоочисні установки для очищення відхідних газів, а також корпуси ексгаустерів для підтримання необхідного рівня тяги в системі. Цей комплекс обладнання й структур дозволяє забезпечити безперебійний і ефективний процес агломерації, оптимізуючи якість готового продукту та дотримуючись вимог екологічної безпеки [1].



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд агломераційної фабрики

Компоненти шихти надходять на агломераційну фабрику залізничним транспортом, після чого розвантажуються в спеціально обладнані бункери та

транспортуються конвеєрними лініями до складів для усереднення. Схему вантажопотоків можна побачити на рис. 1.2. 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.

У корпусі змішування й огрудкування завершується підготовка шихти, яка подається по конвеєрній лінії. Перед потраплянням у барабан-огрудковувач, до шихти додається зворот – матеріал, що утворюється при сортуванні агломерату після спікання або накопичується під бункерами доменного цеху. Зворот транспортується пластинчастим конвеєром, спеціально розробленим для транспортування гарячих матеріалів, у бункер, а потім за допомогою електровібраційного живильника додається до шихти.

У змішувальному барабані шихта перемішується та частково огрудковується, після чого поступає в барабан-огрудковувач для подальшого оброблення, а вже потім у корпус спікання для основного процесу агломерації.

Для виконання цих технологічних процесів використовуються спільні механізми та обладнання. Наприклад, для транспортування сипучих матеріалів застосовуються стаціонарні стрічкові конвеєри, які можуть бути встановлені як горизонтально, так і під нахилом. Тяговим елементом таких конвеєрів є замкнена гумова стрічка, що обтягує приводний і натяжний барабани, забезпечуючи безперервний рух матеріалів по виробничій лінії.

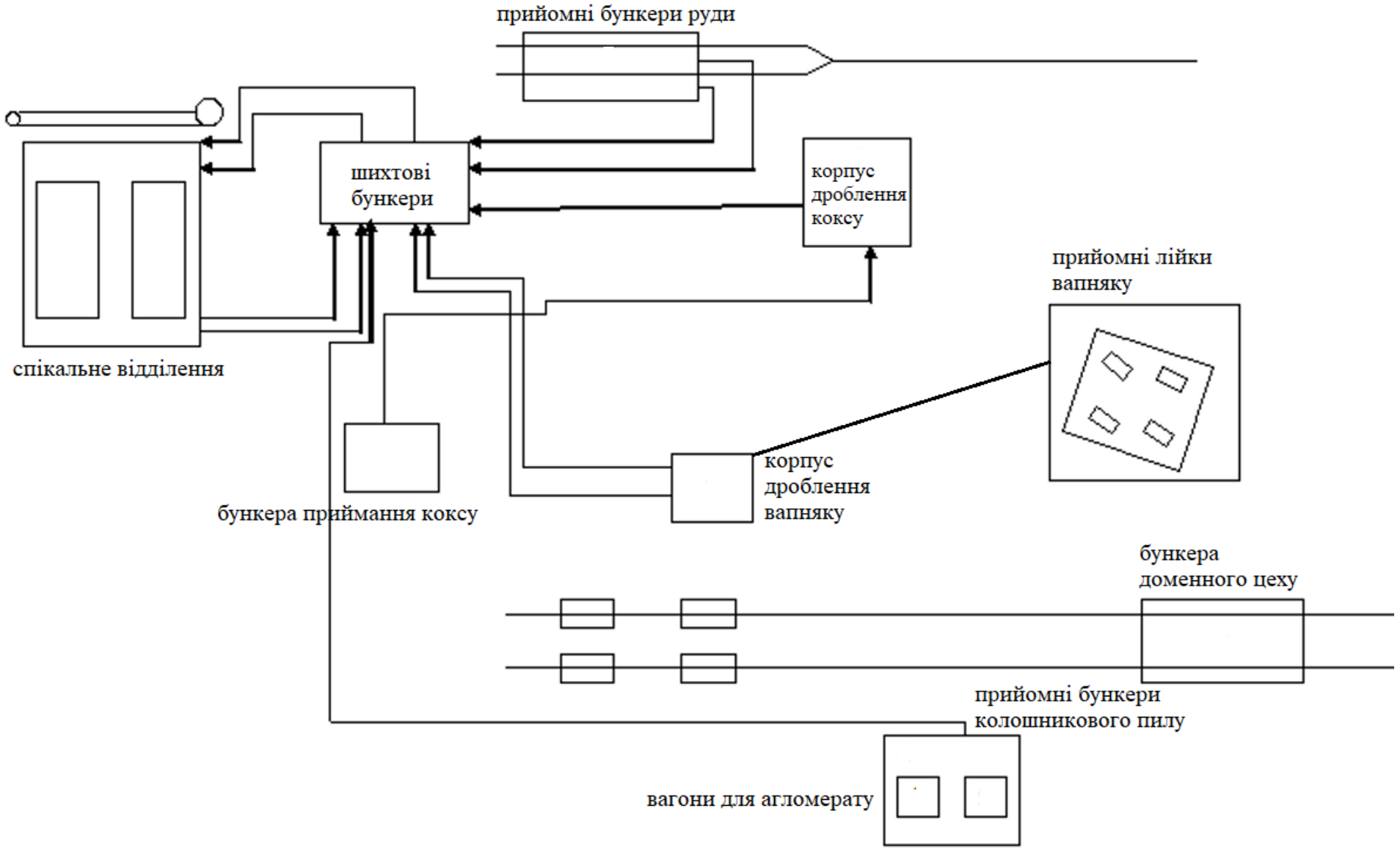


Рисунок 1.2 – Схема вантажопотоків аглоцеху

Для транспортування гарячих матеріалів на агломераційній фабриці використовують конвеєри зі сталевою стрічкою або пластинчасті конвеєри, що складаються з окремих металевих пластин. Живильники забезпечують рівномірне та безперервне подавання матеріалів з бункерів на конвеєри, а дозатори використовуються для точного регулювання подачі матеріалів за масою або обсягом, що дозволяє підтримувати потрібні пропорції в шихті та забезпечує стабільність процесу.

У корпусі спікання розташовані агломераційні машини, оснащені дробарками і грохотами (рис. 1.3), а також система газоочистки, яка забезпечує очищення вихідних газів. Первинне очищення газів здійснюється в збірному газопроводі, що проходить під вакуум-камерами. Уздовж цього газопроводу встановлені пилозбірні кишені, які ефективно осаджують пил, що дозволяє знижувати викиди шкідливих часток в атмосферу і забезпечувати відповідність екологічним вимогам.

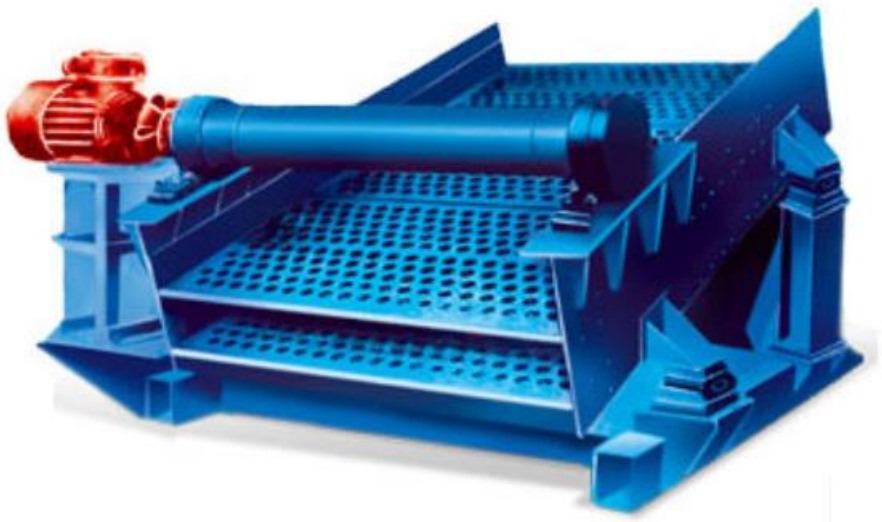


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд інерційного грохоту

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.

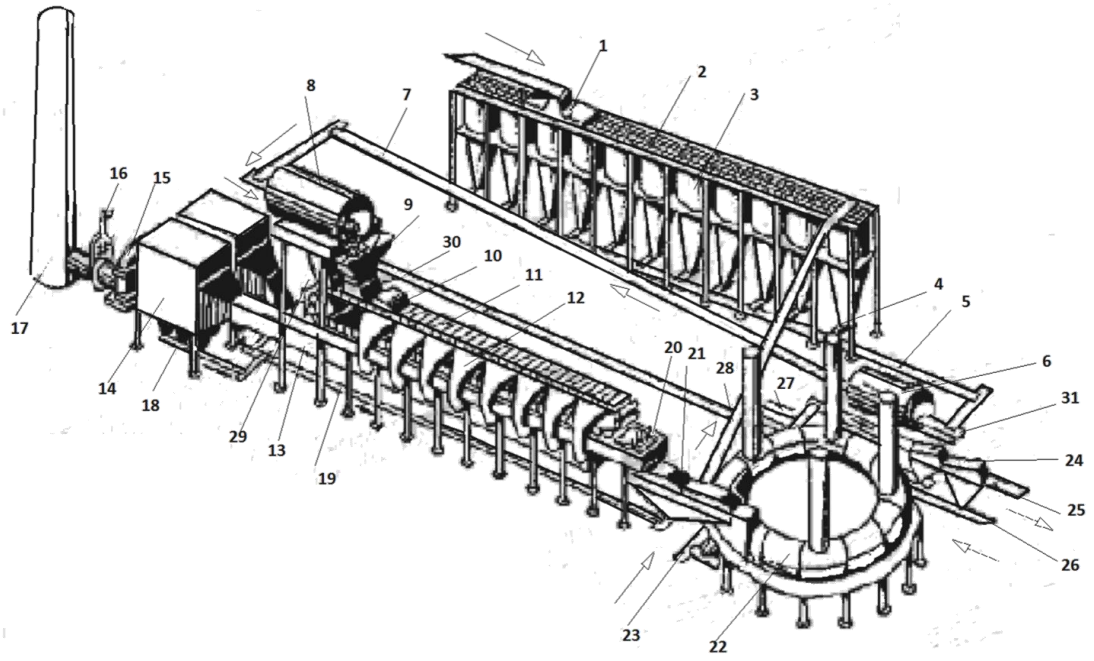


Рисунок 1.4 – Розташування обладнання в агломераційному цеху

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).

Устрій агломашини (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд агломераційної машини

Стрічкова (конвеєрна) агломераційна машина являє собою замкнений ланцюг спікальних візків-палет, що рухаються і переміщаються по рейках верхньої горизонтальної робочої гілки машини під дією зірочок приводу, а по рейках нижньої похилої (2-3°) холостої гілки агломашини в переверненому

положенні під дією горизонтальної складової власної ваги [3]. Захоплення палет з холостої гілки і транспортування їх на верхню робочу гілку агломашини також здійснюються за допомогою зірочок приводу. На сталевій рамі кожної палети монтується три ряди колосників. Таким чином, палета являє собою колосникові ґрати, що рухаються.

Під час руху по робочій гілці палети проходять над вакуум-камерами, з'єднаними через збірний газопровід 13 з ексгаустером. Спеціальне ущільнення перешкоджає вибиванню повітря, у вакуум-камери через стик з палетами, що рухаються. Спікальні візки рухаються по робочій гілці агломераційної машини одна за іншою без розривів або зазорів. Вибівання повітря між візками у вакуум-камери виключається.

Отже, об’єм повітря при русі палет над вакуум-камерами має проходити через шар шихти, який укладається на робочій гілці агломераційної машини. Спеціальні живильники 3 забезпечують укладання підстилки 2 і шихти на рухомі палети. Запалювання шихти виконується за допомогою стаціонарного газового горна 4, а час перебування палети під ним становить приблизно 1 хвилину.

Теплова енергія для запалювання, що припадає на 1 м² поверхні шару, становить 42-50,5 МДж/хв. Від моменту початку запалювання шихти палета агломераційної машини перебуває над вакуум-камерами з розрідженням від 8 до 20 кПа. Під запальним горном зона горіння твердого палива перебуває у верхній частині шару. З рухом палет ця зона поступово опускається вниз, наближаючись до колосникових ґрат, і проходить через весь шар, що спікається, за 10-12 хв. (залежно від висоти шару та швидкості спікання у вертикальному напрямку) [3].

Коли зона горіння досягає шару підстилки, палета входить у закруглення розвантажувальної частини стрічки, сформоване ходовою рейкою та контррейкою, перевертається, і готовий агломерат скидається з палети. Під час скидання відбувається легкий удар, який очищує колосникові ґрати від заклинених шматочків агломерату та знімає брили, що прилипли до металу. Для цього відразу після вакуум-камер створюється розрив у безперервному ланцюзі візків, що дозволяє здійснити ударну очистку розвантажуваної палети об групу порожніх перевернутих візків.

Завантаження агломераційної шихти на стрічку зазвичай виконується за допомогою комбінації барабанного або човникового живильників. Із бункера шихти, розташованого над основною частиною машини, шихта потрапляє спочатку на рухомий човниковий конвеєрний живильник. Цей живильник переміщується вздовж рейкового шляху, розташованого поперек осі машини, виконуючи зворотно-поступальний рух.

Човниковий живильник являє собою візок з приводом на ходові ролики й замкнутою гумовою конвеєрною стрічкою, за допомогою якої шихта рівномірно розподіляється по довжині нижнього обертового барабанного живильника, який і подає шихту на палети. У деяких випадках завантаження здійснюється лише за допомогою барабанного живильника.

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 [3].

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 ленті, 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 [3].

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 неспеченої 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. Так, кількість сульфур() оксиду, який відходить від усіх джерел на аглофабриці ПрАТ «Запоріжсталь» становить 10411 т/ рік

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

Від агломераційної стрічки в зоні спікання рудної сировини відводяться гази, які характеризуються наступним середнім хімічним складом: 3–6% вуглекислого газу (CO_2), 12–17% кисню (O_2), 0,3–3,0% оксиду вуглецю (CO). Концентрація діоксидів сірки ($SO_2 + SO_3$) у газах становить до 2000 мг/м³ для малосірчистої руди та 0,1–0,6% для сірчистих руд. Решту складу утворюють азот (N_2) та інертні гази.

Пилогазові викиди в агломераційних цехах також 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.

2 АНАЛІЗ СИСТЕМ ГАЗООЧИЩЕННЯ АСПІРАЦІЙНИХ ГАЗІВ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

2.1 Технології захисту довкілля від викидів сульфур(IV) оксиду

2.1.1 «Мокрі» вапнякові (вапняні) методи очищення

Ці методи найбільш добре відпрацьовані в промислових умовах і отримали широке застосування у світовій енергетиці (загалом у світі працює понад 600 таких технологічних установок). Вони базуються на промивці димових газів вапняковою водною суспензією $Ca(OH)_2$ або $CaCO_3$ відповідно до реакцій.

$$Ca(OH)_2 + SO_2 = CaSO_3 + H_2O \quad (2.1)$$

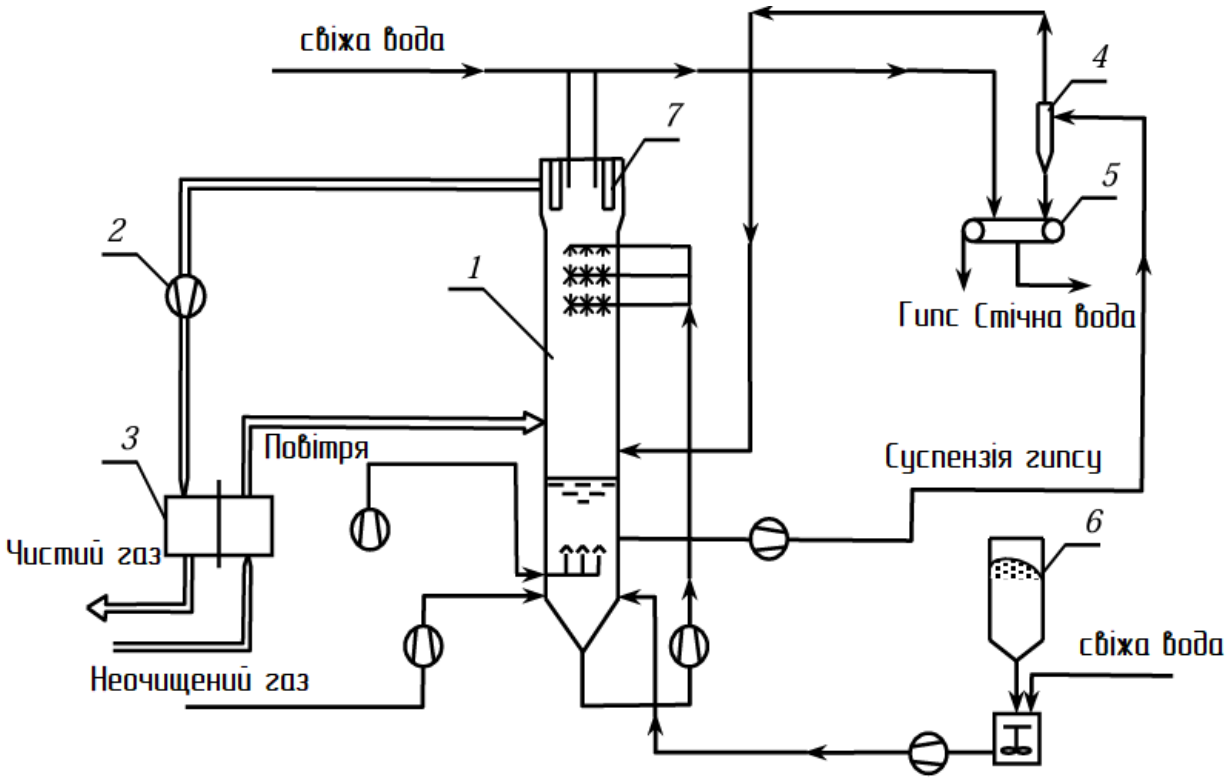
$$CaCO_3 + SO_2 = CaSO_3 + CO_2 \quad (2.2)$$

Промивання здійснюється найчастіше у протитечійних порожнистих розпилювальних абсорберах, або скруберах (рідше – у насадкових), за одно- або двоступеневими схемами з окисленням або без окислення сульфіту кальцію ($CaSO_3$) у сульфат кальцію ($CaSO_4$). Спрощена принципова однокрубберна схема установки очищення від сірки цим методом за технологією німецької компанії «Бішофф» наведена на рис. 2.1.

Очищення димових газів від сірки здійснюється за допомогою водної суспензії вапняку або вапна, яка розпилюється у протитечійному скруббері (абсорбері) 1. Очищені від діоксиду сірки димові гази проходять через краплевловлювач 7, розташований у верхній частині скруббера, і за допомогою димососа 2 відводяться з апарата. Щоб запобігти конденсації водяної пари у газовідвідному тракті та покращити умови розсіювання газів в атмосфері, їх підігрівають у теплообміннику 3 до температури 100–120 °С.

Промивна суспензія постійно циркулює у скруббері. Розпилення здійснюється за допомогою сопел, виконаних у формі порожнистих конусів,

розташованих у три яруси. У нижній частині скруббера (нижче зони входу газів) знаходиться зона окислення.



1 – скруббер (абсорбер); 2 – димосос; 3 – теплообмінник; 4 – гідроциклон; 5 – вакуум-фільтр; 6 – витратний бункер вапняку; 7 – краплевловлювач

Рисунок 2.1 – Принципова схема установки уловлювання сірки за технологією компанії «Бішофф»

Примусове окислення сульфіту кальцію в сульфат кальцію ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$ – гіпс) дозволяє значно покращити процес зневоднення твердої фази до концентрації 90% і більше, порівняно з нерегульованою кристалізацією сульфату кальцію у природних умовах (де зневоднення твердої фази не перевищує 60%).

Це дозволяє запобігти утворенню відкладень у скруббері та підвищити надійність системи очищення від сірки. У міру накопичення кристалів гіпсу промивна суспензія виводиться зі скруббера і направляється на установку для зневоднення. Регенерація промивної рідини здійснюється шляхом додавання свіжої суспензії. Окрім системи повітряного окислення, у скруббері відсутні будь-які інші вбудовані елементи або мішалки.

2.1.2 Магнезитові циклічні методи

Технології «мокрих» магнезитових циклічних методів базуються на промивці димових газів магнезитовою суспензією, до складу якої входять оксид, сульфіт та сульфат магнію. Діоксид сірки при цьому реагує з оксидом магнію, утворюючи сульфіт магнію:

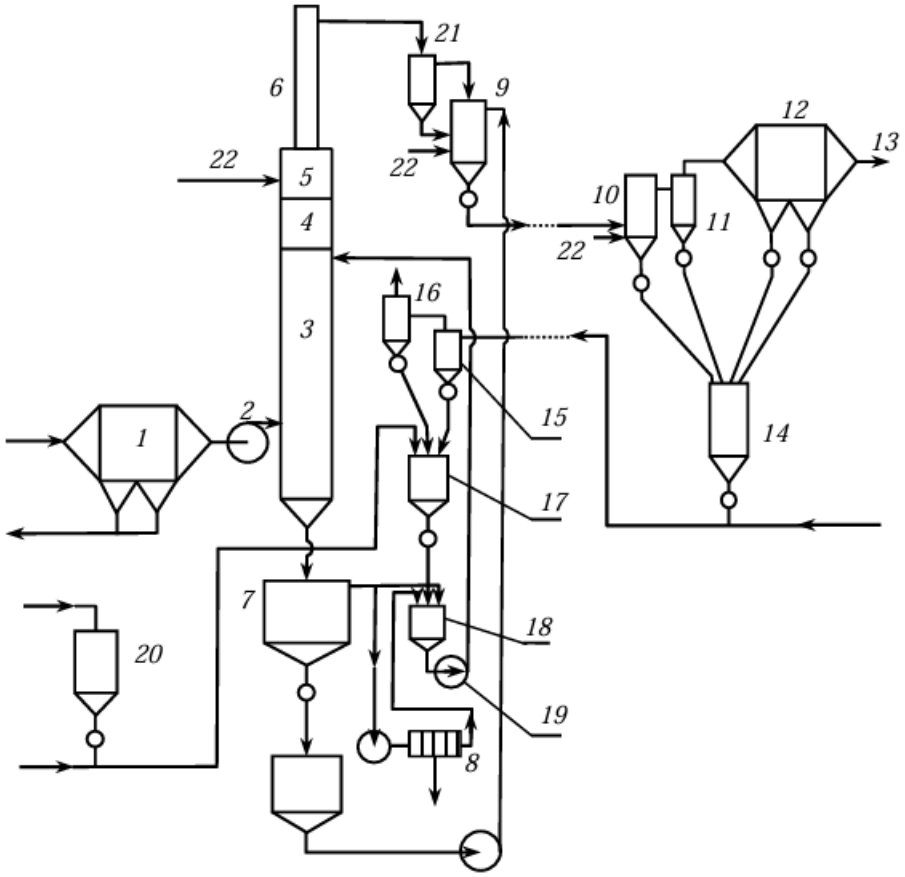
$$MgO + SO_2 = MgSO_3 \quad (2.3)$$

Сульфіт магнію випадає з пересиченого розчину у вигляді великих кристалів, що містять шість молекул кристалізаційної води ($MgSO_3 \cdot 6H_2O$). Ці кристали після відокремлення від розчину сушаться і направляються в піч для регенерації оксиду магнію, де відбувається термічний розклад сульфіту магнію:

$$MgSO_3 = MgO + SO_2 \quad (2.4)$$

Регенерований оксид магнію повертається в цикл, а діоксид сірки відокремлюється від інших газоподібних продуктів і використовується для виробництва товарної продукції – сірчаної кислоти. Один із варіантів принципової схеми магнезитового циклічного очищення димових газів наведений на рис. 2.2.

Технологічний процес очищення від сірки за цим методом здійснюється наступним чином. Димові гази з котельного агрегату без попереднього охолодження після золовловлювання з високим ступенем очищення направляються за допомогою димососа в скрубер. В ньому здійснюється нейтралізація діоксиду сірки розчином сульфіту та сульфату магнію, в якому в підвішеному стані знаходяться кристали сульфіту магнію, частинки золи та оксид магнію.



1 – золоуловлювач; 2 – димосос; 3 – скрубер; 4 – краплевловлювач; 5 – підігрівач; 6 – димова труба; 7 – згущувач; 8 – фільтр; 9 – сушка-гранулятор; 10 – піч; 11 – механічний пиловловлювач; 12 – електрофільтр; 13 – гази на сірчанокислотний завод; 14 – силос оборотної оксиду магнію; 15 – циклон пневмотранспортної лінії; 16 – рукавний фільтр; 17 – ємність для приготування суспензії оксиду магнію; 18 – збірник; 19 – насос циркулюючого розчину; 20 – бункер свіжого оксиду магнію; 21 – рукавний фільтр для очищення сушильного агенту; 22 – підведення тепла.

Рисунок 2.2 – Принципова схема очищення газів від діоксиду сірки магнезитовим методом

Очищені відхідні гази після проходження через краплевловлювач 4 підігріваються до температури 100-120 °С у підігрівачі 5 за рахунок подачі тепла 22 і виводяться в навколишнє середовище через димову трубу 6. Рідина, що спочатку виводиться з скрубера в згущувач 7 для видалення кристалів сульфіту магнію, а потім в збірник циркуляційного розчину 18, збагачується свіжою суспензією оксиду магнію для нейтралізації кислотних сполук. Після

нейтралізації рідина за допомогою насоса подається на зрошення скруббера. У міру накопичення кристалів сульфіту та сульфату магнію в зрошувальній рідині частина її виводиться з циклу та подається на фільтрацію в фільтр 8, де відбувається відділення кристалів від рідини. Освітлена рідина направляється до збірника 18 і насосом повертається в цикл зрошення. Кристали сульфіту магнію висушуються в сушарці-грануляторі 9 за допомогою подачі тепла 22 і далі подаються на регенерацію в піч 10, де при температурі 900–1000 °С відбувається розклад сульфіту магнію на оксид магнію та SO_2. Концентрація SO_2 у газі, що виходить з печі, становить близько 10 %. Цей газ охолоджується, очищається від пилу оксиду магнію та сірчаної пари в пиловловлювачі 11 і електрофільтрі 12 і надходить на подальшу обробку для виробництва сірчаної кислоти 98% концентрації. Оксид магнію охолоджується до 120 °С повітрям і повертається в цикл очищення від сірки 15. При цьому його втрати складають 5–10 %, тому для поповнення необхідно додавати свіжий оксид магнію в ємність 17.

До переваг технологій циклічних магнезитових методів очищення газів належать:

- можливість очищення газів без їх попереднього охолодження;
- досягнення високого ступеня очищення (до 90–96 %);
- низькі витрати реагенту завдяки його регенерації та поверненню в цикл;
- циркулюючі розчини мають слабокислу реакцію, що дозволяє обходитися без використання дорогих матеріалів;
- отримання товарного продукту у вигляді газу, що містить 10–19 % SO_2.
- відносно низька вартість реагента;
- обпалювання кристалів сульфіту магнію може бути здійснено поза межами електростанції.

Основні недоліки магнезитових технологій:

- складність технологічної схеми;
- численні операції з твердими речовинами (кристали сульфіту, оксид магнію, зола) спричиняють абразивний знос обладнання та комунікацій, а також утворення пилу;

- якщо частка окислення сульфіту магнію до сульфату перевищить 10 %, то процес регенерації оксиду магнію ускладнюється, оскільки в такому випадку необхідна вища температура обпалювання (1200-1300 °С) або застосування відновників сульфату до сульфіту магнію (коксу, метану, вуглецю та інших).

2.1.3 Аміачно-циклічні «мокрі»

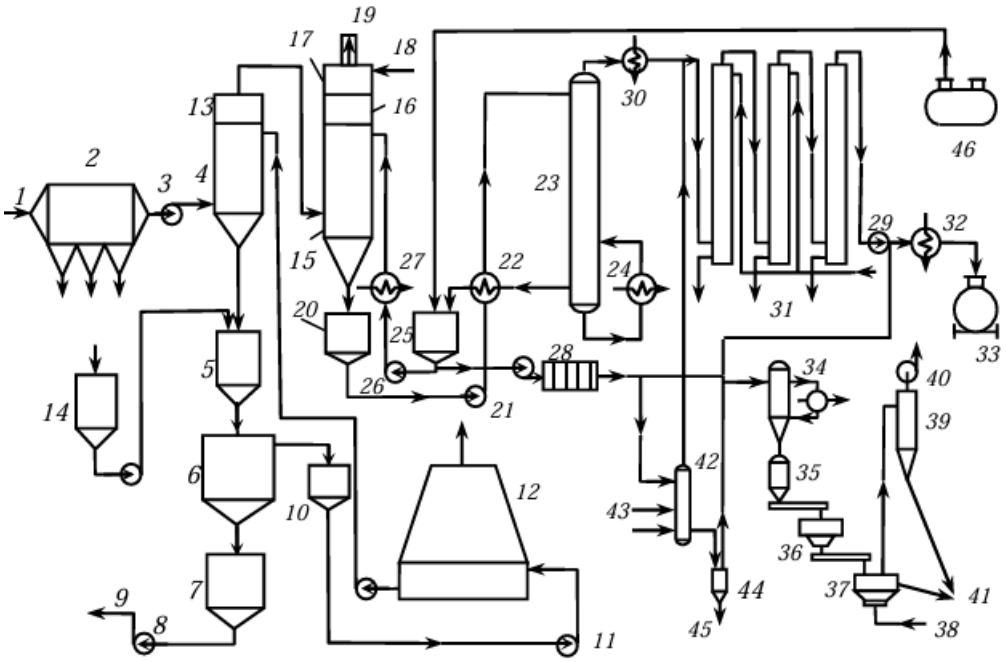
В таких системах очищення в якості поглинача SO_2 використовується сульфіт-бісульфітний розчин амонію. При промивці відхідних газів сульфіт-бісульфітним розчином SO_2 реагує з сульфітом амонію, утворюючи бісульфіт:

$$2(NH_4)_2SO_3 + SO_2 + 2H_2O \rightleftarrows 2NH_4HSO_3 \qquad (2.5)$$

Реакція протікає при відносно низькій температурі. Тому перед абсорбером димові гази охолоджуються до 30-35 °С. Один з варіантів технологій очищення відхідних газів за аміачно-циклічним методом представлений на рис. 2.3.

Суть технології полягає в наступному. Димові гази ТЕЦ 1 після попереднього очищення від летючої золи в електрофільтрі 2 за допомогою димососа 3 подаються в скруббер 4, де на керамічній насадці з кілець Рашига вони охолоджуються до 30 °С омиваючою водою. При цьому водяні пари, що містяться в складі димових газів, конденсуються, а вода набуває кислу реакцію, оскільки в ній розчиняється певна кількість SO_2, SO_3 та NO_x.

Для підвищення pH в нейтралізатор 5 подається вапняне молоко з установки для його приготування 14. Нейтральна пульпа надходить в відстійник 6, з якого шлам через приймач 7 насосом 8 видаляється в золовідвал 9, а освітлена рідина подається в приймач 10, охолоджується в градирні 12 і повертається в скрубер 4.



1 – димові гази; 2 – електрофільтр; 3 – димосос; 4 – скрубер; 5 – нейтралізатор; 6 – згущувач; 7, 10 – приймач; 8, 11, 21, 26 – насоси; 9 – золовідвал; 12 – градирня; 13 – краплевловлювач; 14 – установка приготування вапняного молока; 15 – абсорбер; 16 – електрофільтр; 17 – підігрівач; 18 – подача тепла; 19 – димова труба; 20, 25 – збірники; 22 – теплообмінник; 23 – десорбційна колона; 24 – випарник; 27 – холодильник; 28, 44 – фільтри; 29 – вакуум-насос; 30 – конденсатор-холодильник; 31 – три башти з насадкою; 32 – випарник; 33, 46 – цистерни; 34 – випарний апарат; 35 – кристалізатор; 36 – центрифуга; 37 – сушарка; 38 – повітря; 39 – пиловловлювач;40 – вентилятор; 41 – мішки; 42 – апарат для обробки тіосульфату кислотою; 43 – сірчана кислота; 45 – сірка.

Рисунок 2.3 – Схема аміачно-циклічного «мокрого» метода

Охолоджені димові гази, проходячи через краплевловлювач 13, подаються в скрубер барботажного типу 15 для поглинання діоксиду сірки. Очищені гази направляються в електрофільтр 16, де відбувається уловлювання бризок розчину та туману амонійних солей, а після підігріву до 100÷120 °С в підігрівачі 17 за рахунок подачі тепла 18 через димову трубу 19 викидаються в навколишнє середовище. Розчин сульфіт-бісульфіту амонію, насичений SO_2, з температурою 40 °С подається в збірник 20, а потім насосом 21 направляється в теплообмінник

22 для підігріву до 80 °С. Далі розчин подається в десорбційну колонну 23 на регенерацію за рахунок його нагріву до 97 °С паром, поданим в випарник 24. У колоні підтримується тиск (вакуум) близько 0,05 МПа. В цих умовах відбувається регенерація розчину за реакцією:

$$2NH_4HSO_3 \rightarrow (NH_4)_2SO_3 + SO_2 + H_2O \qquad (2.6)$$

Регенерований в десорбері розчин охолоджується до 60 °С в теплообміннику 22 і надходить в збірник 25. Основна його частина після охолодження в холодильнику 27 повертається в скрубер 15 для очищення газів від SO_2, а невелика частина звільняється від золи у фільтрі 28 і направляється в систему випарювання сульфату амонію.

Вологий діоксид сірки, виділений у процесі регенерації в десорбційній колоні, подається в конденсатор-холодильник 30, де водяні пари конденсуються, а SO_2 осушується в баштах з насадкою 31 концентрованою сірчаною кислотою. Далі діоксид сірки оживляється в випарнику 32 і з температурою -10 °С у цистернах 33 постачається споживачеві. Хоча технологія очищення димових газів від сірки є відносно простою, вона ускладнюється різними побічними процесами. Сульфіт-бісульфіт амонію, що міститься в робочому розчині, частково окислюється до сульфату за рахунок кисню, присутнього в димових газах:

$$2(NH_4)_2SO_3 + O_2 = 2(NH_4)_2SO_4 \qquad (2.7)$$

Оскільки сульфат амонію, що накопичується в робочому розчині, не бере участі в поглинанні SO_2 з димових газів, частина розчину виводиться з циклу і подається в випарний апарат 34, де за рахунок теплоти пари при тиску 0,022 МПа відбувається його випаровування. Кристали сульфату амонію відокремлюються від маточного розчину в кристалізаторі 35 і центрифузі 36, а потім сушаться в сушарці з киплячим шаром 37 гарячим повітрям. Сульфат амонію упаковується в мішки 41 і використовується як добриво. Сушильний агент після очищення від

пилу в циклоні 39 вентилятором 40 видаляється в атмосферу. Для відновлення втрат у розчин додається свіжий аміак.

Ще одним побічним, небажаним процесом, який ускладнює очищення димових газів від сірки, є утворення тиосульфату амонію $(NH_4)_2SO_3$. Якщо вміст тиосульфату перевищує 0,15 моль/л, необхідно вивести додаткову кількість робочого розчину для випарювання і, відповідно, додавати в систему свіжий аміак. Для виведення тиосульфату частина розчину обробляється сірчаною кислотою 43 в апараті 42. При цьому сульфіт, бісульфіт і тиосульфат амонію перетворюються на сульфат з утворенням SO_2 та елементарної сірки. Розчин сульфату амонію подається на випарку 34, сірка фільтрується у фільтрі 44 і використовується як товарний продукт, а SO_2 направляється в систему осушення 31.

Переваги аміачно-циклічних технологій:

- висока ефективність очищення – до 90-92 %;
- відсутність операцій з твердими частинками на етапах абсорбції та регенерації розчину;
- отримання товарних продуктів у вигляді зрідженого діоксиду сірки та сульфату амонію, що значною мірою покриває витрати на сероочистку.

Недоліки цих методів:

- необхідність попереднього охолодження газів, що вимагає великих обсягів води;
- потреба в нейтралізації кислої води;
- висока ціна аміаку;
- великі початкові інвестиції та експлуатаційні витрати;
- значні теплові витрати на регенерацію розчину, випарювання та сушку сульфату амонію (близько 10 % палива, яке витрачається на виробництво тепла та електрики);
- наявність вторинних шкідливих викидів: витоки аміаку та діоксиду сірки, неприємні запахи з випарників і сушильних установок;
- великі території, необхідні для розміщення обладнання, будівель та комунікацій;

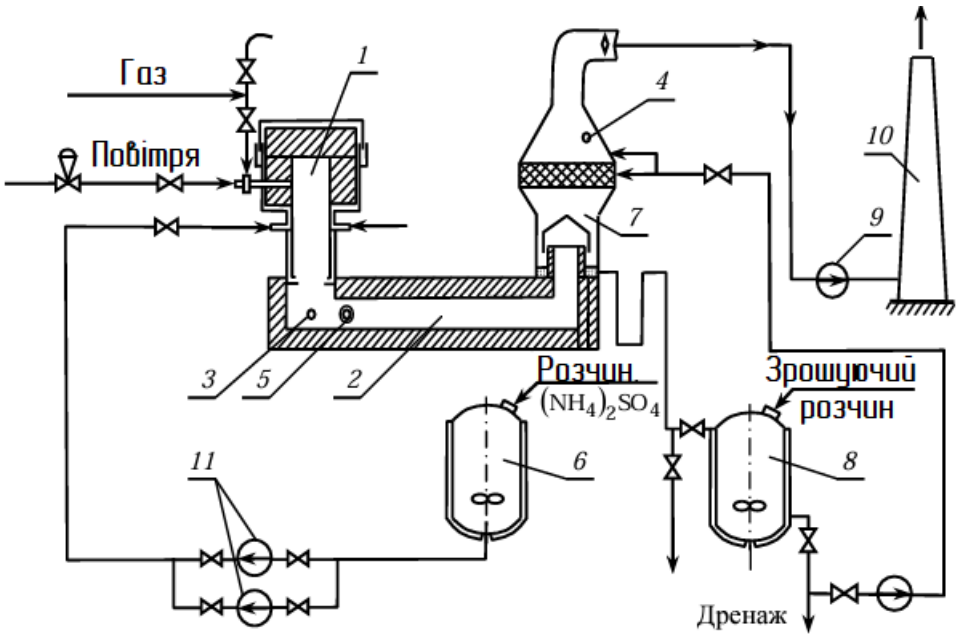
- необхідність підігріву очищених димових газів перед їх викидом у навколишнє середовище;

- утворення сульфатів амонію та тиосульфатів як побічних продуктів, що збільшує витрати аміаку.

2.1.4 Мокрі амонійно-карбамідні методи

Технології, що реалізують ці методи, базуються на взаємодії діоксиду сірки з аміновмісним реагентом. Для нейтралізації SOx використовуються продукти термічного розкладу карбаміду, в результаті контакту яких з SOx в насадковому скрубері забезпечується майже повне зв'язування SO2 у розчині сульфіт-бісульфітних солей амонію [24]. Технологічна схема установки очищення димових газів ТЕС від діоксиду сірки амонійно-карбамідним методом наведена на рис. 2.4. Ліва частина технологічної схеми на рис. 2.4 (поз. 1, 3, 6, 11) є схемою підготовки високотемпературних газів з заданим вмістом SO_2 і не має безпосереднього відношення до технології очищення газів від сірки, тому тут не розглядається. Процес очищення від сірки протікає наступним чином. У газоході 2, де температура димових газів становить 600-800 °С, вводиться 10 % водний розчин карбаміду за допомогою форсунки 5. Специфічне споживання розчину визначається на основі витрат димових газів та вмісту SO_2 в них. В середньому витрати карбаміду складають близько 0,008 кг на 1 м³ продуктів згоряння (при нормальних умовах) при середньому вмісті SO_2 близько 0,02 г/м³.

Розчин подається назустріч потоку газів. Діаметр крапель розчину становить 230÷300 мкм. Після охолодження в газоході 2 продукти згоряння з температурою 180÷200 °С потрапляють в насадковий скрубер 7. На початковому етапі роботи установки скрубер зрошують водою з ємності 8.



1 – циклонний реактор; 2 – газохід; 3, 4 – точки відбору проб; 5 – форсунка; 6 – ємність з розчином сульфату амонію; 7 – насадковий скрубер; 8 – ємність з зрошуваючим розчином; 9 – димосос; 10 – димова труба;11 – насоси

Рисунок 2.5 – Схема мокрого амонійно-карбамідного методу

При цьому температура газів знижується до 70÷90 °С, при якій у скрубері відбуваються процеси нейтралізації оксидів сірки та розчинення амонійних солей:

$$2NH_3 + SO_2 + H_2O \rightarrow (NH_4)_2SO_3 \quad (2.8)$$

$$NH_3 + SO_2 + H_2O \rightarrow NH_4HSO_3 \quad (2.9)$$

Після скрубера розчин з температурою 60÷80 °С подається в ємність 8, після чого насосом 11 повертається в цикл. Насичення розчину відбувається за рахунок його багаторазової циркуляції як зрошувальної рідини. Зі збільшенням вмісту солей ефективність поглинання підвищується. Очищені димові гази з температурою 70-90 °С скидаються димососом 9 в димову трубу 10. Ступінь очищення димових газів від NO_x становить 90-95 %, а від SO_2 – 20-30 %. Вміст аміаку в очищених газах залишається в межах 8-16 мг/м³.

Серед основних переваг амонійно-карбамідних методів очищення димових газів ТЕС можна виділити:

- високу ефективність очищення від NO_x та SO_2, а також часткове усунення аміаку;

- відсутність потреби в попередньому охолодженні газів перед скруббером та їх подальшому підігріві перед димовою трубою;

- простоту технологічної схеми.

До недоліків цих технологій відносять:

- недостатню ступінь розробленості для широкомасштабного впровадження;

- забруднення навколишнього середовища вторинними викидами, такими як аміак і стічні води.

2.1.5 Мокрий содово-циклічний метод

Цей метод був розроблений і знайшов застосування в США, де відомий як метод «Welman-Lord». Принципово цей метод аналогічний аміачно-циклічному, , тільки замість солей амонію в якості поглинача використовуються солі натрію, які більш міцно зв'язують SO_2. В основі методу лежить хімічна реакція:

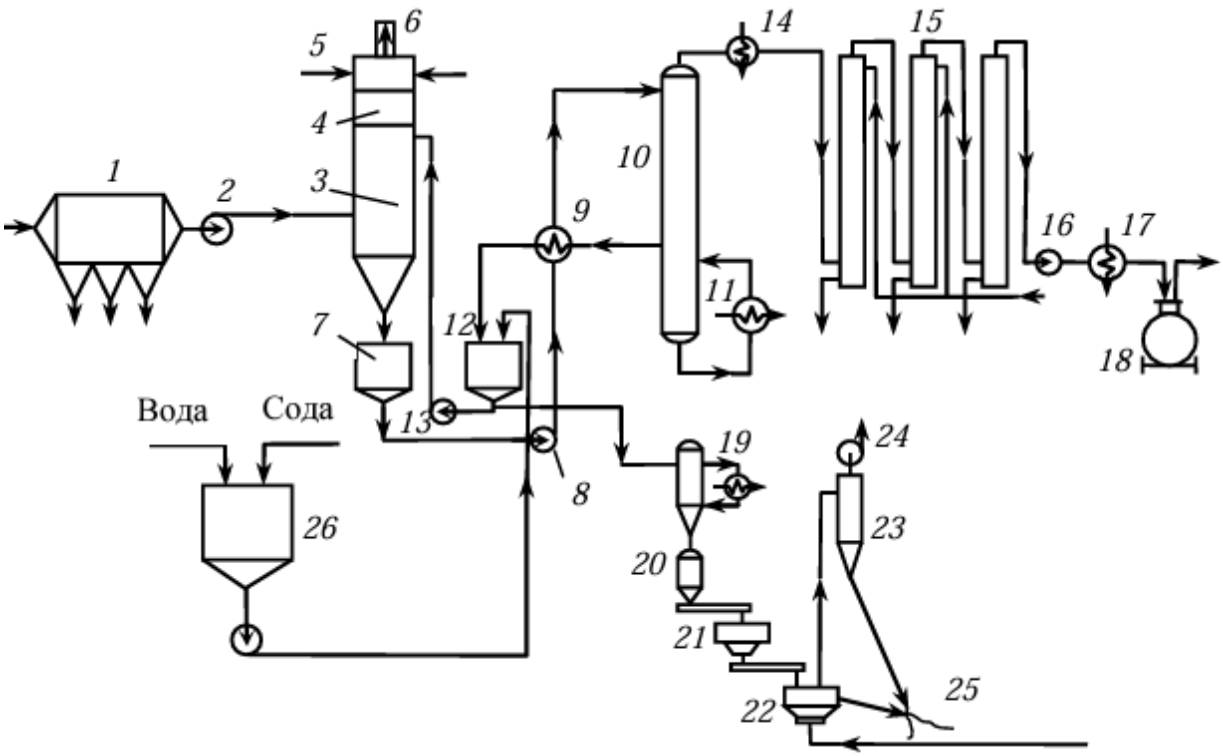
$$Na_2SO_3 + SO_2 + H_2O \leftrightarrow 2\ NaHSO_3 \qquad (2.10)$$

При цьому не потрібне попереднє охолодження димових газів, як це було в аміачно-циклічному методі.

При нагріванні бисульфіту натрію в дистиляційній колоні наведена вище реакція йде в зворотному напрямку, тобто відбувається регенерація сульфіту натрію:

$$2NaHSO_3 + O \rightarrow Na_2SO_3 \downarrow + SO_2 \uparrow + H_2O \uparrow \qquad (2.11)$$

На рис. 2.6 представлена принципова технологічна схема очищення газів мокрим содово-циклічним методом.



1 – пиловловлювач; 2 – димосос; 3 – скрубер; 4 – бризгоуловлювач; 5 – підігрівач газів; 6 – димова труба; 7 – збірник розчину; 8 – насос; 9 – теплообмінник; 10 – дистиляційна колонна; 11 – кип’ятильник; 12 – збірник регенерованого розчину; 13 – циркуляційний насос; 14 – конденсатор-холодильник; 15 – башти; 16 – вакуумний насос; 17 – конденсатор; 18 – цистерна; 19 – випарний апарат; 20 – кристалізатор; 21 – центрифуга; 22 – сушарка; 23 – пиловловлювач; 24 – вентилятор; 25 – кристали сульфату натрію; 26 – вузол підготовки розчину соди.

Рисунок 2.6 – Принципова технологічна схема очищення газів мокрим содово-циклічним методом

Технологічний процес очищення від сірки в цьому випадку відбувається наступним чином. Відхідні гази очищаються від твердих часток у пиловловлювачі 1, і димососом 2 подаються в скруббер 3, у верхню частину якого насосом 13 подається поглиначний розчин сульфіту натрію. В абсорбері відбувається поглинання SO_2, і очищені димові гази, проходячи через бризгоуловлювач 4 та підігрівач 5, викидаються через димову трубу 6 в атмосферу. Насыщений діоксидом сірки розчин бисульфіту натрію потрапляє в

збірник розчину 7 і насосом 8 подається в теплообмінник 9, де підігрівається за рахунок теплоти регенерованого розчину і направляється в дистиляційну колонну 10. У колонні за рахунок теплоти пари, поданого в кип'ятильник 11, відбувається регенерація сульфіту натрію з виділенням SO_2 у газоподібному вигляді. Регенерований розчин потрапляє в збірник 12 і подається в систему зрошення скруббера, замкнувши цикл очищення від сірки. Діоксид сірки очищається від водяних парів у конденсаторі-холодильнику 14 та потрапляє в башти з насадкою 15, де осушується шляхом зрошення концентрованою сірчаною кислотою. Потім SO_2 зріджується в конденсаторі 17 і в цистернах 18 транспортується до споживачів.

В процесі очищення газів сульфіт натрію окислюється до сульфату натрію, який не бере участь у зв'язуванні діоксиду сірки, тому частина розчину виводиться з циклу зрошення скруббера і випаровується в випарному апараті 19. Сульфат натрію кристалізується в кристалізаторі 20, відокремлюється від розчину в центрифузі 21, сушиться в сушарці 22 і надходить споживачу або на золоотвал. Для заміщення виведеного з процесу сульфату натрію в зрошувальний розчин додається еквівалентна кількість соди Na_2SO_3 з вузла підготовки 26 в збірник 12. Сушильний агент після пиловловлювання в пиловловлювачі 23 вентилятором 24 викидається в атмосферу.

- Основні переваги технології содово-циклічного методу включають:
- високу ефективність очищення газів від SO_2, що перевищує 90%;
- високий рівень якості кінцевого продукту (повна відсутність діоксиду сірки);
- відсутність потреби в попередньому охолодженні димових газів;
- відсутність втрат реагенту з газами та забруднення атмосфери, оскільки натрієві солі мають дуже низьку парціальну напругу парів над розчином;
- кращу ефективність очищення в порівнянні з аміачно-циклічним методом, особливо за умов низької концентрації SO_2 у димових газах;
- простота та надійність технологічного процесу;
- простота в складуванні та дозуванні соди в порівнянні з аміаком.

Серед недоліків цього методу можна відзначити:

- високу вартість соди;

- значне енергоспоживання (3-6% від потужності енергоблоку);

- великий обсяг сульфату натрію низької чистоти, що обмежує його використання;

- корозійна активність циркулюючих рідин, що потребує використання корозійностійких матеріалів для виготовлення обладнання;

- необхідність підігріву газів перед викидом в атмосферу;

- великі площі для розміщення обладнання.

2.1.6 Мокро-сухий метод десульфурації відхідних газів на основі розпилювальної абсорбції

Суть цього методу полягає в наступному. Димові гази після очищення від золи подаються в прямоточний мокро-сухий абсорбер, куди також подається тонко диспергована водна суспензія реагенту. Велика поверхня контакту дрібних крапель суспензії з димовими газами, що містять діоксид сірки, забезпечує швидке його поглинання.

При подальшому русі газів в абсорбері вода випаровується, а сульфіти в сухому вигляді разом з залишковими частками золи уловлюються в рукавному фільтрі або в електрофільтрі. Рукавний фільтр в установках розпилювальної абсорбції є переважним, оскільки в шарі непрореагованого сорбенту, що утворюється на поверхні рукавів, додатково вловлюється до 15% початкової кількості. Після видалення пилу димові гази відводяться через димову трубу в атмосферу за допомогою димотяга

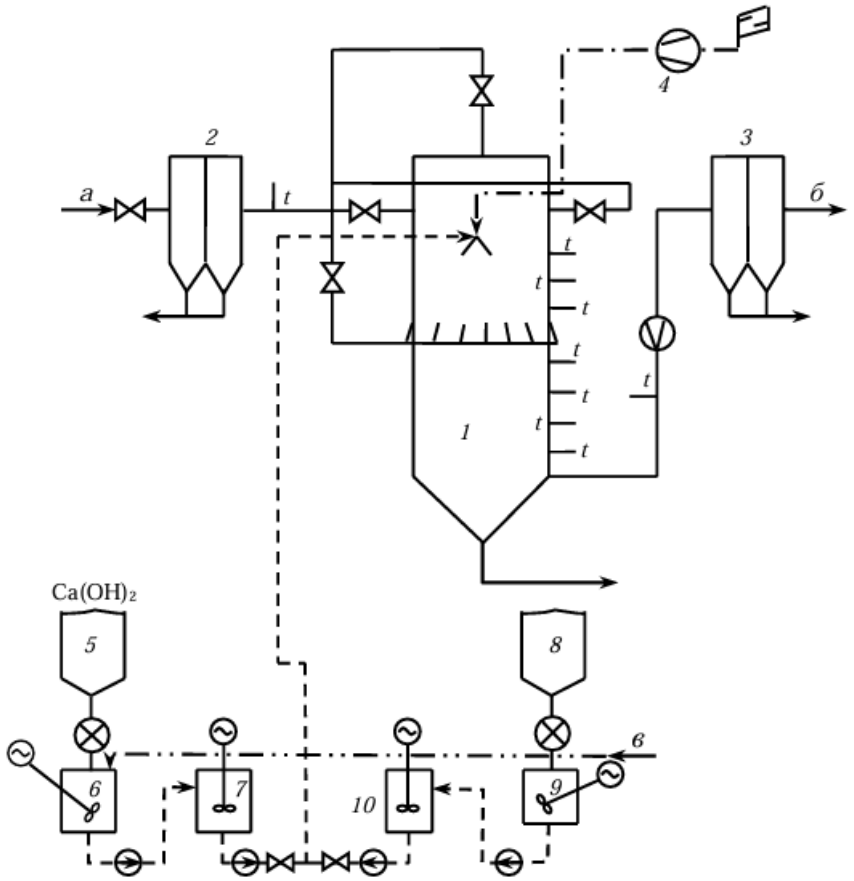
Час контакту димових газів з сорбентом в абсорбері порівняно малий. Тому в якості сорбенту застосовуються речовини, які активно реагують з SO_2. Найчастіше використовують вапно. У цьому випадку загальний ступінь очищення газів (з урахуванням уловлювання в фільтрі) становить 80÷85% при відношенні $CaO/SO_2 < 1,5\%$. Можливе також використання більш дорогих та ефективних сорбентів – карбонатів або гідроксидів натрію та калію. Температура газів перед абсорбером дорівнює температурі вихідних газів з котла і становить

120÷200 °С. Принципова технологічна схема установки очищення димових газів, побудованої на одній з ТЕС Росії і що працює на основі методу розпилювальної абсорбції, наведена на рис. 2.7.

У цій установці передбачена можливість використання як вапна, так і лугів NaOH або KOH.

Переваги сірковловлювальних установок, які працюють на основі методу розпилювальної абсорбції, такі:

- відсутність стічних вод, що дозволяє уникнути необхідності у системах переробки рідких відходів;



а – вхід димових газів; б – до димотяга; в – введення технічної води; t – місця вимірювання температури; 1 – скрубер; 2 – золоуловлювач; 3 – пиловловлювач; 4 – компресор; 5 – бункер вапна; 6 – бак приготування суспензії; 7 – витратний бак суспензії; 8 – бункер лугу; 9 – бак приготування розчину; 10 – витратний бак розчину.

Рисунок 2.7 – Мокро-сухий метод десульфурації відхідних газів

- вища температура газів на виході, порівняно з мокрим методом очищення, що дозволяє не підігрівати їх перед викидом в димову трубу;

- простота технологічної схеми та компактність установки, що робить її менш капіталомісткою і, відповідно, більш економічною серед усіх розглянутих варіантів;

- досить висока ефективність очищення газів від SO_2, що дозволяє досягти нормативів викидів при спалюванні малосірчистих палива.

Недоліки цього методу:

- потреба у використанні вапна як реагенту, що є дорожчим та дефіцитним матеріалом порівняно з вапняком;

- складнощі з утилізацією уловлених продуктів очищення газів (відходом є хімічно активний кальцієвий сульфіт, для зберігання якого необхідні спеціальні відвали або додаткове обпікання з подальшим окисленням до нейтрального гіпсу);

- ускладнена конструкція системи тонкого розпилення суспензії.

2.2 Обгрунтування вибору хімічного способу очистки газів від діоксиду сірки

З вищенаведених способів очищення газів від діоксіду сірки найбільш ефективним і екологічно-доцільним є метод очистки газів на основі розпилювальної абсорбції. Один із варіантів очищення технологічних газів, що утворюються в агломераційних машинах, передбачає використання рукавних фільтрів типу ФРІР. Ці фільтри призначені для видалення агломераційного пилу з газового потоку, після чого зібраний пил повертається в шихтове відділення аглофабрики для подальшої утилізації. Крім того, система також включає очищення діоксиду сірки в адсорбері, де здійснюється вловлювання продуктів реакції за допомогою рукавних фільтрів типу ФРІР. Такий підхід дозволяє ефективно очищати гази від забруднень і забезпечити їх подальшу переробку.

Система газоочищення агломераційного виробництва включає кілька важливих етапів. Перший етап полягає в фільтрації пилу з газового потоку за

допомогою рукавних фільтрів, після чого очищені гази можуть бути передані в адсорбер для додаткового очищення від діоксиду сірки. В результаті цього процесу продукти реакції, що виникають при взаємодії газів з адсорбентами, потрапляють у рукавний фільтр, де відбувається їх вловлювання.

Таке очищення є важливим етапом у забезпеченні екологічної безпеки агломераційного виробництва та виконанні екологічних стандартів. Система газоочищення не тільки знижує викиди забруднень у атмосферу, але й сприяє раціональному використанню сировини, повертаючи зібраний пил назад до виробничого процесу.

На рис. 2.7 наведена принципова схема хімічної очистки агломераційних газів

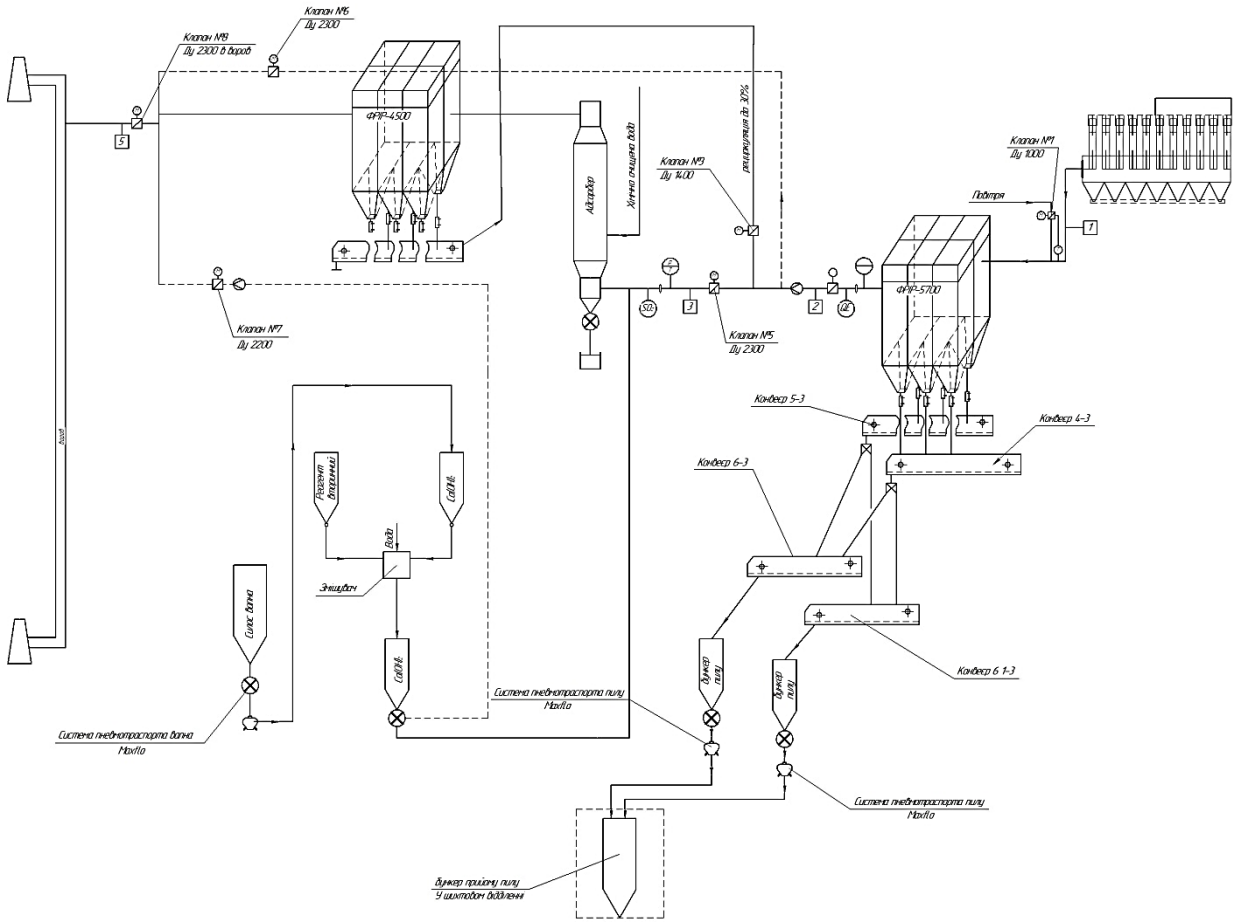


Рисунок 2.8 – Принципова схема хімічної очистки агломераційних газів

Газ, що виводиться з газового колектора агломераційної машини, спрямовується до рукавного фільтра ФРІР для очищення. Для створення

розрядження в газовому колекторі агломашини (11000–16000 Па) і подолання гідравлічного опору газового тракту першого ступеня, включаючи рукавний фільтр (3500–5500 Па), встановлений ексгаустер. Ексгаустер оснащений напрямним апаратом з електромеханічним приводом і жалюзійними решітками, що розташовані на всмоктуючих колекторах агрегату. Направляючий апарат служить для запуску ексгаустера, а дросельні клапани забезпечують можливість виконання ремонтних робіт і аварійного відключення.

Оскільки при ненормальних умовах роботи агломашини можливі короткочасні температурні коливання до 300°С, для захисту рукавів фільтра від перегріву на вхідному колекторі фільтра ФРІР встановлений клапан підсосу атмосферного повітря Ду1000. Цей клапан спрацьовує автоматично, коли температура перевищує 250°С, і дозволяє регулювати температурні параметри. Клапан розташований у верхній частині вхідного колектора брудного газу, а його механізм пов'язаний із датчиком температури Pt100, що встановлений на стінці газоходу перед виходом з колектора агломашини.

Для виготовлення тканини рукавного фільтра використовується волокно з оксалону та базальтової сітки (4949 METEOR), що забезпечує високу ефективність фільтрації при високих температурах.

3 ПРОЄКТНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок рукавного фільтру (перша ступень)

Об'ємна витрата газу від агломераційної машини при нормальних умовах становить V_0 =188000 нм^3/год. Температура газу дорівнює t_0=200 °С. Розрідження перед рукавним фільтром складає −8,2 кПа. Концентрація пилу в газі, що надходить на очищення, дорівнює 6 г/м^3. Щільність пилових частинок 2000 кг/м^3. Склад газів можна взяти згідно з розділом 1.

Гранулометричний склад пилу у газі наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Гранулометричний склад пилу у газі

Розмір часток пилу, мкм	0–4	4–7	7–10	10–16	16–25	25–40	40–50	50–68	≥68
Вміст, %	4	2	2	2	7	8	14	4	57

Тепер необхідно розрахувати густину суміші газів при нормальних умовах (кг/м³).

$$\rho_0 = 0{,}01 \cdot \sum_{1}^{n} \rho_{0i} \cdot a_i \qquad (3.1)$$

де a_i – об’ємна концентрація речовин в агломераційному газі, %;

ρ_{0i} – густина компонентів газової суміші за нормальних умов, кг/м^3.

$$\rho = 0{,}01 \cdot (4{,}5 \cdot 1{,}976 + 14 \cdot 1{,}429 + 2{,}5 \cdot 1{,}25 + 0{,}2 \cdot 2{,}926 + 78{,}8 \cdot 1{,}251) =$$
$$= 1{,}311 \quad \text{кг/м}^3$$

Тоді густина суміші газів за робочих умов, кг/м^3:

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

де В –тиск навколишнього повітря (атмосферний тиск), кПа;

$P_г$ – розрідження газів у газоході, кПа;

Т – температура газів, °С.

$$\rho = \frac{273 \cdot (101{,}3 - 8)}{101{,}325 \cdot (273 + 210)} \cdot 1{,}311 = 0{,}682 \text{ кг/м}^3$$

Тоді далі розраховуємо об’єм газу при р.у., м^3/с:

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

де V_0 – об’єм аглогазу за н.у., $V_0 = 188000$ м^3/год.

$$V = \frac{101325 \cdot (273+210)}{273 \cdot (101.3-8)} \cdot 188000 = 101{,}18 \text{м}^3/\text{с}$$

Приймаємо значення питового газового навантаження на фільтр, яке дорівнює q=1,1 м^3/м^2. Для визначення площі фільтруючої поверхні, необхідної для ефективного очищення, потрібно провести додаткові розрахунки.

Площа фільтруючої поверхні залежить від кількості газу, що проходить через фільтр, і може бути визначена за допомогою рівняння:

$$V = \frac{F}{q} = \frac{101{,}18 \cdot 60}{1{,}1} = 5518{,}9 \text{ м}^2.$$

Отже, відповідно до розрахунків обираємо рукавний фільтр типу ФРІР-5700:

1. Продуктивність по газу, що очищається, тис. м^3/год.	513– 684
2. Питоме газове навантаження, м^3/м^2·хв	1,5 – 2,0
3. Площа фільтрації, м^2	5700
4. Допустима температура газу, що очищається, °С	не більше 135
5. Масова концентрація пилу в газі, що очищається, г/нм3	
на вході у фільтр	до 50
на виході з фільтру	не більше 0,02
6. Гідравлічний опір фільтру, Па	не більше 2500
7. Кількість фільтрувальних рукавів, шт	2688
8. Розмір рукава фільтрувального, мм	
діаметр внутрішній	135
довжина	5200
9. Маса фільтру, кг	149500

10. Маса шатра фільтру, кг 65000

Далі проводимо перерахунок швидкості фільтрування – фактичне газове навантаження:

$$q_ф = \frac{V}{F_ф} = \frac{101,18}{5518,9} = 0,0183 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{с} = 1,10 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{хв}.$$

Розраховуємо гідравлічний опір, що створює корпусу рукавного фільтру:

$$\Delta P_к = \zeta \frac{\rho_Г \cdot W_{ВХ}{}^2}{2} \quad (3.4),$$

де $\rho_Г$ – густина газу за робочих умов, г/м^3;

$W_{вх}$ – швидкість газуу вхідному патрубку фільтру, м/с;

ξ – коефіцієнт гідравлічного опору корпусу, приймаємо для розрахунків ξ = 2.

$$\Delta P_к = 2 \frac{0,683 \cdot 8^2}{2} = 43,71 \approx 44 \text{ Па}.$$

Тоді опір фільтрувальної перегородки фільтру, Па, визначаємо за формулою:

$$\Delta P_{ф.п} = \Delta P_т + \Delta P_{ш.п.}, \quad (3.5)$$

де $\Delta P_т$ – гідравлічний опір тканини рукава фільтру, Па

$\Delta P_{ш.п.}$ – гідравлічний опір шару накопичувального пилу, Па

Гідравлічний опір тканини рукава фільтру розраховується за формулою:

$$\Delta P_т = A \cdot W_ф \cdot \mu_{г.см.} \quad (3.6)$$

ае A – постійна фільтрування;

$W_ф$ – швидкість фільтрування, м/с;

$\mu_{г.см.}$ – коефіцієнт динамічної в'язкості газової суміші при р.у., Па·с.

Гідравлічний опір шару накопичувального пилу, Па:

$$\Delta P_{ш.п.} = \Delta P_{ф} - \Delta P_{к} - \Delta P_{т}. \quad (3.7)$$

Розрахомуємо тривальність межрегенераційного періоду рукавного фільтру:

$$t_p = \frac{\rho_{ч}(\Delta P_{ф} - A \cdot B)}{A \cdot z_1 \cdot \omega} \quad (3.8)$$

де B – постійна фільтрування;

z_1 – початковий вміст пилу в газі, г/м^3.

Визначаємо величини постійних фільтрування А і В:

$$A = \frac{817 \cdot \mu \cdot \omega(1 - \varepsilon_{п})}{d_m^2 \cdot \varepsilon_{п}^3} \quad (3.9)$$

$$B = 0.82 \cdot 10^{-6} \cdot d_m^{0.25} \cdot \varepsilon_{тк}^3 \cdot (1 - \varepsilon_{п}) \cdot h^{2/3} \quad (3.10)$$

де ε_n – пористість шару пилу;

$\varepsilon_{тк}$ – пористість тканини (оксалон), долі од.;

d_m – середній медіанний розмір частинок пилу, м;

h- питомий гідравлічний опір, Па.

Визначаємо пористість тканини (оксалон), долі од. за наступною формулою:

$$\varepsilon_{п} = 1 - 79 d_m^{0,47} = 1 - 79(70 \cdot 10^{-6})^{0,47} = 0,12 \quad (3.11)$$

Далі знаходимо величину динамічного коефіцієнту в'язкості газу, для заданого складу:

$$\mu_{CO_2} = 13,7 \cdot 10^{-6} \frac{273+254}{273+210+254} \left(\frac{273+210}{273}\right)^{1,5} = 23,05 \cdot 10^{-6} \text{ Па·с};$$

$$\mu_{CO} = 16{,}6\cdot10^{-6}\frac{273+100}{273+210+100}\left(\frac{273+210}{273}\right)^{1,5} = 24{,}99 \cdot 10^{-6}\ \text{Па·с}$$

$$\mu_{N_2} = 17\cdot10^{-6}\frac{273+114}{273+210+114}\left(\frac{273+210}{273}\right)^{1,5} = 25{,}93 \cdot 10^{-6}\ \text{Па·с}$$

$$\mu_{O_2} = 20{,}3\cdot10^{-6}\frac{273+73}{273+210+73}\left(\frac{273+210}{273}\right)^{1,5} = 29{,}72 \cdot 10^{-6}\ \text{Па·с}$$

$$\mu_{SO_2} = 11{,}7\cdot10^{-6}\frac{273+396}{273+210+396}\left(\frac{273+210}{273}\right)^{1,5} = 20{,}96\cdot 10^{-6}\ \text{Па·с}$$

Отже, динамічна в'язкість агломераційного газу за робочих умов становить:

$\mu_{см} = (4{,}5\cdot23{,}05 + 2{,}5\cdot24{,}99 + 78{,}8\cdot25{,}93 + 14\cdot29{,}72 + 0{,}2\cdot20{,}96)10^{-6}/100$

$\mu_{см} = 26{,}3 \cdot 10^{-6}$ Па·с.

Тоді коефіцієнти фільтрації будуть мати наступні значення:

$$\text{A} = \frac{817 \cdot 26{,}3 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}0178(1-0{,}12)}{(70\cdot10^{-6})^2 \cdot 0{,}12^3} = 3{,}98 \cdot 10^7$$

$$B = 0.82 \cdot 10^{-6} \cdot (70 \cdot 10^{-6})^{0{,}25} \cdot 0{,}75^3 \cdot (1-0{,}12) \cdot (7{,}2\cdot10^5)^{\frac{2}{3}} = 2{,}2 \cdot 10^{-4}$$

Отже, гідравлічний опір тканини становить: $\Delta P_т = 3{,}98 \cdot 10^7 \cdot 0{,}0178 \cdot 26{,}3 \cdot 10^{-6} = 18{,}63$ Па.

Тоді опір шару пилу становить: $\Delta P_{ш.п.} = 2500 - 44 - 18{,}63 = 2437{,}7$ Па.

За форм. (3.8) визначаємо тривалість межрегенаційного періоду роботи рукавного фільтру:

$$t_p = \frac{2000(2500 - 3.98\cdot10^7\cdot2.2\cdot10^{-4})}{3.98\cdot10^7\cdot6\cdot10^{-3}\cdot0.0178\cdot60} = 50{,}6\ \text{хв}$$

Відповідно до технічної характеристики рукавного фільтру типу ФРІР-5700 кінцева запиленість газу становить 12 мг/м^3. Тоді ефективність роботи тканинного фільтру становить:

$$\eta = 100\% (z_1 - z_2)/ z_1 = 100\% (6 - 0{,}012)/ 6 = 99{,}8\ \%.$$

Після того, як газ проходить очищення в рукавному фільтрі, він направляється в другий етап очищення, де здійснюється уловлювання діоксиду сірки в адсорбері. У цьому процесі відбувається хімічна реакція:

$$SO_2+Ca(OH)_2=CaSO_3+H_2O$$

Гідроксид кальцію (свіжий реагент) завантажується в спеціальний бункер, об'ємом 1,15 м³. Через пневматичний насос, розташований під силосом свіжого реагенту, матеріал поступає в дозувальний бункер. Через шлюзовий живильник ШП-200, який встановлений у нижній частині бункера, реагент потрапляє в бункер дозатора, що розташований на рівні +9,300. Цей бункер дозування забезпечує подачу необхідної кількості реагенту в газовідводи.

Вторинний реагент надходить у дозувальний бункер через систему, подібну до тієї, яка використовується для свіжого реагенту. Після змішування реагентів матеріал за допомогою шлюзового живильника ШП-200 подається в газохід адсорбера. Цей живильник оснащений частотним перетворювачем, що дозволяє регулювати подачу матеріалу, залежно від концентрації SO_2 в газах, що очищуються. Це значно покращує контроль над процесом.

Після того, як реакція в адсорбері завершується, гази, що вже пройшли адсорбцію діоксиду сірки, за допомогою системи клапанів Ду2300 направляються в агломераційний цех для подальшої обробки.

У процесі регенерації рукавів сорбент знову подається на рециркуляцію через спеціальні бункери і конвеєри, що дозволяє збільшити час контакту частинок сорбенту з газами, що очищаються, а також покращує ефективність процесу уловлювання кислих компонентів. Це забезпечує значне зменшення

витрат сорбенту та підвищення ефективності очищення газів. Система дозування реагентів, яка включає бункери для свіжого та вторинного реагенту, дозволяє автоматично контролювати подачу матеріалів та воду для зниження температури газів до 95-100 °С.

Ось основні технічні характеристики адсорбера:

1. Довжина загального газоходу – 43 000 мм.
2. Діаметр циліндричної частини газоходу – 3500 мм.
3. Діаметр газоходу, що примикає до циліндричної частини – 2320 мм.
4. Товщина стінки циліндричної частини – 8 мм.
5. Товщина стінки газоходів – 10 мм.
6. Пропускна здатність по газу – 450 000 м³/год.
7. Споживана потужність для подачі реагенту – 6 кВт.
8. Маса обладнання (без термоізоляційного кожуха) – 33 400 кг.

Ці параметри дозволяють ефективно очищати гази від агломераційного виробництва, забезпечуючи високий рівень захисту від забруднення навколишнього середовища.

3.2 Розрахунок рукавного фільтру (друга ступень)

Наступним етапом є виконання розрахунку для рукавного фільтра, який використовується для затримання продуктів реакції, що утворюються під час адсорбції діоксиду сірки (SO_2) за участю гідроксиду кальцію ($Ca(OH)_2$). Цей фільтр є важливою частиною системи очищення, оскільки він забезпечує ефективне відділення не тільки газових компонентів, але й частинок, що виникають після хімічних реакцій.

Рукавні фільтри відіграють ключову роль у процесах очистки промислових газів від пилу, продуктів реакції та інших забруднень, оскільки їх конструкція дозволяє досягти високої ефективності очищення за рахунок фільтрації через спеціальні тканини або мембрани. Зазвичай вони оснащені автоматичними системами регулювання, які допомагають підтримувати оптимальні умови роботи, залежно від інтенсивності потоку газу та концентрації забруднень.

Розрахунок таких фільтрів враховує кількість частинок у потоці газу, їх розмір та склад, а також швидкість потоку газу, що дозволяє визначити необхідну площу фільтруючої поверхні та ефективність уловлювання шкідливих компонентів. Окрім того, важливим аспектом є врахування фізичних характеристик сорбентів, таких як їх щільність і пористість, оскільки ці фактори безпосередньо впливають на ефективність адсорбції та фільтрації.

Рукавні фільтри також мають важливу функцію регенерації сорбенту, що дозволяє зменшити витрати реагентів і підвищити економічність процесу. Виходячи з розрахунків, можна коригувати технологічні параметри та забезпечувати стабільну роботу системи очищення навіть за змінних умов виробничого процесу.

Вихідні дані для розрахунку рукавного фільтру другої ступені: температура газу після адсорбера t^o = 100 ^oC; запиленість газу z_1 = 5 г/м^3 , щільність частинок $CaSO_3$ (пилу) ρч = 2300 кг/м^3.

Далі використовуємо залежності (3.1-3.11) обраховуємо основні параметри роботи рукавного фільтру:

- об’єм газу за робочих умов -361 413 м^3/год;
- необхідної фільтруючої поверхні F=4015.7, м^2

За отриманими параметрами визначаємо тип рукавного фільтруФРІР-4500:

Площа фільтрування, м^2	– 4200
Продуктивність(макс.), м^3/год	– 340000
Питоме газове навантаження, м^3/м^2·хв	– 1,5
Гідравличний опір, Па	до 3500
Витрата стислого повітря, м^3/хв	– 3,6
Температура газівв, не більш, °С	– 150
Кількість фільтрувальних рукавів, шт	– 1620
Тиск повітря для регенерації, МПа	– 0,4÷0,5

Матеріал рукавів – оксалон та сітка з базальту (4949 METEOR).

Тоді час періоду між регенераціями рукавного фільтру буде становити 53,5 хв.

Відповідно до технічної характеристики рукавного фільтру типу ФРІР-5700 кінцева запиленість газу становить 12 мг/м^3. Тоді ефективність роботи тканинного фільтру становить:

$$\eta = 100\% (z_1 – z_2)/ z_1 = 100\% (5 - 0{,}012)/ 5 = 99{,}76\ \%.$$

Для протягування газоповітрянної суміші через систему газоочищення необхідно застосовувати тягодуттєве устаткування. Попередньо для цього розраховуємо аеродинаміку газового тракту

3.3 Аеродинаміка газового тракту системи хімічної очистки аглогазів

Для розрахунку повного опору газового тракту необхідно знайти суму опору з'єднувальних газоходів (рис.2.8), опору електрофільтру ЕГА та врахувати опір димової труби. Отже, повний опір, Па, розраховується за формулою:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{газ.}} + \Delta P_{\text{ел.ф.}} + \Delta P_{\text{дим.тр.}} \qquad (3.12)$$

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 $\Delta p_{м}$:

$$\Delta p = \sum_{i=1}^{m} \Delta p_{\text{тр } i} + \sum_{i=1}^{m} \Delta p_{\text{м } i}, \qquad (3.13)$$

де i – номер розрахункової ділянки;

m – кількість розрахункових ділянок.

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

$$\Delta p_{mp\,i} = \lambda_i \cdot \frac{l_i}{d_{ei}} \cdot \rho_{ri} \cdot \frac{w_i^2}{2}. \quad (3.14)$$

де λ_i – коефіцієнт гідравлічного тертя (Дарсі).

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

$$Re_i = \frac{w_i \cdot d_{ei}}{\nu_i}. \quad (3.15)$$

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

$$\rho_г = \rho_0 \frac{273}{273+t_г}, \quad (3.16)$$

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

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

$$V = \frac{V_0}{3600} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_t}, \quad (3.17)$$

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

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.

$$\lambda_i = 0{,}11 \times \left(\frac{k_{ei}}{d_{ei}}\right)^{0{,}25}. \quad (3.18)$$

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

$$\Delta p_{тр} = \sum_{i=1}^{m} \Delta p_{тр\ i}. \quad (3.19)$$

Отримані результати заносимо в таб. 3.2.

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

$$\Delta p_{мі} = \zeta_i \cdot \rho_{гі} \cdot \frac{v_i^2}{2}, \quad (3.20)$$

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:

$$\Delta p_{м} = \sum_{i=1}^{m} \Delta p_{мі}, \quad (3.21)$$

Таблиця 3.2 – Результати аеродинамічного розрахунку

Номер ділянки	t, ^{0}C	$Q_р$, м^3/с	Геометричні параметри				Втрати тиску				
			l, м	d, м	S, м^2	V, м/с	Вид місцевого опору	$\xi_м$	?$P_м$, Па	?P_l, Па	?$P_?$, П
1	210	101,23	20	2,8	6,15	16,44	Вихід з колектора	0,28	92,43	11,58	104,01
							Конфузор	0,08			
							Секційне коліно, 2 шт	0,78			
	Рукавний фільтр										2500
2	190	97,2	17	2,8	6,15	15,79	Дифузор	0,04	81,78	6,05	87,83
							Секційне коліно, 2 шт	0,78			
	Адсорбер										900
3	100	81,25	25	2,4	4,52	17,97	Дифузор	0,12	21,31	37	58,31
4	90	79,07	20	2,2	3,8	20,81	Рукавний фільтр				2500
							Секційне коліно, 2 шт	0,39	337,8	47,24	385,02
							Вхід до димотягу	0,52			
			Димотяг								-
5	90	79,07	15	2,3	3,8	20,81	-	-	-	33,89	33,89
Загальний опір											6569,0
			Димова труба								401,93

3.4 Розрахунок димової труби. Вибір димотяга

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:

$$\Delta p_{вх.тр} = \lambda \cdot \frac{H_{тр}}{d_{тр}} \cdot \rho_г \cdot \frac{W_{гирл}^2}{2} \ . \qquad (3.22)$$

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.

$$\Delta p_{вх.тр} = 0{,}017 \cdot \frac{120}{5{,}4} \cdot 1{,}12 \cdot \frac{18^2}{2} = 73{,}44 \quad \text{Па}$$

Опір на виході з димової труби:

$$\Delta p_{вих.\ тр} = \zeta_{вих} \cdot \rho_i \cdot \frac{\omega_{уст}^2}{2} \ , \qquad (3.23)$$

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

$$\Delta p_{вих.\ тр} = 1{,}15 \cdot 1{,}12 \cdot \frac{18^2}{2} = 223{,}56 \quad \text{Па}$$

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

$$\Delta p_д = \rho_i \times \frac{\omega_{уст}^2}{2} \ , \qquad (3.24)$$

$\Delta p_д = 1{,}12 \cdot \frac{18^2}{2} = 181{,}44$ Па

За формулою (3.38) визначаємо сумарний тиск в димовій трубі

$$P_\Sigma = \Delta P_{вх.тр.} + \Delta P_{вих.тр.} + P_д = 73{,}44 + 223{,}56 + 181{,}44 = 478{,}44 \text{ Па} \quad (3.25)$$

Самотяга становить:

$$P_с = (\rho_{атм} - \rho_г) \cdot q \cdot H_{тр}, \quad (3.26)$$

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

$$\rho_{атм} = \rho_0 \frac{273B}{(273 + t_{ос})B_{ст}},$$

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

$t_{ос}$ – температура навколишнього середовища, ° С, приймає такою що дорівнює 25 °С ;

$B_{ст}$ – стандартний тиск, $B_{ст}$ = 101,3 кПа;

Тоді густина повітря при 25 становиить 1,185 кг/м^3

$P_с = (1{,}185 – 1{,}12)\ 9{,}81 \cdot 120 = 76{,}51$ Па.

Додатковий тиск становить

:

$P_{доп.} = P_с – P_\Sigma = 76{,}51 – 478{,}44 = -401{,}93$ Па

Оскільки значення Рдоп < 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.

Вибір димососу здійснюється на основі аеродинамічного розрахунку газовідвідного тракту. Продуктивність димососу (Qд) 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.

$$Q_д = 1{,}1 \cdot Q_р \cdot \frac{101{,}3}{p_{бар}} \tag{3.27}$$

На розрахунковій ділянці, де встановлюємо димотяг,

$Q_р$ = 79,07 м^3/с = 284652 м^3/год. за робочих умов.

Тоді

$$Q_д = 1{,}1 \times 284652 \times \frac{101{,}3}{101{,}3} = 313117{,}2 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Тиск, що створюється димотягом (розрідження), приведене до умов каталогу, по якому вибирається димотяг $\Delta p_{кат}$, приймається рівним [20]:

$$\Delta p_{кат} = \beta_2 \times \Delta p_{заг} \times K_р = 1{,}2 \times (6970{,}99) \times 0{,}93 = 16707 \text{ Па}$$

де β_2 – коефіцієнт запасу тиску. Приймаємо коефіцієнт запасу тиску β_2=1,2 ;

$\Delta p_р$ – сумарний опір газовідвідного тракту, отриманий в результаті аеродинамічного розрахунку ,Па.

$K_р$ – коефіцієнт перерахунку.

Коефіцієнт $K_р$ визначається за формулою:

$$K_р = \frac{\overline{\text{Т}_{\text{г}i}}}{\text{Т}_{\text{х}}} \cdot \frac{101{,}3}{\text{р}_{\text{бар}}} \cdot \frac{\rho_{0г\,i}}{\rho_{0в}}, \tag{3.28}$$

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. $\overline{\text{Т}_{\text{г}i}} = (\overline{t^0_{гi}} + 273)$;

$\rho_{0гi}$ – 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 розрахунковій ділянці $\bar{t}_г$ = 90 °С.

Тоді: К=0,93

За результатами аеродинамічного розрахунку обираємо ексгаустер KBZ315-0710015-00.

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 [11].

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, °С -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

Один із найбільш ефективних методів зменшення пиловиділення під час спікання агломерату полягає в повному закритті агломераційної машини, включаючи її робочу частину, холостий хід і систему видачі агломерату. Покриття повинно бути встановлено по всій довжині хвостової частини, починаючи від запального горна, і охоплювати увесь проріз міжповерхового перекриття, де розташована машина. Особливу увагу варто приділяти герметизації зазорів, щоб запобігти витоку пилу.

Витяжні зонти, розташовані над хоперами, гарантують ефективне відведення запиленого повітря. Вони забезпечують швидкість повітря в зоні між зонтом і бортиком хопера близько 2 м/с, що дозволяє відводити до 80 000 м³/год з кожного зонта. Запилене повітря проходить через багатоступеневу систему очищення, після чого уловлений пил повертається до технологічного процесу, зменшуючи втрати матеріалу і покращуючи екологічну ситуацію.

Оскільки процес просівання агломерату безперервний, а завантаження хоперів — періодичне, витяжка повітря здійснюється окремо від укриттів гуркотів, дробарок і зонтів. Це дозволяє оптимізувати роботу вентиляції та підвищити ефективність очищення.

Для покращення пилоподавлення необхідно впроваджувати герметичні конструкції укриттів, регулярно перевіряти технічний стан обладнання та використовувати автоматизовані системи контролю вентиляційних установок. Це дозволить забезпечити стабільну роботу процесів з мінімальним впливом на навколишнє середовище. Крім того, для підвищення ефективності і екологічної

безпеки агломераційних машин слід укрити їх холостий хід, забезпечуючи герметичність на всій висоті приміщення між розвантажувальною частиною та приводною зірочкою. Над зонами завантаження агломерату в вагони варто встановлювати витяжні зонти, під'єднані до жолобів видачі, що дозволяє локалізувати пил та знизити його попадання 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.

2. 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.

3. 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.

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.

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.

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.

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.

4.5 Розробка заходів зі зменшення впливу вібрації та шуму 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.

Укриття являє собою звукоізолюючий кожух виконаний зі сталі товщиною 2 мм, на який зсередини наклеєний звукопоглинальний шар скляної вати з товщиною 100мм 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 1м^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):

$$\Delta L = 10\, lg \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \qquad (4.3)$$

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:

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

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.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок капітальних витрат на очищення газу

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

Загалом капітальні вкладення включають такі основні статті витрат:

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

Вартість основного обладнання наведена в табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Капітальні вкладення

№	ПОКАЗНИКИ	БАЗОВИЙ ВАРІАНТ	ПРОЕКТНИЙ ВАРІАНТ
		СУМА, ТИС. ГРН	СУМА, ТИС. ГРН
1	Скрубер Вентурі	1000,000	0,000
	Рукавний фільтр	0,000	24000,000
	Насос	350,000	140,000
	димотяг	350,000	340,000
	Адсорбер	0,000	176,300
	Ділянка вловленого продукту та реагенте господарство	6000,000	2500,000
Вартість основного устаткування		7700,000	27156,300
	Димова труба	490.000	490.000
Вартість основних споруджень		**8190,000**	**27646,300**
2	Газоходи	460.000	600.000
3	КВП	1925,000	6789,075
	Всього	10575,000	35035,375
4	Вартість монтажу устаткування та споруджень	3172,500	10330,613
5	Вартість монтажу комунікацій	69.000	90.000
6	Витрати на будинку	467.5	660.000
7	Накладні витрати	2115	7007,075
Всього капітальних вкладень		**16399,000**	**53123,063**
Всього капітальних вкладень на 1000 $м^3$ газу		**10,130**	**32,816**

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

$$C_{КВП} = 0{,}25 \cdot C_{ОСН.У.}, \tag{5.1}$$

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

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на очищення газу і уловлювання пилу

Річні експлуатаційні витрати на очистку газів, грн./рік

$$C \quad = \sum_{i=1}^{n} C_i = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7, \tag{5.2}$$

де C_1 – витрати на електроенергію, грн.;

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

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

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

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

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

C_7 – загальновиробничі витрати, грн.

Енергетичні витрати:

$$C_1 = r \cdot l \cdot N \cdot \tau, \quad (5.3)$$

де r – вартість електроенергії, для промислових підприємств, у звичайні години і години пік грн./кВт·год. ;

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

N – сумарна потужність електродвигунів до димососів та агрегатам живлення, кВт.

Амортизаційні відрахування від основних фондів (C_3) визначається множенням вартості основних фондів на відповідні норми амортизаційних відрахувань:

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

Результати розрахунку заносимо до табл. 3.6.

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

$$Ср.ф. = 0,15 \cdot C_{заг}, \quad (5.5)$$

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

Тоді амортизаційні відрахування будуть складатися:

$$C_3 = C_{заг} + Ср.ф. \quad (5.6)$$

Результати розрахунку заносимо до табл. 5.2.

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

$C_7 = 0,30(C_4) = 221556,32$ грн.

Результати розрахунку заносимо до табл. 5.2.

Розрахунок зниження екологічного податку здійснюється на основі аналізу впливу впроваджених заходів з охорони навколишнього середовища та скорочення викидів забруднюючих речовин. Для визначення величини зменшення податку необхідно врахувати такі фактори:

Таблиця 5.2 – Експлуатаційні витрати з урахуванням зменшення екоподатку

№	Найменування	Базовий варіант		Проектний варіант	
		Величина витрат, грн/1000 м^3	Витрати річні грн	Величина витрат , грн/1000 м^3	Витрати річні грн
1	Вода технічна	13.92	22533696,00	4,01	11266848,00
2	Стисле повітря	-	-	0,61774	1000000
3	Тканина	-	-	0,75612	1224000,00
4	Реагент	-	-	2.96	5000026,23
5	Електроенергія	22,11	35784639,00	20,88	33796603,50
3	Амортизаційні відрахування	1,05	1707125,00	3,62	5858213,75
4	ЗП основний робітників				
	- основна	0.38908	406060	0.38908	406060
	- додаткова	0.30105	303940	0.30105	303940
5	Єдиний соціальний внесок	0.15183	162474.64	0.15183	162474.64
6	Витрати на ремонт та утрим. устаткування	0,15818	256068,75	0,54283	878732,06
7	Загальновиробничі витрати	0.20704	221556.32	0.20704	221556.32
8	Загальні витрати на очищення	37,93	61404080,79	34,07	55146949,35
9	Економія від утилізації пилу	0,419	679070,412	0,43	688278,178
10	Зменьшення екоподатку	-	-	0,24	381955,117
		37,512	**60725010,379**	**33,405**	**54076716,1**

Таким чином, розрахунок зменшення екологічного податку базується на порівнянні показників до і після впровадження екологічних заходів та зарахуванні досягнутих результатів у вигляді зменшення обсягів забруднень і збереження природних ресурсів.

$$П_{вс} = \sum_{i=1}^{л} M_i \cdot H_{пі}, \quad (5.7)$$

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

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

.

5.3 Техніко-економічне обґрунтування проєктних рішень

Термін повернення капітальних витрат на будівництво газоочисної системи визначається як період, необхідний для покриття витрат через отримані економічні вигоди від зменшення витрат на екологічний податок, а також завдяки покращенню ефективності виробничого процесу. Оцінка цього терміну включає врахування таких факторів:

1. Зниження витрат на екологічний податок – завдяки зменшенню рівня забруднень, компанія може скоротити суми податкових платежів, що дозволяє швидше компенсувати вкладені кошти.

2. Покращення енергоефективності – газоочисна система може сприяти зниженню енергоспоживання, що також знижує експлуатаційні витрати та сприяє швидшому поверненню інвестицій.

3. Дотримання екологічних стандартів – установка ефективних газоочисних систем дозволяє забезпечити відповідність державним нормам та стандартам, що може призвести до уникнення штрафів за перевищення рівня викидів, знову ж таки знижуючи додаткові витрати.

4. Поліпшення репутації компанії – інвестиції в екологічно чисті технології підвищують імідж компанії на ринку, що може призвести до збільшення попиту на продукцію, нових контрактів і, як результат, більшого прибутку.

Всі ці фактори обчислюються разом для отримання точного періоду, необхідного для окупності капітальних вкладень в газоочисну систему.

Таким чином, термін окупності капітальних вкладень становить, роки:

$$T_{0к} = \frac{K}{E_y} \tag{5.8}$$

Визначаємо термін окупності капітальних вкладень з урахуванням екологічного податку, роки:

$$T_{0к} = \frac{K}{E_y + \Delta П} \tag{5.9}$$

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

$$E_{пр} = \frac{1}{T_{ок}} = \frac{E_y}{K} \text{ грн/(рік·грн)} \tag{5.10}$$

Нормативний термін окупності (Тн) становить 5,52 років, а нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень (Ен) дорівнює 0,15. Для запропонованого проекту, термін окупності (Ток) є меншим за нормативний (Ток < Тн), а проектний коефіцієнт економічної ефективності (Епр) перевищує нормативний (Епр > Ен). Це свідчить про те, що запропонована система очистки газів із утилізацією вловленого пилу є економічно обґрунтованою і доцільною для реалізації, оскільки вона забезпечує скорочення строків повернення інвестицій та перевищення вимог щодо економічної ефективності.

Згідно з результатами проведених розрахунків, зведені дані буде занесено до табл.5.3 для подальшого аналізу та прийняття рішень.

Таблиця 5.3 – Техніко-економічні показники запроектованої установки

№	Показники	Одиниці виміру	Варіант	
			Базовий	Проектний
1.	Річна продуктивність газоочисної установки	млн. $нм^3$/рік	1618,8	1618,8
2.	Технічна норма продуктивності	$нм^3$/год	190000	190000
3.	Початкова запиленість	г/$м^3$	6	6
4.	Кінцева запиленість	г/$м^3$	0,100	0,020
5.	Кількість вловленого пилу	т	9550,92	9680,424
6.	Кількість утилізованої пилу	т	8595,828	8712,382
7.	Капітальні вкладення	тис.грн	16399,000	53123,063
8.	Електроенергія	тис.грн	35784,639	33796,603
9.	Водопостачання	грн	22533696,00	11266848,0
10.	Стисле повітря	грн	-	1000000
11.	Фільтрувальна тканина	грн	-	1224000
12.	Реагент	грн	-	5000026,23
9.	ЗП основний робочих			
	- основна	грн	406060	406060
	- додаткова	грн	303940	303940
10.	Економія від утилізації	грн	679070,412	688278,18
11.	Скорочення екоподатку за викиди діоксиду сірки	грн	-	381955,12
12.	Термін окупності капітальних вкладень	рік	-	5,52
13.	Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень	грн/(грн·рік)	-	0,181

ВИСНОВКИ

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

1. Під час агломерації шихти утворюється значна кількість пилу. Кількість пилу змінюється вздовж агломераційної стрічки. У першій половині стрічки обсяги пилу невеликі, оскільки шихта має підвищену вологість і низьку газопроникність. 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.

2. Від агломераційної стрічки в зоні спікання рудної сировини відводяться гази, які характеризуються наступним середнім хімічним складом: 3–6% вуглекислого газу (CO_2), 12–17% кисню (O_2), 0,3–3,0% оксиду вуглецю (CO). Концентрація діоксидів сірки ($SO_2 + SO_3$) у газах становить до 2000 мг/м³ для малосірчистої руди та 0,1–0,6% для сірчистих руд. Решту складу утворюють азот (N_2) та інертні гази.

3. Аналіз відомих хімічних способів очищення сірковмісних газів показав, що найбільш економічно вигідними та екологічнодоцільними є метод десульфурації відхідних газів на основі розпилювальної абсорбції.

4. Запроєктована система очищення, що включає: рукавний фільтр типу ФРІР 5700, адсорбер, рукавний фільтр -4500, димотяг та димову трубу.

5. Встановлно, що на аглофабриках працівники піддаються впливу низки небезпечних і шкідливих факторів, серед яких основними є пил, шкідливі гази, шум, теплове випромінювання та вібрація.

6. Нормативний термін окупності становить 5,52 років, а нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень - 0,15. Встановлено, що для запропонованого проєкту, термін окупності є меншим за нормативний, а проектний коефіцієнт економічної ефективності перевищує нормативний.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Удосконалення технології виробництва якісного агломерату. URL: https://nmetau.edu.ua/file/3.pdf (дата звернення: 17.09.2024).

2. На Запоріжсталі впровадили нову технологію виробництва агломерату. URL: https://metinvest.media/ua/page/yaksna-ekonomya (дата звернення: 17.09.2024).

3. 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: 17.09.2024).

4. Пилопригнічення в агломераційному виробництві. URL: https://coagulant.com.ua/catalog/pyloprygnichennya-v-aglomeraczijnomu-vyrobnycztvi/ (дата звернення: 17.09.2024).

5. Рукавний фільтр - Лазарев В.А. Веб-сайт.URL: https://findpatent.ru/patent/223/2233697.html (дата звернення: 15.10.24).

6. 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.

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

8. 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.

9. НПАОП 40.1-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електроустаткування спеціальних установок : Державний нормативний акт від

21 чер. 2001 р. №272. URL: https://dnaop.com/html/29478/doc-ДНАОП_0.00-1.32-01 (дата звернення 17.11.2024).

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

11. 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.

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

13. Жидецький, В.Ц. Основи охорони праці : +CD-ROM : підручник для ВНЗ: [затв. М-вом освіти і науки, молоді та спорту України]. Київ: Знання, 2010. 373 с.

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