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)
В.Д. Набока

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

Рецензент *доцент, к.т.н. Кожемякін Г.Б*
(

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

_____*Набока Віталій Дмитрович*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Проєкт системи мокрого очищення технологічних газів агломераційного виробництва»_____
керівник роботи _____*Манідіна Євгенія Анатоліївна*_____*к.т.н, доцент*____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від *"28"02* 2024 року *№ 359-с*
2. Строк подання студентом роботи _____*06.12.2024*_____
3. Вихідні дані до роботи *розробити систему мокрого газоочищення технологічних газів агломераційного виробництва. Попередньо перед апаратом мокрого газоочищення передбачити вловлювання пилу в циклоні.*_____
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Вступ. Характеристика технологічного процесу спікання агломерату. Характеристика викидів від агломераційних машин. Аналіз способів відведення та очищення технологічних газів Розрахунок циклону. Розрахунок скрубера Вентурі. Аеродинамічний розрахунок газового тракту. Вибір димотяга. Утилізація уловленого пилу. Охорона праці та техногенна безпека. Економічна частина. Висновки. Перелік джерел посилань*_____

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

7. Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Вступ*		
2	*Загальна частина*		
3	*Спеціальна частина*		
4	*Охорона праці та техногенна безпека*		
5	*Економічна частина*		
6	*Презентація*		

Студент _____ *Віталій НАБОКА*

Керівник роботи _____ *Євгенія МАНІДІНА*

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *Андрій ВАГІН*

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 63 с., 8 табл., 8 рис., 14 джерел

АГЛОМЕРАЦІЙНА МАШИНА, ТЕХНОЛОГІЧНІ ГАЗИ, ЦИКЛОН, СКРУБЕР ВЕНТУРІ, ШЛАМ, УТИЛІЗАЦІЯ ПИЛУ, ДИМОВА ТРУБА, СТРОК ОКУПНОСТІ

Об'єкт дослідження – агломераційне виробництво.

Предмет дослідження – системи очищення технологічних газів агломераційного виробництва.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити систему мокрого газоочищення технологічних газів агломераційного виробництва.

Під час агломерації залізних руд в атмосферу виділяється значна кількість технологічних газів, що містять агломераційний пил, оксиди азоту та вуглецю. При агломерації сірковмісних руд додатково утворюється сірчистий ангідрид, що значно збільшує рівень забруднення довкілля.

Запропоновано використання сучасну комбіновану схему двоступеневої системи очищення. На першому етапі застосовують великі циклони для уловлювання крупного пилу, а на другому – скрубери Вентурі з тангенціальними форсунками для тонкого очищення газу.

З урахуванням передбачених технічних рішень проєктного варіанту реконструкції, капітальні інвестиції становлять 15 543,4 тис. грн. Щорічні експлуатаційні витрати зменшуються завдяки скороченню використання технічної води та підвищенню рівня утилізації уловленого продукту.

Ефективність інвестицій у реконструкцію існуючої газоочисної системи оцінюється в 0,4 грн/рік на кожну вкладену гривню, а термін окупності становить 2,5 року. Це підтверджує доцільність реалізації запропонованого варіанту модернізації.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 8
1.1 Технологія процесу агломерації дрібних частинок руди 8
1.2 Характеристика викидів від агломераційних машин 12
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА 15
2.1 Аналіз способів відведення та очищення технологічних газів 15
2.2 Розрахунок циклону 19
2.3 Розрахунок скрубера Вентурі (друга ступень очищення) 24
2.4 Аеродинамічний розрахунок газового тракту 32
2.5 Розрахунок димової труби 37
2.6 Вибір димотяга 38
2.7 Утилізація уловленого пилу 40
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 43
3.1 Характеристика ступеня безпеки агломераційного процесу 43
3.2 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища агломераційного цеху 45
3.3 Заходи з охорони праці 49
3.4 Електробезпека 51
3.5 Заходи з пожежної безпеки 52
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 55
4.1 Розрахунок капітальних витрат 55
4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат 56
4.3 Техніко-економічне обгрунтування 59
ВИСНОВКИ 61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 62

ВСТУП

Забруднення атмосфери шкідливими технологічними викидами стало наслідком стрімкого розвитку промисловості. Щороку в атмосферу потрапляє від 200 до 250 млн тонн пилу, до 150 млн тонн діоксиду сірки, 70 млн тонн оксидів азоту, 300 млн тонн оксиду вуглецю та низка інших небезпечних речовин. Це призводить до накопичення великої кількості шкідливих хімічних сполук у повітрі великих промислових міст.

Сучасні підприємства чорної металургії генерують значну частину пилових викидів. Їх внесок у загальний обсяг промислових і транспортних викидів становить: 20% за пилом, 43% за оксидом вуглецю, 16% за діоксидом сірки та 23% за оксидами азоту. У районах, де розташовані великі металургійні заводи, ці підприємства є причиною 50–60% або навіть більшої частки забруднення атмосфери.

Агломераційне виробництво залишається одним із головних джерел забруднення повітря на підприємствах чорної металургії. Під час спікання агломераційної шихти в атмосферу виділяється велика кількість технологічних газів, які, окрім пилу, містять небезпечні газоподібні сполуки, зокрема SO_2, CO та NO_x.

Процес пилоутворення розпочинається ще на стадії доставки сировини на виробництво. Пил активно генерується під час розвантаження, перевантаження, транспортування та підготовки шихти до спікання. Окрім контрольованих (організованих) джерел викидів, на агломераційних фабриках значну роль відіграють і неорганізовані викиди, що виникають у ході різних виробничих процесів і значно погіршують якість повітря в навколишньому середовищі.

Це підтверджує нагальність розробки й впровадження сучасних систем очищення технологічних газів, які дозволяють знижувати обсяги шкідливих викидів. Зменшення забруднення атмосфери на агломераційних фа-

бриках не лише сприятиме покращенню екологічної ситуації, але й підвищить загальну ефективність виробничих процесів.

Крім того, важливість впровадження систем газоочищення обумовлена необхідністю дотримання жорстких екологічних стандартів, які постійно посилюються у всьому світі. Сучасні методи очищення газів, такі як використання фільтрів, електрофільтрів або систем каталітичного відновлення, допомагають не лише затримувати пил і токсичні компоненти, але й частково рециклювати корисні речовини. Це робить подібні технології не тільки екологічно, але й економічно вигідними.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Технологія процесу агломерації дрібних частинок руди

Під час агломерації відбувається процес утворення грудкуватих матеріалів шляхом їх спікання за рахунок згорання палива в самому матеріалі або підведення тепла ззовні. Найбільше поширення цей метод отримав для спікання руд чорних і кольорових металів, хоча принципово його можна застосовувати для термічної обробки інших матеріалів.

Найважливішим є метод агломерації із застосуванням просмоктування, коли згорання палива в шарі шихти забезпечується постійним потоком повітря, що проходить через нього.

Перед початком виробничого процесу здійснюється дозування дрібних компонентів рудної частини шихти, коксу, вапна або вапняку. Отриману суміш ретельно перемішують і зволожують до рівня, який забезпечує оптимальну газопроникність. Завантаження шихти на агломераційну стрічку здійснюється у вигляді грудок, що складаються з рудних частинок, коксика й вапняку. Вміст коксика зазвичай становить 3–15% за масою, залежно від умов.

Шихта укладається на спеціальну підстилку з готового агломерату (8–15 мм) або з великих часток шихти без палива. Ця підстилка захищає колосникову решітку від високих температур, запобігає осипанню матеріалу та сприяє легкому видаленню готового агломерату після завершення процесу. Схема агломераційного процесу наведена на рис.1.1.

Основним компонентом шихти є тверде паливо – коксовий дрібняк або антрацит. При згоранні цього палива виділяється тепло, яке створює в зоні горіння температуру до 1250–1400°С. Це тепло забезпечує спікання матеріалу та сприяє утворенню агломерату. Згорання твердого палива супроводжується виділенням шкідливих летких речовин, серед яких переважають водень та вуглеводні. У процесі спікання також утворюється значна кількість оксидів вуглецю (CO), азоту (NO_x) і діоксиду сірки (SO_2).

Під час нагрівання шихти відбувається розкладання гідратів оксидів, випаровування вологи та розпад слабких карбонатних солей, що також сприяє утворенню додаткових забруднюючих речовин. Процес вивільнення шкідливих газів продовжується в зоні горіння та зоні охолодження готового агломерату. Це обумовлює високий рівень забруднення повітря в районах, де розташовані агломераційні фабрики. Зменшення шкідливих викидів потребує ефективних систем газоочищення, здатних зменшувати концентрацію токсичних сполук.

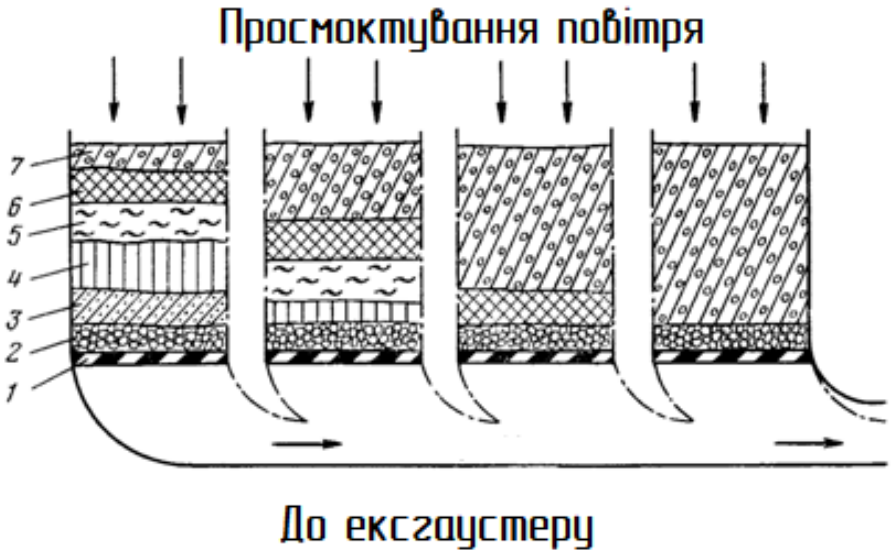


Рисунок 1.1 – Принципова схема агломераційного процесу

На колосникові решітки агломераційної машини спочатку укладають підстилку (рис.1.2, рис.1.3). Після цього шаром завтовшки 250-300 мм рівномірно розподіляють агломераційну шихту. Під колосниковими решітками створюється розрідження в діапазоні 7–10 кПа, яке спричиняє втягування зовнішнього повітря через поверхню шихти. Після запуску ексгаустера відбувається запалювання верхнього шару шихти. Цей процес здійснюється за рахунок гарячих продуктів горіння (температурою 1473-1513 К), які утворюються під час згорання суміші коксового і доменного газів у пальнику. Продукти горіння передають тепло верхньому шару шихти, ви-

паровують з нього вологу та ініціюють згорання палива, що міститься в шихті.

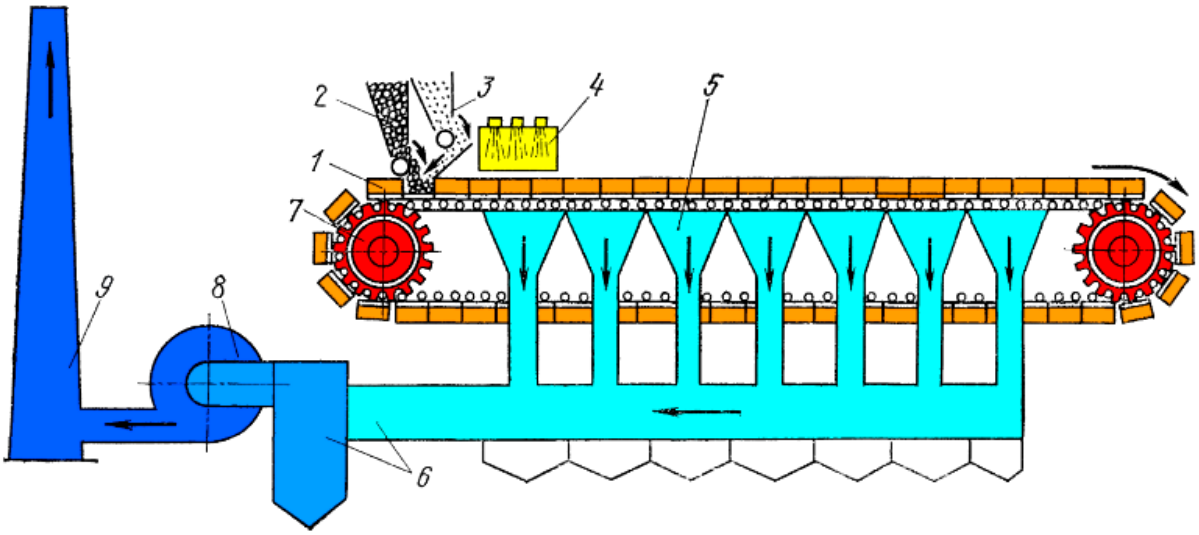


Рисунок 1.2 – Конструкція агломераційної машини

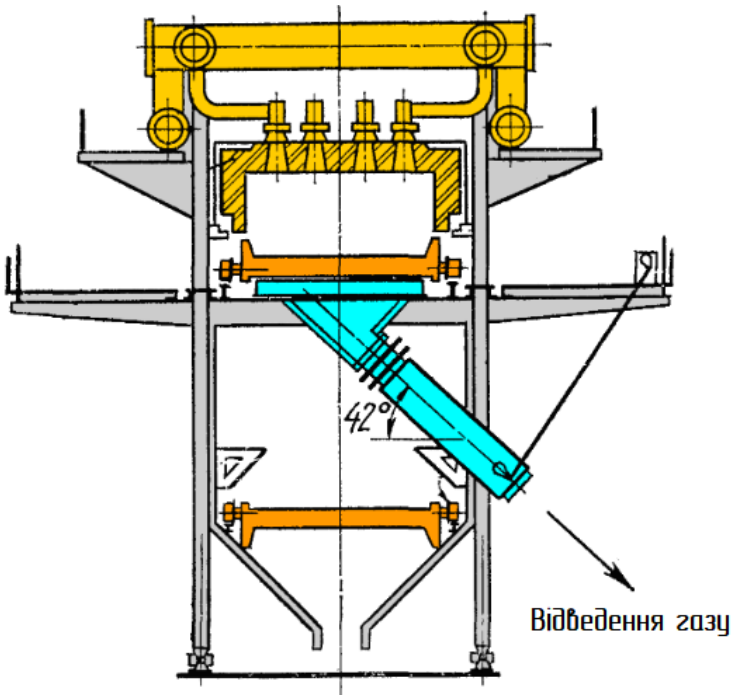


Рисунок 1.3 – Розріз агломераційної машини по горну

Горіння підтримується атмосферним повітрям, яке втягується через шихту. Зона горіння поступово переміщається вниз зі швидкістю 10-40

мм/хв і завершується на рівні підстилки. Тривалість процесу спікання становить 7–15 хвилин. Особливістю цього процесу є те, що горіння відбувається лише у вузькому шарі завтовшки до 40 мм. Нижче зони горіння температура є занадто низькою (менше 973 К), що унеможливлює займання палива через недостатній вміст кисню у втягуваних газах.

Зони агломераційного процесу:

1. Зона горіння. У зоні горіння палива (коксика) відбувається перекристалізація мінералів, що визначає фізико-хімічні властивості агломерату. Температура в цій зоні сягає 1673–1873 К. Готовий агломерат, розташований вище, охолоджується повітрям, яке нагрівається під час проходження крізь нього. Нагріте повітря використовується для підтримки процесу горіння в нижніх шарах.

2. Зона нагрівання. В цій зоні відбуваються розкладання карбонатів і гідратів, а також часткові відновлювальні процеси. Незважаючи на надлишок повітря у загальному процесі, у локальних зонах палаючого палива виникає відновлювальна атмосфера.

3. Зона сушіння. У зоні сушіння шихта втрачає гігроскопічну вологу, що спричиняє часткове осипання грудочок і їх ущільнення. Ця зона створює найбільший опір для проходження газів, оскільки волога конденсується і сприяє формуванню зони перезволоження.

4. Зона перезволоження. Тут відбувається конденсація водяної пари, коли гарячі гази стикаються з холодними частинами шихти. Висока вологість цієї зони підвищує щільність шихти.

5. Підстилка. Підстилка виконує допоміжну функцію: захищає колосникові решітки від високих температур, запобігає осипанню шихти і полегшує видалення готового агломерату.

6. Особливості технології. Агломераційний процес забезпечує ефективне використання тепла. Газ, що відсмоктується, має температуру 323-333 К протягом більшої частини циклу, а наприкінці нагрівається до 473–573 К. Готовий агломерат охолоджується, після чого його подрібнюють і

просіюють. Крупний агломерат (понад 8 мм) відправляють на охолодження і подальше використання у доменному виробництві, тоді як дрібні фракції (0–8 мм) повертаються на повторне спікання.

1.2 Характеристика викидів від агломераційних машин

Під час агломерації залізних руд в атмосферу виділяється значна кількість технологічних газів, що містять агломераційний пил, оксиди азоту та вуглецю. При агломерації сірковмісних руд додатково утворюється сірчистий ангідрид, що значно збільшує рівень забруднення довкілля.

Основним джерелом пилогазових викидів в агломераційних цехах є технологічне обладнання: агломераційні машини, охолоджувачі агломерату та гарячого повернення, випалювальні печі. Також значні викиди спричиняють аспіраційні системи, встановлені на дробарках, грохотах, транспортерах тощо. Додатковим джерелом забруднення є зовнішні джерела пиловиділень, такі як завантажувально-розвантажувальні пристрої та склади сировинних матеріалів.

Агломераційні машини можуть працювати у двох режимах: без охолодження агломерату на стрічці або з охолодженням за допомогою втягування повітря в хвостовій частині машини. У разі роботи з охолодженням об’єм газів, що виходять із зони охолодження, на 15-20% перевищує об’єм газів із зони спікання (на 1 м² стрічки).

У процесі агломерації шихти утворюється значна кількість пилу. Це спричинено проходженням газової суміші через колосникові решітки, розтріскуванням агломерату при русі конвеєра, вібраціях та скиданні агломерату. Рівень пиловиділення змінюється вздовж агломераційної стрічки. У першій половині стрічки кількість пилу є мінімальною через високу вологість шихти, що обмежує її газопроникність. У другій половині, після висихання шихти, газопроникність зростає, що призводить до посилення повітряного потоку через агломерат. У цій зоні агломерат розширюється, роз-

тріскується, а частинки пилу потрапляють у газозбірник продуктів згоряння. Найбільше пилоутворення спостерігається під час скидання агломерату зі стрічки в хвостовій частині машини.

Специфічний вихід пилу на одну тонну агломерату може досягати 50-60 кг, проте значна частина великих фракцій осідає в колекторі машини. З агломераційними газами викидається від 8 до 21 кг пилу на тонну готового продукту.

Обсяг пилових викидів залежить від крупності шихти, її вологості та параметрів підготовки. Специфічний об'єм газів, що утворюються на агломераційній машині, визначається газопроникністю шихти, вмістом палива та інтенсивністю підсосу повітря. У середньому, під час спікання шихти утворюється від 250 000 до 280 000 м³/год димових газів. Їх температура становить 180-200 °С, а концентрація пилу в агломераційних газах сягає 4-6 г/м³. Розрідження газів перед газоочищенням досягає -10,2 кПа.

Склад технологічних газів та агломераційного пилу наведені в табл.1.1 та табл. 1.2. Гранулометричний склад пилу наведений на рис.1.3.

Таблиця 1.1 – Середній хімічний склад технологічних газів, що відходять від агломашини %:

CO_2	O_2	CO	SO_2	NOx
3,5-5,5	13-17	0,1-0,4	0,09-0,1	0,01

Таблиця1.2 – Хімічний склад агломераційного пилу, %

SiO_2	Al_2O_3	CaO	FeO	MnO	S	O
6,1	0,96	7,26	57,7	0,3	0,26	2,25

Таблиця 1.3 – Гранулометричний склад пилу

Розмір частинок, мкм	Вміст по масі, %
0-4	1,2
4-10	11,9
10-25	23,3
25-40	16,2
40-100	20,6
100-400	13,4
400-1000	8,1
>1000	5,8

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз способів відведення та очищення технологічних газів

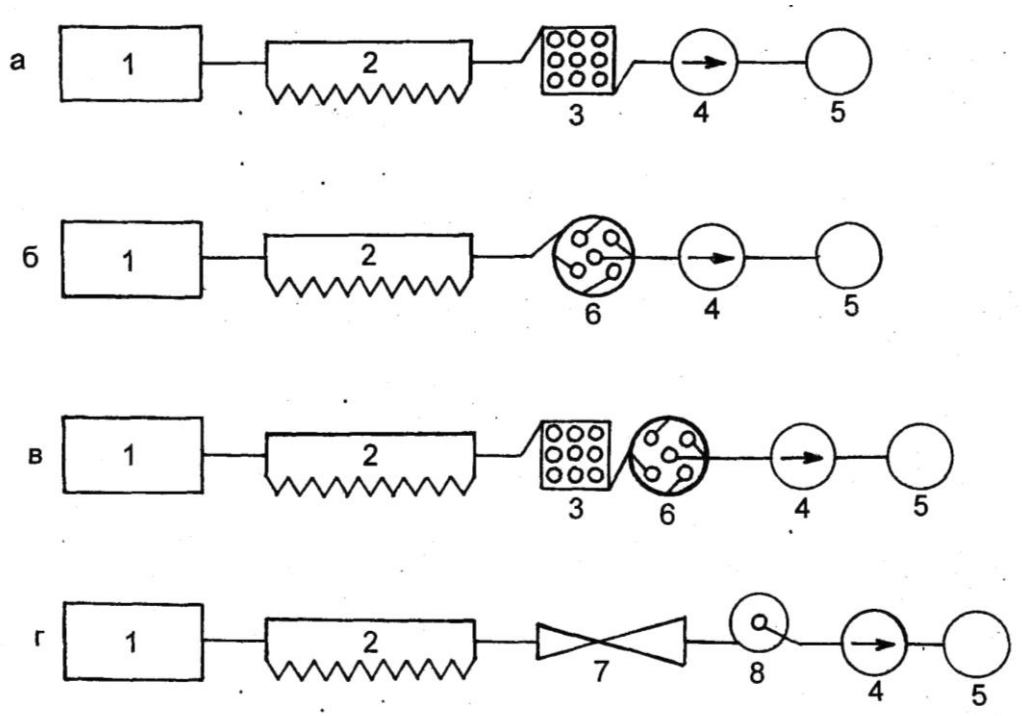
На агломераційних фабриках зазвичай використовують стандартні схеми для збору та відведення технологічних газів від агломераційної машини. Під час спікання гази витягуються з вакуум-камер, розташованих уздовж усієї довжини машини, де підтримується розрідження 10-11 кПа, необхідне для подолання опору шихти, яка спікається в агломерат. З цих камер гази спрямовуються до спільного колектора, що розташований паралельно осі машини збоку.

На підключеннях між вакуум-камерами та колектором встановлюють інерційні пристрої S-подібної форми або уловлювачі типу К-9, які працюють за принципом інерційного осадження частинок. У цих пристроях великі частки пилу відокремлюються через зміну напряму руху газового потоку. Пил, що випадає під дією сили тяжіння, накопичується в спеціальних бункерах під колектором, звідки його видаляють за допомогою гідрозмиву. Очищені гази рухаються до головної частини машини зі швидкістю до 10 м/с.

Ефективність роботи таких систем збору пилу становить приблизно 50–60%. Проте, враховуючи, що основна маса запиленого газу надходить із перших і останніх вакуум-камер, оптимальнішими є вдосконалені схеми збору газів. Так, відомі схеми, в яких довжина шляху для запилених газів у колекторі збільшується, що сприяє кращому осадженню частинок пилу. Додатково встановлення пилоуловлювачів на з’єднаннях перших і останніх камер із колектором зменшує викиди пилу, одночасно підвищуючи тиск у цих камерах. Це створює сприятливі умови для стабільного спікання шихти.

Літературний аналіз показав, що для очищення газів на агломераційних машинах використовують різноманітні установки: батарейні та одино-

чні циклони, скрубери Вентурі, електрофільтри. Раніше було поширене застосування батарейних циклонів (рис. 2.1а).



1 – агломашина; 2 – колектор; 3 – батарейний циклон; 4 – ексгаустер; 5 – димова труба; 6 – відцентровий скрубер; 7 – труба Вентурі; 8 - краплевловлювач

Рисунок 2.1 – Варінти очищення агломераційних газів

Покращена система очищення агломераційних газів: недоліки, сучасні рішення та комбіновані схеми. Практика використання традиційних систем очищення газів на агломераційних фабриках виявила низку суттєвих недоліків, особливо в батарейних циклонах (рис. 2.2). До основних проблем належать нерівномірний розподіл газового потоку між численними циклонами, що спричиняє перерозподіл потоків і зниження ефективності. Крім того, спостерігається забивання пилоуловлювальних отворів пилом, інтенсивний знос компонентів та руйнування агломераційного пилу,

який складається з різнорідних частинок. Ці фактори значно знижують ефективність очищення газів.



Рисунок 2.2 – Батарейний циклон

Системи з одиночними циклонами. Для мінімізації цих проблем на деяких аглофабриках батарейні циклони замінено на одиночні циклони великого діаметра. Така конструкція зменшує ризик засмічення пилом і нерівномірного розподілу газу, проте не забезпечує високої ефективності очищення через зниження центробіжних сил. Ефективність таких систем не перевищує 80–85%, що призводить до концентрації пилу в очищених газах на рівні 0,4–0,5 г/м³. Це створює санітарні ризики через значні викиди пилу в атмосферу та скорочує термін служби ексгаустерів до 3–4 місяців через корозійний знос.

Мокрі пилоуловлювачі як альтернатива. Значний крок уперед зробило впровадження мокрих пилоуловлювачів, які можуть використовуватися

як самостійно, так і в комбінації з іншими апаратами. Наприклад, на одній з фабрик після батарейних циклонів встановлено скрубери типу МПВТІ, що дозволило знизити запиленість газів до 150-200 мг/м³ та збільшити термін служби обладнання. Проте мокрі установки мають свої недоліки, зокрема складність експлуатації, корозію обладнання та необхідність додаткових заходів із нейтралізації шламових вод.

Скрубери Вентурі також використовуються як єдині мокрі апарати (рис. 2.3). Вони забезпечують високу ефективність очищення пилу (до 96-98%) і можуть уловлювати частинки пилу субмікронного розміру



Рисунок 2.3 – Скрубер Вентурі

. При цьому потрібні високі швидкості газу (80-150 м/с) і значні витрати води (0,5–1,2 л/м³), що вимагає великого перепаду тиску (10-20 кПа).

Інноваційні підходи в комбінованих схемах. Сучасні комбіновані схеми передбачають використання двоступеневих систем очищення. На першому етапі застосовують великі циклони для уловлювання крупного пилу, а на другому – скрубери Вентурі з тангенціальними форсунками для тонкого очищення газу. Крім того, перед другою стадією очищення пропонується використовувати іонізаційні камери зі стримерним розрядом, що дозволяє зменшити запиленість газу та кількість токсичних компонентів.

Переваги мокрих методів очищення. Мокрі системи дозволяють уловлювати до 50% сірчаних сполук із газів за рахунок їхнього розчинення у воді. Вони ефективні там, де пил може використовуватись у вологому вигляді або де необхідне додаткове охолодження газу. Для боротьби з корозією апаратів застосовують спеціальні матеріали та синтетичні покриття.

Таким чином, сучасні комбіновані схеми газоочистки забезпечують високий рівень очищення газів відповідно до санітарних норм, але потребують подальшого вдосконалення для відповідності жорстким екологічним вимогам.

2.2 Розрахунок циклону

Витрата волого газу від однієї агломераційної машини:

V_o=260000 м^3/год

Температура та густина відхідних газів (відповідно до даних розділу 1):

$t_г$=210° С

ρ_o=1,293 кг/м^3(н.у)

Коефіцієнт динамічної в'язкості суміші газів за робочих умов:

$\mu=21{,}35\cdot10^{6}$

Атмосферний тиск: $Р_{бар}$=100кПа

Тиск газів попереду циклону: $P_ц$= -8 кПа

Концентрація пилу попереду циклона: z_1= 4 г/м^3

Медіанний діаметр частинок агломераційного пилу (відповідно до даних розділу 1): d_m=5мкм

Щільність частинок агломераційного пилу (вихідні дані до проєкту): $P_п$=3700кг/м^3

Тоді за формулою визначаємо густину агломераційних газів за робочих умов:

$$\rho=\rho_O \frac{273(P_{БАР}\pm P_Ц)}{(273+t_Г)\cdot 101{,}3} \qquad (2.1)$$

де ρ_0 – густина агломераційних газів за нормальних умов ,кг/м^3

Робимо підстановку відомих параметрів:

$$\rho=1{,}293\frac{273(100-8)}{(273+210)\cdot 101{,}3}=0{,}66 \quad кг/м^3$$

Дале перераховуємо для робочих умов витрату газів:

$$V_1=\frac{V_O\cdot\rho_O}{\rho\cdot 3600} \qquad (2.2)$$

де V_0 – витрата вологого агломераційного газу від однієї агломашини, м^3/год.

Після підстановки отримуємо:

$$V_1=\frac{260000\cdot1,293}{0,66\cdot3600}=141,5\ м^3/с$$

Визначаємо діаметр циклону при швидкості руху газу в середені апарату $W_{опт}$=2,7м/с :

$$Д_ц=\sqrt{\frac{V}{0,785\cdot W_{ОПТ}}} \quad (2.3)$$

Тоді

$$Д_ц=\sqrt{\frac{141,5}{0,785\cdot2,7}}=8,17м$$

Отже обераємо два циклону типу ЦП-2-4250, діаметром 4250 мм кожний.

Перераховуємо фактичну швидкість газу в середені даного циклону:

$$W_ц=\frac{V}{0,785\cdot D_Ц^2} \quad (2.4)$$

Тоді

$$W_ц=\frac{141,5}{0,785\cdot8,5^2}=2,5\quad м/с$$

Вибір діаметра циклона для газоочистних систем є критичним, оскільки він визначає не тільки ефективність очищення газів, але й гідравлічні характеристики, які безпосередньо впливають на витрати енергії та стійкість обладнання. У разі, коли фактична швидкість газу відрізняється від

оптимальної, це може спричинити погіршення якості очищення, проте варіація на рівні до 15 % зазвичай не викликає значних негативних наслідків і може бути компенсована іншими параметрами системи.

Визначаємо додерження умов правильності проєктування:

$$\Delta=\frac{2,7-2,5}{2,7}\cdot 100\% = 7,4\%$$

Оскільки фактична швидкість відрізняється від оптимальної на 7,4 %, що знаходиться в межах допустимих значень (Δ < 15 %), зупиняємося на обраному діаметрі циклона.

Коефіцієнт гідравлічного опору циклона є важливим показником для розрахунків енергетичних витрат і ефективності очищення. Він залежить від багатьох факторів, таких як діаметр циклона, швидкість потоку газу, а також від фізичних властивостей газу та пилу. Справжній коефіцієнт можна використовувати для оптимізації роботи циклона в межах заданих параметрів.

$$\xi= K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{500} + K_3 \qquad (2.5)$$

де K_1 – поправочний коефіцієнт на вплив діаметра циклона;

K_2 – виправний коефіцієнт на вплив запилення газу

K_3 – виправний коефіцієнт на вплив групової компоновки циклонів (для одиничного циклону рівний 0);

ξ_{500} – коефіцієнт гідравлічного опору одиничного циклону.

$$\xi= 1 \cdot 0,81 \cdot 520 + 0 = 421,2$$

Тоді за формулою Вейсбаха гідравлічний опір циклону становить:

$$\Delta P_Ц = \frac{\xi w_{ц}^2 \cdot \rho}{2} \qquad (2.6)$$

Тоді:

$$\Delta P_Ц = \frac{421{,}2 \cdot 2{,}5^2 \cdot 0{,}66}{2} = 868{,}7 Па$$

Розмір часток, що уловлюються вибраним циклоном за робочих умов з ефективністю 50%.

$$d_{50}=d_{50}{}^{T}\sqrt{\frac{D_Ц \cdot \rho_П{}^{T} \cdot \mu \cdot W_Ц{}^{T}}{D_Ц{}^{T} \cdot \rho_П \cdot \mu^{T} \cdot W_Ц}} \qquad (2.7)$$

де $d_{50}{}^{T}$ – розмір часток, що уловлюються умовним циклоном на 50%. 50%[11]

D, ρ_1, μ, w – параметри, що відповідають фактичним умовам роботи циклону;

D^{T}, ρ^{T}, μ^{T}, w^{T}– параметри, що відповідають умовам, прийнятим для цього циклону

$$d_{50}=23{,}1\sqrt{\frac{8{,}5 \cdot 1930 \cdot 21{,}35 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}5}{6 \cdot 3700 \cdot 22{,}2 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}7}} = 19{,}8 мкм$$

Значення величини x визначається за наступною формулою:

$$x = \frac{lg(\frac{d_m}{d_{50}})}{\sqrt{lg\,\delta\eta + lg^2\,\delta_n{}^{T}}} \qquad (2.8)$$

де lq $б_η$ – величина, що характеризує дисперсію часток пилу, що уловлюються в циклонах [11]

lq $б^{т}_{п}$ – середнє квадратичне відхилення функції розподілу уловлених часток пилу;

$$x = \frac{lg\frac{5}{19,8}}{\sqrt{3,64^2+5,3^2}} = 0,678$$

За даними роботи [11] та отриманою величиною x =0,678 знаходимо Ф(x)=0,7518

Отже, ефективність вловлення пилу в циклоні становить:

$$\eta = Ф(x)\cdot 100 = 0,7518 \cdot 100 = 75,18\%$$

Відповідно до цього кінцева запиленість газів становить:

$$Z_2 = (1-\eta)\cdot Z_1 = (1-0,7518)\cdot 4 = 0,99 \text{ г/м}^3$$

Запиленість газів після циклону значно перевищує нормативне значення (50 мг/м³), тому необхідно організувати та розрахувати другу ступінь очищення. Для цього можна застосувати додаткові фільтраційні системи, такі як тканинні фільтри або електрофільтри, що забезпечать досягнення необхідного рівня очищення газів від пилу. Важливо врахувати тип пилу, його розподіл за розмірами часток та витрату газу, щоб оптимізувати ефективність другої ступені очищення.

2.3 Розрахунок скрубера Вентурі (друга ступень очищення)

Температура агломераційних газів після агломераційних газів:

$t_г = 190°C$

Початкова запиленість

$Z_1 = 0,99 \text{ г/м}^3$

Кінцева запиленість

$Z_2 = 0.04 \text{ г/м}^3$

Тиск води, що подається на зрошення:

$P_в$= 300 кПа

Витрата води на зрошення приймається рівною: $M_в$= 0.8 л/м^3 = 0.8·10^{-3} м^3/м^3

Визначаємо необхідну ступінь очищення в скрубері Вентурі:

$$\eta = 1 - \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$\eta = 1 - \frac{0{,}04}{0{,}99} = 0{,}960 = 96{,}0\%$$

Також встановлюємо число одиниць переносу в скрубері. Число одиниць переносу визначає, як ефективно частинки забруднення захоплюються та видаляються з газу. Чим більше число одиниць переносу, тим ефективніше очищення газу, оскільки це свідчить про вищу кількість операцій, які відбуваються в апараті, для видалення забруднень.

$$Nr = ln\frac{1}{1-\eta}; \qquad (2.9)$$

Тоді

$$Nr = ln\frac{1}{1-0.960} = 3{,}21$$

Питома енергія Кт, витрачена на пиловловлювання, визначається з рівняння:

$$N_u = ВК_т^x \qquad (2.10)$$

де B и X – коефіцієнти, характерні для кожного типу пилу і визначені дисперсійним складом пилу. Для пилу, що виноситься з вихідними агломераційними газами, приймаємо B = $6.61 \cdot 10^{-3}$; X = 0.891 [11], тоді:

$$К_т=(3.44/ 6.61 \cdot 10^{-3})^{1/ 0.891}=1118 \text{ кДж/1000 м}^3$$

Загальний гідравлічний опір скрубера Вентурі, Па — це сумарний опір потоку газу, який виникає через стискання та розширення потоку в зоні скрубера, а також через тертя між газом і поверхнею вловлювальних елементів. Опір залежить від таких факторів, як швидкість газу, розмір і форма каналу, характеристики рідини, що використовується для миття газів, та ефективність самого апарата. Загальний гідравлічний опір є важливим параметром для розрахунку енергетичних витрат на роботу скрубера, оскільки він визначає, скільки енергії потрібно для забезпечення необхідної швидкості газового потоку через систему очищення:

$$\Delta Р_{ап}= К_т - Р_ж \cdot m_{ж,} \qquad (2.11)$$

$$\Delta Р_{ап}= 1118 - 300 \cdot 0.8 \cdot 10^{-3}= 1118{,}26 \text{ Па}$$

Витрата зрошувальної рідини, кг/с

$$M_B = m_B \cdot V_1$$

де V_1 – об’ємна витрата газу, що поступає в трубу Вентурі за робочих умов, $м^3/с$

$$M_B = 0{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 163{,}8 = 131 \cdot 10^{-3} м^3/с = 131 кг/с$$

Температура газу на виході з труби Вентурі, °С - це температура газу, яка вимірюється після проходження через ділянку труби Вентурі. Вона залежить від кількох факторів, таких як температура газу на вході, швидкість потоку, характеристики і властивості газу, а також теплові процеси, які можуть відбуватися під час руху газу через трубу. Оскільки труба Вентурі працює за принципом стиску і розширення потоку, зміна швидкості газу може призвести до зміни його температури. Це важливий параметр для коректного розрахунку енергетичних витрат і ефективності роботи системи очищення газів.

$$t_2 = (0.133 - 0.041m_b)t_1 + 35 \qquad (2.12)$$

Отже, $t_2 = (0.133 - 0.041 \cdot 0.8 \cdot 10^{-3}) \cdot 190 + 35 = 60{,}3°C$

Щільність газу на вході в трубу Вентурі за робочих умов, кг/м³:

$$\rho_2 = \rho_O \frac{273(P_{бар} \pm Pг - \Delta Pап)}{(273 + tг) \cdot 101{,}3} \qquad (2.13)$$

$$\rho_2 = 1{,}293 \frac{273(100 - 8 - 0{,}869)}{(273 + 60{,}3)101{,}3} = 1{,}02кг/м^3$$

Об'ємна витрат газу на виході з труби Вентурі, м³/с.

$$V_2 = V_o \rho_o/\rho_2 \qquad (2.14)$$

$$V_1 = 260000 \cdot 1{,}293 / 3600 \cdot 1{,}02 = 91{,}55 \text{ м}^3/\text{с},$$

Обираємо два краплевловлювачі ЦС-ВТИ з тангенціальним підводом, діаметром 4000 мм кожен. Краплевловлювач ЦС-ВТИ (центробіжний скруббер-вловлювач з тангенціальним підводом) працює на принципі відокремлення крапель рідини (пилу або вологи) з газового потоку за допомогою центробіжних сил. Швидкість газу в краплевловлювачі:

$$W_ц = \frac{V_2}{nd} \qquad (2.15)$$

де n – кількість краплевловлювачів, шт;

d – діаметр краплевловлювачів, м

$$W_ц = \frac{91{,}55}{2 \cdot 4^2} = 2{,}86 м/с$$

Отже гідравлічний опір циклону, Па.

$$\Delta P_ц = \xi_ц \frac{W_ц^2 \cdot \rho_2}{2}, Па \qquad (2.16)$$

де ξц – коефіцієнт місцевого опору циклона-краплевловлювача

$$\Delta P_ц = 18 \frac{2{,}86^2 \cdot 1{,}02}{2} = 75{,}08\ Па$$

Отже, гідравлічний опір труби Вентурі становить, Па:

$$\Delta P_т = \Delta P_{ап} - \Delta P_ц \qquad (2.17)$$

$$\Delta P_т = 1118,26 – 75,08= 1043,18 \text{ Па}$$

Коефіцієнт опору, зумовлений введенням оросної рідини, для нормалізованої труби Вентурі

$$\xi_в=0,63\xi_c m_в^{-0,3} \quad (2.18)$$

де ξ_c – коефіцієнт опору сухої труби Вентурі;

$$\xi_в=0,63\cdot 0,15\cdot(0,8\cdot 10^{-3})^{-0,3}=0,8;$$

Необхідна швидкість газу в горловині труби Вентурі, м/с.:

$$W_г = \sqrt{\frac{2\Delta P m}{\xi_C \rho_2 + \xi_в \rho_B m_B}} \quad (2.19)$$

де $\rho_в$ – густина води, кг/м^3.

$$W_г = \sqrt{\frac{2 \cdot 1043,18}{0,15 \cdot 1,02 + 1,2 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}}} = 43,3 \quad м/с$$

Діаметр горловини труби Вентурі., м:

$$d_г= 1,13\sqrt{\frac{V_2}{W_T}} \quad (2.20)$$

$$d_г=1,13\sqrt{\frac{91,55}{4\cdot 43,3}}=0,82 \quad м$$

Оскільки отриманий діаметр перевищує найбільший діаметр горловини типорозмірного ряду низьконапірних труб Вентурі (0,42 м), необхідно встановити чотири нормалізовані та паралельно працюючі труби Вентурі. Визначаємо геометричні розміри труби Вентурі. Розраховуємо діаметр вхідного перерізу конфузора, прийнявши швидкість газу в ньому υ = 20 м/с:

$$D_1 = 1,13\sqrt{\frac{V_1}{\upsilon_3 n}} = 1,13\sqrt{\frac{141,5}{20\cdot 4}} = 1,62 \quad м$$

Діаметр виходного перетину дифизору на виході знього: υ_3=20м/с

$$D_3 = 1,13\sqrt{\frac{V_2}{\upsilon_3 n}} = 1,13\sqrt{\frac{91,55}{20\cdot 4}} = 1,21 \quad м$$

Знаходимо довжини окремих частин труби Вентурі:

Довжина конфузору:

$$l_1 = \frac{(D_1 - D_2)}{2tg\frac{28^0}{2}} = \frac{1.62 - 0.82}{0.5} = 1.6 \quad м$$

Довжина горловини:

$$l_2 = 0,15\ D_2 = 0,15\cdot 0,82 = 0,123 \text{ м}$$

Довжина дифузору:

$$l_3=\frac{D_3-D_2}{2tg\alpha_2/2}=\frac{1{,}21-0{,}82}{2tg6/2}=3{,}9 \quad м$$

Повна довжина труби:

$$L=l_1+l_2+l_3=1{,}6+0{,}123+3{,}9=5{,}623 \text{ м}$$

Витрата рідини на одну форсунку:

$$V_в=V_в'/n_1 \qquad (2.21)$$

де $V_в'$ – витрата води на одну форсунку м^3/с;

n_1 – кількість труб Вентурі

$$V_в'=\frac{m_Ж V_2}{n_2} \qquad (2.22)$$

де n_2 – кількість форсунок, шт

$$V_в'=0.8\cdot10^{-3}\cdot91{,}55 / 1= 7{,}3\cdot10^{-2} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$V_в=7{,}3\cdot10^{-2}/4=18{,}3\cdot10^{-3} \text{м}^3/\text{с};$$

Діаметр отвору форсунок:

$$d_Ф=\sqrt{\frac{4V_B'}{\pi\mu\sqrt{\frac{2P_B}{\rho_B}}}} \qquad (2.23)$$

$$d_Ф = \sqrt{\frac{4 \cdot 7{,}3 \cdot 10^{-2}}{3{,}14 \cdot 0{,}73 \sqrt{\frac{2 \cdot 300000}{1000}}}} = 0{,}071$$

Виходячи з отриманих експериментальних даних, в результаті попередньої обробки газу стримерним розрядом приймаємо ефективність очищення газів від діоксиду сірки, рівну 70%, при початковій концентрації 0,8 г/м³. Звідси кінцева концентрація діоксиду сірки в аглогазах становить 0,24 г/м³.

2.4 Аеродинамічний розрахунок газового тракту

Виконуємо розрахунок втрат тиску в трубопроводі по його довжені та з врахуванням втрат на місцеві опори.

Втрати на тертя:

$$\Delta P_л = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V_{ср}^2}{2} \cdot \rho_г, \qquad (2.24)$$

де λ – коефіцієнт Дарсі;

l – довжина ділянки, м;

d – діаметр трубопроводу на відповідній ділянці, м;

$V_{ср}$ – середня швидкість газів в трубопроводв, м;

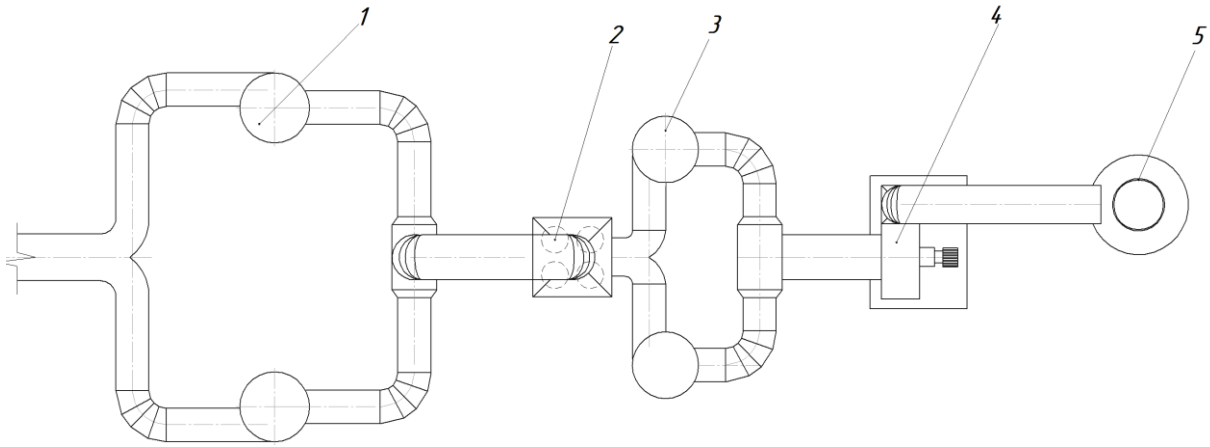
$\rho_г$ –густина газів за робочих умов, кг/м^3.

Місцеві втрати тиску на ділянці визначаються формулою вигляду, Па:

$$\Delta P_м = \xi_м \cdot \frac{V_{ср}^2}{2} \cdot \rho_г \qquad (2.25),$$

де $\xi_м$ – коефіцієнти місцевого опору.

З метою спрощення розрахунку газовідвідний тракт умовно ділимо на наступні ділянки (рис. 2.4):



1– циклони;

2 – блок труб Вентурі;

3 – краплевловлювачі;

4 – димотяг;

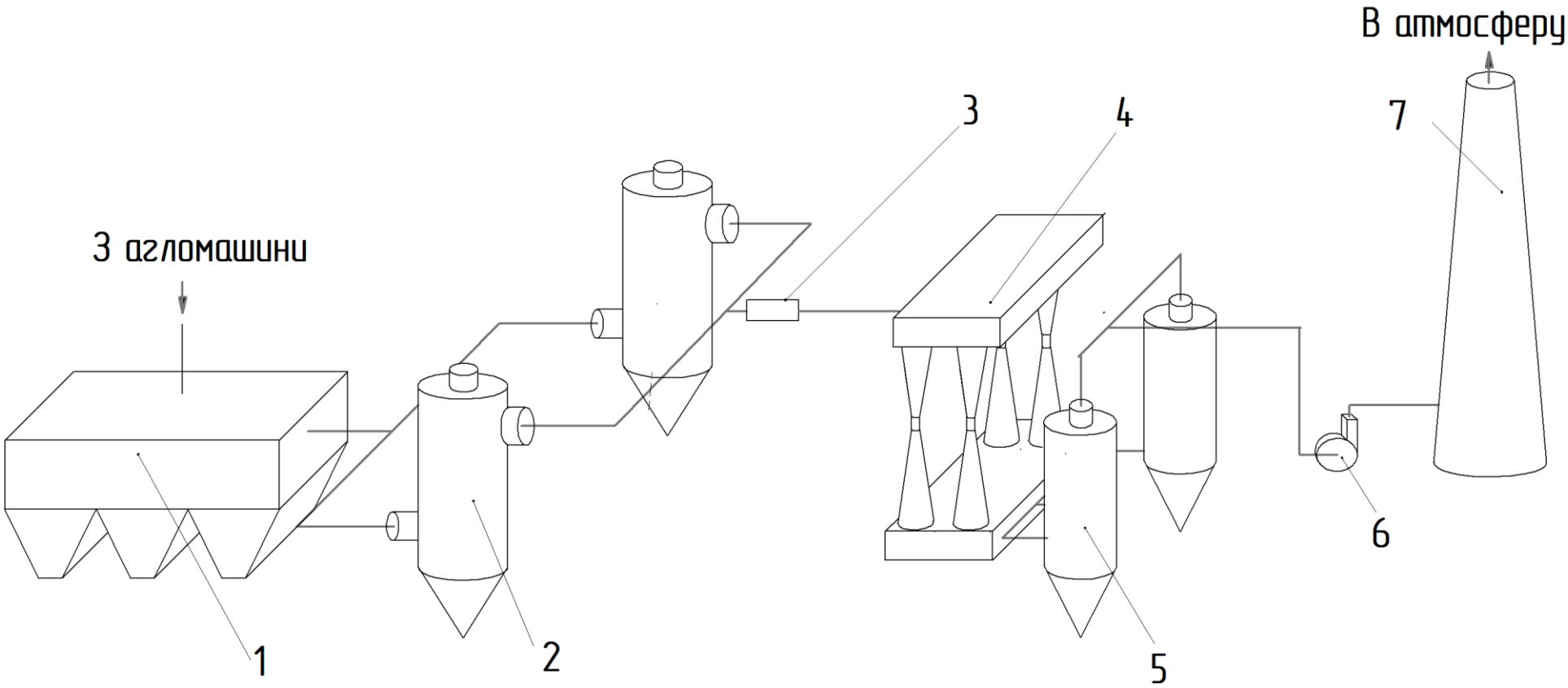
5 – димова труба

Рисунок 2.4– Запроєктована схема газоочищення (вид зверху)

Аеродинамічний розрахунок газовідвідного тракта виконано для проектного варіанту газоочистки. Аеродинамічні характеристики газового потоку враховані по вхідному перерізу відповідних умовних ділянок.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку аеродинаміки

Номер ділянки	**$Q_р$, м³/с**	**Втрати тиску**							
		l, м	**Д, м**	**V, м/с**	**Вид місцевого опору**	**$\xi_м$**	**$\Delta P_м$, Па**	**ΔP_l, Па**	**$\Delta P_\sum$, Па**
1-2	141,5	10	2,8	16,14	Вихід з колектору	0,28	117	5	122
					Трійник	1,2			
2-3	70,75	7	2,0	15,64	Вхід до циклону Секційне коліно, 90^0	0,04 0,39	5	5	9
3-4	70,75				Циклони				488
4-5	70,75	15	2,0	16,85	Вихід з апарату Поворот на 90^0	0,12 0,39	56	5	61
5-6	141,5	5	2,7	16,9	Злиття потоку Поворот на 90^0 Вход в СВ	0,39 0,39 0,07	8	3	11
6-7	141,5				Скрубер Вентурі				1118,26
7-8	45,77	20	2,0	15,56	Вихід з апарату	0,3	143	12	155
					Поворот на 90^0	0,39			
8-9	91,55	20	2,3		Злиття потоку Поворот на 90^0	0,39 0,39	144	17	161
9-10	91,55				Димотяг				-
10-11	91,55	5	2,3	15,84	-	-	-	4	4
11-12	91,55	9	Димова труба						83,05



1 – агломашина; 2 – циклон ЦП-2, блок труб Вентурі; 5 – краплевловлювач; 6 – ексгаустер; 7 – димова труба.

Рисунок 2.5 – Схема для аеродинамічного розрахунку

Результати виконаних розрахунків представлені в табл. 2.1, а також на рис. 2.5.

Сумарний гідравлічний опір газовідвідного тракта склав 12,2 Па.

2.5 Розрахунок димової труби

Газовідвідний тракт включає циклони, скруббер Вентурі, газодувне обладнання та димову трубу висотою Н = 80 м. Гідравлічний опір димової труби визначається формулою, Па:

$$\Delta P_{тр} = \lambda \cdot \frac{H_{тр}}{D_{уст}} \cdot \frac{V_{уст}}{2} \cdot \rho_{г} \qquad (2.26),$$

де λ – гідравлічний коефіцієнт тертя для труби: для бетонних труб приймаємо λ = 0,05;

$H_{тр}$ – висота димової труби, м;

Приймаємо величину горловини $D_{уст}$ = 3 м;

$$V_{уст} = \frac{Q_р}{S_{уст}} = \frac{4Q_р}{n \cdot D_{уст}^2} = \frac{4 \cdot 91{,}55}{3.14 \cdot 3{,}0^2} = 12{,}96 \frac{м}{с}.$$

$$\Delta P_{тр} = 0{,}005 \cdot \frac{80}{3{,}0} \cdot \frac{12{,}96^2}{2} \cdot 1{,}12 = 12{,}54 \quad Па$$

Динамічний тиск, необхідний для створення швидкості газу $V_{уст}$ = 6,2 м/с, Па:

$$P_{дин} = \frac{V_{уст}^2}{2} \cdot \rho_{г} = \frac{12{,}96^2}{2} \cdot 1{,}12 = 94{,}05 Па$$

Сумарний гідравлічний опір димової труби, Па:

$$P_{\Sigma} = \Delta P_{тр} + P_{дин} = 12{,}54 + 94{,}05 = 106{,}59 \quad Па.$$

Середня температура повітря по висоті труби, ^{0}С:

$$t_в^{'} = t_в - 0{,}5 \cdot \sqrt{H_{тр}}, \qquad (2.27)$$

де $t_в$ – максимальна літня температура атмосферного повітря, ^{0}С;

$t_в = 27\ ^0$С.

$$t_в^{'} = 27 - 0{,}5 \cdot \sqrt{80} = 22{,}5°C$$

Густина атмосферного повітря, при 22,5 ^{0}С дорівнює $\rho_{атм} = 1{,}15$ кг/м^3.

Тоді, тяга, що створюється трубою, Па:

$$P_c = (\rho_{атм} - \rho_г) \cdot g \cdot H_{тр} = (1{,}15 - 1{,}12) \cdot 9{,}81 \cdot 80 = 23{,}54 Па$$

Визначаємо необхідність в додатковому тиску, Па:

$$P_{доп} = P_c - P_{\sum} \quad = 23{,}54 - 106{,}59 = -83{,}05 \quad Па$$

2.6 Вибір димотяга

Продуктивність димососа Пд приймаємо з запасом 10% від розрахункової кількості газів у димососа, м^3/год:

$$П_д = \frac{1{,}1 \cdot Q_р \cdot 101.3}{B} = \frac{1.1 \cdot 91{,}55 \cdot 101.3}{98} = 104{,}1 \frac{м^3}{с} = 374745{,}9 \frac{м^3}{ч}$$

Коефіцієнт перерахунку

$$K = \frac{(273 + t)101{,}3 \cdot \rho_г}{(273 + T) \cdot B \cdot \rho_в} = \frac{(273 + 60{,}3)101{,}3 \cdot 1{,}12}{(273 + 100) \cdot 98 \cdot 1{,}293} = 0{,}8$$

де t – температура газів попереду димотяга, ^{0}C;

T – температура газу за каталогом, ^{0}C.

Тиск, що створює димотяг

$$\Delta P_д = 1{,}2 \cdot K \cdot \Delta P_\Sigma$$

$$\Delta P_д = 1{,}2 \cdot 0{,}8 \cdot 10959 = 10520{,}6 \text{ Па}$$

де 1,2 – коефіцієнт запасу;

ΔP_Σ – загальний тиск газового тракту (табл. 2,1), Па;

К – коефіцієнт перерахунку.

Тоді, потужність на валу вентилятору, кВт:

$$N = \frac{Q_р \cdot \Delta P_в}{\eta} = \frac{91{,}55 \cdot 10520{,}6}{0{,}72} \cdot 10^{-3} = 1337{,}8 \quad кВт$$

На основі аеродинамічного розрахунку газовідвідного тракта вибираємо димосос типу Д-6500-6. Технічна характеристика вентилятора представлена в табл. 2.2.

Таблиця 2.2. – Технічна характеристика вентилятору

- Продуктивність, тис м^3/год……	390
- Повний тиск, Па……	12500
- к.к.д., …….	72
- Потужність, кВт……	100
- Частота обертання, об/хв……...	1000
- Маса, кг……	2500

2.7 Утилізація вловленого продукту

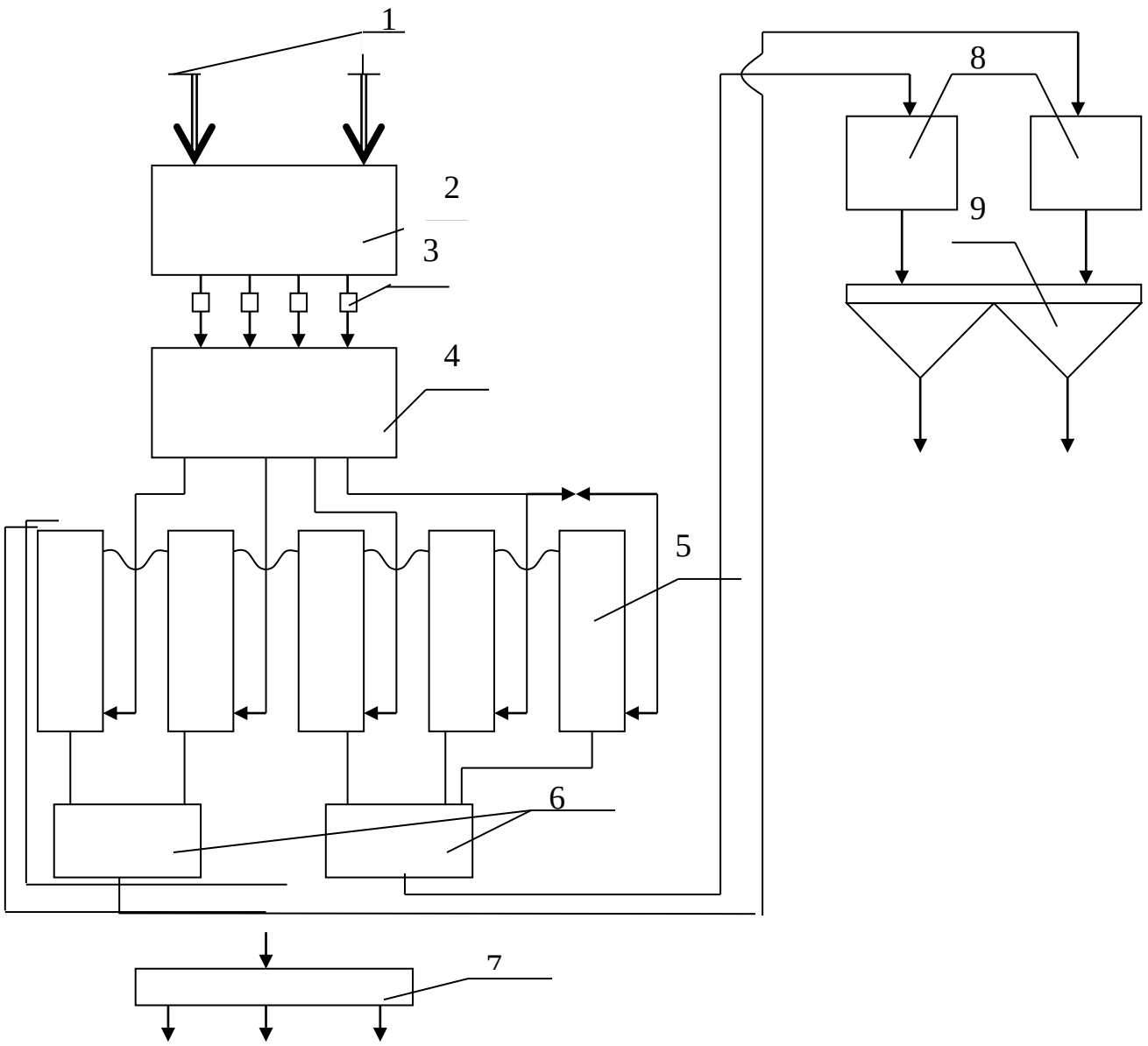
Згідно теми кваліфікаційної роботи в агломераційному цеху здійснюється «мокра» очистка газів. Пил, що утримується у таких газоочистних системах, становить 1,2-1,5 % від маси металургійної аглошихти і містить 55-60 % заліза, що відповідає рівню заліза, яке міститься у високоякісній залізній руді.

Водне господарство газоочисток агломераційного цеху є самостійним циклом водопостачання, що зображено на рис.2.6. Цей цикл включає в себе очисні споруди, насосні станції та обладнання для обробки шламової пульпи й шламу. Гранулометричний склад осаду, що надходить для очищення, містить 85-90 % часток розміром до 30 мкм. Щільність часток осаду становить 4500-5000 кг/м³.

Шламові води, що надходять по лотках 1, потрапляють у приймальну камеру 2, де нейтралізуються за допомогою вапняного молока, і далі направляються на насосну станцію 3. Насоси подають шламові води в розподільчу камеру 4 оборотного циклу. Туди також подається 0,1% розчин поліакриламіду як флокулянт. Стоки з додаванням флокулянту спрямовуються в відкриті гідроциклони 5 для освітлення. Ротаційний рух рідини в гідроциклонах, що виникає через тангенціальне підведення води до циліндричного корпусу, створює ефект аспірації часток. Це дозволяє агломерувати частки та збільшувати їх гідравлічний розмір (швидкість осадження).

Освітлені стоки через зливні лотки гідроциклонів надходять у приймальну камеру очищеної води і, в подальшому, насосами повертаються в мокрі газоочистні установки цеху. Концентрація осаду в очищеній воді не перевищує 150 мг/л.

Сгущена пульпа з нижньої частини гідроциклонів направляється спочатку в дешламатори 6, а потім насосами подається на фільтр-преси марки ФПАКП-50. Шлам після фільтрування має вологість 20-25% і збирається в шламових бункерах 9, звідки він надходить на подальшу обробку.



1 – лотки; 2 – приймальна камера шламових вод; 3 – насосна станція; 4 – розподільча камера шламових вод; 5 – гідроциклони; 6 – дешламатори; 7 – приймальна камера освітленої води; 8 – фільтр-преси ФПАКМ-50; 9 – шламові бункери

Рисунок 2.6 – Оборотний цикл водопостачання газоочисток агломераційного цеху

Додаткову обробку шламу здійснюють в сушильних обертових барабанах або на вертикальних стрічкових сушарках. Стрічкові сушарки призначені для отримання брикетів достатньої міцності для їх транспортування. Після стрічкових сушарок брикети надходять на аглоленту.

Водопостачання газоочисток агломераційного цеху може бути реалізовано як замкнутий оборотний цикл, з допуском лише на підживлення водою. Підживлення забезпечує компенсацію втрат води через випаровування в осадниках і унесення з газами. Частина води втрачається з циклу разом з відвантаженим шлаком.

Таким чином, утилізація шламів і пилу, що накопичуються в результаті очищення газів і стічних вод, є важливим елементом створення технологій з мінімальними відходами.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Характеристика ступеня безпеки агломераційного процесу

Безпека агломераційного процесу визначається швидкістю руху агломераційної стрічки, властивостями та складом шихтових матеріалів і готового агломерату, щільністю укладання (газопроникністю) шихти та її розподілом.

Таким чином, основними параметрами, що регулюють агломераційний процес, є маса оброблених вихідних матеріалів і готового агломерату, швидкість їх руху, об'єм, тиск і температура на різних етапах агломерації.

Порушення агломераційних процесів, пов’язаних із зміною фізико-хімічних параметрів, може призвести до змін технології спікання, впливати на технологічний стан обладнання та безпеку персоналу, що обслуговує його.

Агломерація залізорудних матеріалів включає численні операції з підготовки та агломерації вихідної сировини. Основними з них є: усереднення, дроблення, дозування компонентів відповідно до розрахунку шихти, змішування, агломерація, спікання. Кожен з цих етапів може містити виробничі фактори, вплив яких на працівників може призвести до травм. До таких факторів відносяться рухомі машини та механізми, вироби, заготовки, матеріали, транспортери для подачі сировини, обпалювальні машини, дробарки, вантажно-розвантажувальні пристрої, електрокари, рухомі залізничні склади тощо.

Під рівнем безпеки технологічного процесу розуміють його здатність підтримувати безпечний стан при виконанні в заданих параметрах протягом визначеного часу.

Нормованими параметрами є маса перероблюваних вихідних матеріалів, напівпродуктів та готової продукції, швидкості їх переміщення, об'єм, тиск і температура на різних стадіях процесу. Тому безпека процесу визначається складною функціональною залежністю b = f (m, p, v, t, V), яка для

кожного процесу може бути представлена системою диференціальних рівнянь з частковими похідними, де m – маса, p – тиск, v – швидкість, t – температура, V – ємність шихтових матеріалів, газів, рідин тощо.

Рівень безпеки розраховуємо за формулою:

$$U_б = \frac{1-\left(\sum_{t'i} + \sum_{\tau_i''} + \sum_{\phi_i'}\right)}{T'} \qquad (3.1)$$

де $\sum_{t_i'}$ - загальна тривалість процесу, протягом якого відбуваються порушення параметрів безпеки;

$\sum_{\tau_i''}$ - загальна тривалість екстремальних відхилень процесу;

$\sum_{\phi_i'}$ - загальна тривалість протікання процесу з порушенням параметрів безпеки під впливом зовнішніх факторів або внаслідок несправності агрегата чи його окремих елементів;

T' - час роботи агрегату.

Вихідні дані:

порушення параметрів агломерації, год:

наявність гнізд неспеченої шихти – 14;

зростання розрідження та падіння температури відхідних газів – 9;

широка зона розплавлення агломерату –8;

наявність язиків полум'я на зламі агломерату – 5;

всього – 36 год;

- екстримальні відхилення параметрів, год:

сильне оплавлення верхнього шару агломераційного пирога – 12;

більша частина шару шихти зовсім не спекається – 14;

всього 28 год;

- порушення параметрів безпеки внаслідок дії зовнішніх факторів або поломки агломераційної машини, год:

пухкий пиріг агломерату – 21;

в шихті недостатньо палива – 24;

низька температура загоряння шихти – 21;

всього 66 год

Час безперервної роботи агломераційної машини – 720 год (1 місяць).

Тоді рівень агломераційного виробництва становить:

$$U_б = 100 \cdot \frac{1 - (36 + 28 + 66)}{720} = 82{,}9\ \%$$

Таким чином, рівень безпеки агломераційного процесу є високим. Це обумовлено стабільною роботою всіх етапів технологічного процесу, високою якістю шихти та агломерату, а також ефективною системою контролю і захисту, яка мінімізує ризики та потенційні небезпеки, пов'язані з експлуатацією обладнання і технологічних процесів.

3.2 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища агломераційного цеху

Основними шкідливими та небезпечними факторами на агломераційних підприємствах є пил, гази, шум та виділення тепла. Оцінка факторів виробничого середовища та трудового процесу агломератора наведена в таблиці 3.1.

У процесі отримання агломерату виділяється велика кількість надлишкового тепла від розігрітого агломераційного пирога, яке передається навколишньому середовищу через нагріті поверхні печі та трубопроводів газо-повітряних трактів, а також через витік гарячих газів із печі, які прориваються через щілини та неплотності в технологічному обладнанні. Потік інфрачервоного випромінювання на робочому місці агломератора складає 5000 Вт/м², тоді як нормативний рівень становить 140 Вт/м².

Таблиця 3.1 – Оцінка факторів виробничого середовища і трудового процесу агломератника

№ п/п	Факторів виробничого середовища трудового процесу	Норм. знач. ГДК, ГДУ	Факт. знач. ГДК, ГДУ	III клас – шкідливі і небезпечні умови і характер праці			Час дії фактора, %, за зміну
				I	II	III	
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3: I клас небезпеки - Ангидрид хромовий II клас небезпеки- Марганцю оксид, аерозоль III - IY клас небезпеки: азота диоксид, сірчаний ангидрид, оксид вуглецю	 0,01 0,3 2,0 10,0 20,0	 0,009 0,35 1,8 5,5 17,0	 1,17р			 60
2.	Пил переважно віброгненної дії, мг/м^3	4,0	1050			262,5р	90
3.	Вібрація (загальна та локальна), дБ	92	98		6		80
4.	Шум, дБА	80	88	8			90
5.	Мікроклімат в приміщені: -температура повітря, °С -швидкість руху повітря,м/с - відносна вологість повітря,% -інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	 26 0,3 75 140	 39 0,3 75 5000			 13 5000	 90 70
6.	Важкість та напруженість праці	Важка, дуже напружена					

Оскільки агломераційний цех є теплим виробничим приміщенням, велика кількість надлишкового тепла призводить до значного підвищення температури повітря на робочому місці агломератора — 39°С. Негативний вплив високих температур повітря посилюється дією теплового випромінювання.

Вплив теплового випромінювання на органи зору може викликати тепловий ефект. При інтенсивності випромінювання понад 63 МДж/м²·год може виникнути катаракта. Підвищене теплове навантаження на організм призводить до перенапруження терморегуляторних функцій, що може ви-

кликати порушення теплового балансу організму. Збільшене потовиділення під час фізичного навантаження в умовах підвищених температур спричиняє втрату хлориду натрію, що є основним елементом, який утримує воду в крові. Крім того, різкі коливання температур можуть призвести до різноманітних простудних захворювань.

Багато технологічних процесів (дроблення, грохотіння, перевантаження компонентів шихти та агломерату, їх змішування, спікання тощо) супроводжуються виділенням пилу, який негативно впливає на організм людини, зокрема на органи дихання, а також погіршує умови видимості і орієнтування в робочій зоні, що сприяє швидкому зношуванню тертьових частин машин. Пил також може бути вибухонебезпечним і є джерелом статичних електричних зарядів.

Приміщення, де працюють з пильними матеріалами, зокрема цикли повернення, дроблення, сортування руди, спекальні стрічки, відділення шихти, постійно запилені. Концентрація пилу на робочому місці агломератора досягає 1050 мг/м³, що перевищує нормативний рівень у 4,0 мг/м³.

Нетоксичний пил може викликати подразнення шкіри, очей, ясен та вух. Потрапляючи в легені, пил може стати причиною професійних захворювань, таких як силікоз, силікатоз, антракоз, асбестоз та інші.

Технологічний процес агломерації пов'язаний з постійним підвищенням потужності та продуктивності обладнання, що досягається збільшенням робочих швидкостей машин. Це призводить до зростання динамічних зусиль, вібрацій та шуму. Наприклад, основною причиною виникнення шуму при грохоченні на низьких та середніх частотах є вібрація бокових стінок коробки та решіток, що викликається центробіжними силами під час обертання дисбалансів, а також ударами деталей підшипникових вузлів та ударним характером взаємодії з матеріалом.

Шум має негативний вплив на серцево-судинну та центральну нервову систему. На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства максимально допустимий рівень шуму стано-

вить 80 дБА, при якому ймовірність ушкодження слуху практично дорівнює нулю. Однак, при роботі агломашин рівень шуму складає 88 дБА, що перевищує допустимі норми.

Рівень вібрацій при роботі агломашин становить 98 дБ, що також перевищує допустимі норми (92 дБ). Вплив вібрації може спричинити спазми судин, впливати на нервову систему, шлунково-кишковий тракт, м'язи, суглоби, зір і слух. Тривалий вплив вібрації може призвести до важко лікувальної вібраційної хвороби.

Технологічні гази, що виходять з агломашин, містять шкідливі компоненти, такі як діоксид сірки, оксид вуглецю, оксиди азоту, аміак, їдкі луги, оксиди марганцю, тому навіть малі кількості цих шкідливих речовин можуть потрапляти в повітря робочої зони. Концентрація таких шкідливих речовин, як оксиди марганцю та діоксид азоту, перевищує гранично допустимі концентрації і становить 0,35 мг/м³ та 1,8 мг/м³ відповідно (ПДК для цих речовин 0,05 мг/м³ та 2 мг/м³).

Діоксид азоту є подразнюючим агентом, що в першу чергу вражає кінцеві дихальні шляхи та легеневі альвеоли. Їдкі луги та оксиди марганцю також є подразнювальними і в основному викликають ураження верхніх дихальних шляхів.

Оцінка факторів виробничого середовища трудового процесу агломератора представлена в таблиці 3.1. Згідно з показниками, робоче місце агломератора має умови праці з особливо шкідливими та важкими умовами, що відповідає критеріям Списку №1: доплата - 24%, додатковий відпусток – 14 днів, профхарчування – молоко.

3.3 Заходи з охорони праці

Основний корпус аглофабрики розташований таким чином, щоб напрямок переважаючих вітрів був спрямований до розвантажувальної частини спекальних машин. Продукція рудносортувального відділення не повинна розміщуватись з підвітряної сторони головного корпусу. Згідно з єдиними санітарними правилами для підприємств чорної металургії, розташування двох і більше корпусів спікання (обжигу) на одній території не бажане і може бути дозволене лише за умови мінімальної відстані між ними 500 м.

Будівлі аглофабрики мають стіни з гладкими поверхнями, щоб запобігти накопиченню пилу та полегшити його прибирання. Початкові змішувальні барабани та транспортери розташовуються не нижче рівня підлоги першого поверху шихтового відділення. Стіни, стелі, перекриття та внутрішні конструкції будівлі агломераційного цеху спроектовані так, щоб їх можна було легко очищати та мити, також передбачені системи для гідросмивання просипаних матеріалів.

У складі фабрики передбачене окреме приміщення (гараж) для розморожування руди в зимовий період. Склади сухих подрібнених матеріалів з фракціями менше 5 мм проектуються закритими. Пол в спекальному відділенні має рівну, нескользьку поверхню, що відповідає гігієнічним та експлуатаційним вимогам. Конструкції стін, колон та інших елементів будівель забезпечують можливість очищення від пилу.

Вхід у будівлі цеху організований таким чином, щоб забезпечити зручний та безпечний доступ до робочих місць. При в'їзді транспорту та вході людей в приміщення, де працюють крани, у воротах та проходах встановлюють світлову сигналізацію, яка попереджає про небезпеку або забороняє в'їзд транспорту та прохід людей.

Між підприємством та житловою зоною створюється санітарно-захисна зона, ширина якої залежить від кількості шкідливих речовин, що викидаються підприємством у атмосферу. Санітарні норми проектування

промислових підприємств встановлюють ширину санітарно-захисної зони для підприємств першого класу на рівні 1000 м.

Вентиляція агломераційної фабрики здійснюється за допомогою великих централізованих установок. Притік повітря в спекальний зал для компенсації об'єму відведеного повітря через аглоексаустери здійснюється десятьма приточними системами загальною потужністю 600 000 м³/год. Для поліпшення мікроклімату на робочих місцях агломератників в зоні головних частин агломашин передбачена подача повітря шістьма душувальними установками з обробкою повітря на кондиціонерах. Продуктивність кожної душувальної установки складає 20 000 м³/год. Повітря подається через перфоровані повітроводки на висоті 3 м від підлоги. Для видалення тепла та газів над пічними горнами встановлені зонти.

У приміщенні зворотного ходу палет передбачена подача приточного повітря об'ємом 600 000 м³/год десятьма приточними камерами, аналогічними тим, що подають повітря в спекальний зал. У відділенні газових шляхів притік повітря здійснюється чотирма аналогічними камерами загальною потужністю 240 000 м³/год. Таким чином, для компенсації витяжки об'ємом 1 440 000 м³/год спеціально оброблене повітря подається вентиляторами в окремі приміщення.

Для збереження теплоізоляції або забезпечення інтенсивної аерації потрібно використовувати велике кількість тепла, яке не використовується в технологічному процесі.

Притік повітря в приміщення зворотного ходу здійснюється окремою приточною камерою з регулюванням температури та фільтрацією повітря через масляні самочищувальні фільтри. Повітря подається в верхню зону через повітроводи рівномірного розподілу. Обсяг притоку повітря компенсується об'ємом витяжки.

В даху приміщення бункерів шихти встановлені витяжні шахти, які піднімаються над коньком даху на 1 м. На витяжних шахтах встановлені дефлектори. Місцеві відсмоктувачі організовані від укриття грохота, голов-

ної частини агломашини, а також від місця завантаження окомковувача шихти.

Кондиціонування повітря організовано в постах управління дробильників і агломератників. Опалення виробничих приміщень — повітряне, поєднане з приточною вентиляцією. Для опалення галерей з конвеєрами, що переміщують паруючі матеріали, використовуються місцеві нагрівальні прилади центрального опалення, розраховані на підтримку температури в приміщеннях до +5 °С. решта необхідного тепла для підтримки внутрішньої температури забезпечується перегрівом приточного повітря.

3.4 Електробезпека

В агломераційних цехах основною частиною обладнання є електричні машини та інші споживачі електроенергії.

Основними споживачами електричної енергії в агломераційному цеху є:

Перемінний струм. Напруга 6000 В:

- Електродвигуни ексгаустерів: ДСП-74/140 потужністю 2000 кВт;
- Електродвигуни димососів обжигових машин: ВАО 2-560 LA-4У2 потужністю 800 кВт;
- Електродвигуни молоткових дробилок: ДАЗО 4-450У-8У11Р24 потужністю 500 кВт;
- Електродвигуни воздуходувок: БАМСО 15-10-8 потужністю 360 кВт.

Напруга 380 В:

- Електродвигуни насосів високого тиску: АІР 355S4У3 потужністю 250 кВт;
- Електродвигуни конвеєрів: АІР 355S6У3 потужністю 250, 160 кВт.

Постійний струм. Напруга 220 В:

- Тягові електродвигуни трансферкарів: ЕД-118А потужністю 305 кВт.

Для забезпечення електроживлення в агломераційному цеху використовуються чотирипровідні електричні мережі з глухозаземленою нейтраллю для перемінного струму напругою менше 1000 В та двопровідні мережі постійного струму.

Згідно з технологічними вимогами чотирипровідна мережа дозволяє використовувати два робочих напруги – лінійне та фазне, що дозволяє значно знизити вартість електроустановки в цілому завдяки застосуванню меншої кількості трансформаторів, зменшеного перерізу проводів тощо. Трифазна мережа дає змогу використовувати лише одне напруження.

З точки зору безпеки, в умовах нормальної роботи, коли є можливість доторкнутися до фазного проводу, безпечніша є трьохпровідна мережа з ізольованою нейтраллю. У аварійному режимі роботи більш безпечною є мережа з глухозаземленою нейтраллю. Використання трьохпровідних мереж з ізольованою нейтраллю є доцільним у тих випадках, коли є можливість підтримувати високий рівень ізоляції проводів від землі, наприклад, у коротких мережах, не підданих впливу агресивного середовища і що знаходяться під постійним контролем електротехнічного персоналу. Виробниче середовище агломераційного цеху не відповідає цим умовам, оскільки електричні мережі в цеху піддаються впливу агресивних середовищ, мають велику протяжність, що ускладнює швидке виявлення чи усунення пошкоджень ізоляції. Тому використання чотирипровідних електричних мереж з глухозаземленою нейтраллю є більш доцільним для таких умов.

3.5 Заходи з пожежної безпеки

У процесі агломераційного виробництва використовуються горючі матеріали, зокрема кокс, коксовий пил та антрацитовий штыб. Тому ділянки, де відбувається їх обробка, зокрема дроблення та грохочення коксу, кок-

сового пилу та антрацитового штыба, вагоноопрокидувачі для їх розвантаження, склади цих матеріалів, бункери для їх приймання та корпуси для брикетування, відносяться до виробництва категорії В. Кабельні етажі також належать до категорії В.

В агломераційному цеху для змащування механічного обладнання встановлені станції централізованого автоматичного змащення, які розміщуються в окремих приміщеннях. Приміщення цих станцій за ступенем пожежної небезпеки відповідають категорії В, а для вибору електричного обладнання ці приміщення віднесені до зон класу П-1.

Ділянки, пов’язані з дробленням (переробкою) палива, такі як корпуси для дроблення вугілля, окремі дробарки та грохоти, є вибухопожежонебезпечними (категорія Б), оскільки під час обробки виділяються вибухонебезпечні пилові частки. Інші ділянки, що пов’язані з термічною обробкою агломерату, охолодженням, спалюванням палива та його транспортуванням (такі як корпус агломерації, відділення охолодження агломерату, обпалювання вапняку, погрузка гарячого агломерату в вагони тощо), є пожежонебезпечними та належать до категорії Г.

Відділення та ділянки, пов’язані з обробкою, складуванням і сортуванням шихтових матеріалів (крім горючих), належать до категорії Д. Це включає рудний двір, склади сировини, відділення сортування агломерату, корпуси шихтових бункерів, дроблення та грохочення шихтових матеріалів, ділянки для осушення осадів, приймальні бункери для руди, концентратів, окали, вапняку та інших матеріалів.

В агломераційному цеху передбачені евакуаційні виходи з виробничих будівель для забезпечення безпечної евакуації людей у разі виникнення пожежі. У цих будівлях встановлюються молнієвідводи.

Для захисту від пожежі використовуються спеціальні автоматичні пристрої. Автоматичні системи блокування допомагають запобігти неправильному включенню обладнання, що може призвести до загоряння або утворення вибухонебезпечних сумішей.

Автоматичний захист від виникнення та поширення пожежі включає:

- запобігання утворенню горючих середовищ у виробничих агрегатах, комунікаціях та приміщеннях;
- евакуацію горючих речовин з виробничих ємностей в аварійні;
- перекриття виробничих комунікацій і вентиляційних систем, щоб зупинити поширення пожежі (наприклад, в кабельних галереях);
- активацію систем подачі вогнегасних засобів на шляху поширення вогню;
- закриття отворів для запобігання поширенню вогню в сусідні приміщення.

Для швидкого виявлення початку пожежі і сповіщення про неї використовуються автоматичні системи пожежної сигналізації.

Засоби для гасіння пожеж призначені для ліквідації великих осередків загоряння, а також для гасіння на ранній стадії розвитку пожежі силами персоналу до прибуття підрозділів пожежної охорони.

Вогнегасні засоби включають воду, водні емульсії, галоїдовані вуглеводні, водяний пар, порошкові засоби, стиснене повітря, інертні гази, хімічну і аерозольну піну, твердий вуглекислий газ, пісок та спеціальні флюси.

Для ліквідації невеликих загорянь на електричних установках під напругою, двигунах внутрішнього згоряння та інших використовують вуглекислотні вогнегасники, зокрема ВВ-2, ВВ-5, ВВ-8 (переносні), ВВ-25 та ВВ-80 (пересувні).

У більшості випадків пожежі в агломераційному виробництві гасять водою за допомогою гідрантів і пожежних кранів.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні інвестиції в базовому варіанті визначаються на основі заводських даних. У розрозрахованому проєктному варіанті враховуються технічні рішення, спрямовані на модернізацію системи очищення газів.

Вартість основного обладнання (СО) наведена в табл. 4.1. Витрати на додаткове обладнання (КВП) розраховуються як 25% від вартості основного обладнання.

$$С_Д = 0,25\ С_А\ , \qquad (4.1)$$

Вартість встановлення та монтажу нового обладнання визначається як 30% від вартості самого обладнання. Ця сума охоплює всі необхідні роботи, пов’язані з інсталяцією, налаштуванням і підготовкою обладнання до експлуатації:

$$См = \ 0,3 \ \ С_А, \qquad (4.2)$$

Вартість встановлення та монтажу нового обладнання складає 30% від його загальної вартості. Окремо вартість прокладання комунікацій визначається як 15% від вартості основного обладнання. Ці витрати включають всі необхідні роботи для підключення та забезпечення функціональності системи:

$$Ск = 0,15\ С_А\ , \qquad (4.3)$$

Накладні витрати розраховуються у розмірі 20% від загальної вартості основного обладнання. До цієї категорії відносяться витрати, пов’язані з організаційними процесами, матеріальними ресурсами, логістикою та іншими супутніми потребами, що виникають під час виконання робіт.

$$Сн=0,2\ С_А, \quad (4.4)$$

Об’єм будівлі до реконструкції становив 10 283 м³, а після реконструкції зменшився до 8 965 м³. Вартість одного кубічного метра будівлі визначається на рівні 45,30 грн. У розрахунок враховано зміни, пов’язані з реконструкцією, які впливають на загальну площу та об’єм приміщення.

Все данные по капитальным вложениям сведены в табл. 4.1

Таблиця 4.1 – Розрахункові капітальні вкладення

Показники	Порівняльний (базовий) варіант			Запропонований		
	Кіл. од.	Ціна од. грн.	Сума тис. грн	Кіл. од	Ціна од. грн	Сума тис. грн
Устаткування:						
-скрубер	2	118000	2360	2	118000	2360
-труба Вентурі	4	34000	136	4	34000	136
-циклон				2	720000	1440
-газохід			1520			1520
Комунікації			90			90
- ексгаустер	1	300000	300	1	300000	300
- електродвигун						
- джерело стим. розряду				1	200000	200
Разом: основне устаткування			4406			6046
КВП			1101,5			1511,5
Разом			5507,5			7557,5
Вартість монтажу устаткування			1321,8			1813,8
Вартість монтажу комунікацій			660,9			906,9
Вартість накладних витрат			881,2			1204,2
Вартість будинків			4658			4061
Всього кап. витрат на 1000м³ газа, грн			6,3			7,5
Всього кап. вкладень			13029,4			15543,4

4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Процес обчислення щорічних експлуатаційних витрат, пов’язаних із очищенням газів, реалізується за допомогою наведеної нижче формули:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7, \quad (4.5)$$

де C_1 – витрати на вихідні матеріали;

C_2 – витрати на електроенергії;

C_3 – амортизаційні витрати;

C_4 – витрати на оплату;

C_6 – витрати на поточний ремонт та утримання основних фондів;

C_7 – прочі витрати.

Витрати на виробничі матеріали включають витрати на воду, що використовується у виробничих процесах, а також інші ресурси, необхідні для забезпечення роботи підприємства:

$$C_1^{б} = Р_В \cdot Ц_В, \quad (4.6)$$

де $Р_В$ – витрати води на зрошення, м^3/год;

$Ц_В$ – ціна води, грн

Розраховуємо величину витрат на електроенергію:

$$C_2 = \frac{Ц \cdot N \cdot T_{еф} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}{1000} \quad (4.7)$$

де Ц – вартість електроенергії; грн/квч·год;

N – загальна потужність електродвигунів, кВт;

Теф – ефектий фонд часу роботи устаткувань на рік, год

$Ч_1$ – коефіцієнт використання устаткування, $Ч_1$=0,95;

$Ч_2$ – коефіцієнт корисної дії електродвигунів, $Ч_2$=0,85

Амортизаційні відрахування розраховуються за узагальненим методом. Узагальнені ставки амортизації встановлюються на рівні: для обладнання – 15%, для контрольно-вимірювальних приладів – 25%, для будівель – 5%. Вказані норми враховують середню тривалість експлуатації основних засобів та їхню зносостійкість.

Заощадження від утилізації: у базовому варіанті продукт не підлягав утилізації; у проєктному варіанті ці заощадження становлять. Проєктний підхід забезпечує зменшення витрат завдяки оптимізації процесів утилізації, що позитивно впливає на економічні показники.

$$Еут.= Qут.·Ц, \quad (4.8)$$

де $Q_{ут.}$ – кількість вловленого продукту, що утилізуються, т;

Ц – вартість продукту, що утилізуються, грн/т.

Результати розрахунків вносяться в табл. 4.2

Таблиця 4.2 – Експлаутаційні витрати на очистку 1000 м^3 газа

Витрати	Варіанти	
	Базовий, грн/1000м^3	Проектний, грн/1000м^3
1	2	3
1 Витрати на воду	0,92	0,76
2 Витрати на електроенергію	0,72	0,72
3 Амортизаційні відрахування	7,1	8,1
4 Заробітна плата:		
- основна	0,15	0,15
- додаткова	0,08	0,08
5 Нарахування на зарплату	0,08	0,08
6 Витрати на поточний ремонт	0,11	0,12
7 Загальновиробничі витрати	0,20	0,23
Всього витрат	9,36	10,4
8 Економія від утилізації	-	2,2
Всього витрат з урахуванням утилизации	9,36	8,2

4.3 Техніко-економічне обґрунтування

Економічне обґрунтування доцільності запропонованих у проєктному варіанті технічних та організаційних рішень щодо уловлювання й утилізації пилу зводиться до аналізу та порівняння економічних показників за різними варіантами.

Річний економічний ефект від впровадження нових технологій включає зниження експлуатаційних витрат, оптимізацію виробничих процесів та підвищення екологічної ефективності підприємства.

$$Ег= [(C_1+ Ен \cdot К_1) - (C_2+ Ен \cdot К_2)]Q, \quad (4.9)$$

де C_1 та C_2 – питомі витрати на очистку 1000 м^3 газу за базовим та проєктним варіантом відповідно, грн;

$К_1$ и $К_2$ – питомі капітальні вкладення відповідно за базовим та проєктним варіантом, грн;

Ен – нормативний коефіцієнт ефективності, грн/год/грн;

Q – об'єм газу, який очищається в проєктному варіанту, млн.м^3

Термін повернення інвестицій у капітальні витрати. Цей показник відображає час, необхідний для компенсації вкладених коштів у проєкт за рахунок отриманого економічного ефекту або прибутку.

$$Т_{ок}= ΔК / Эг$$

Далі розрахунковий показник ефективності капітальних інвестицій. Цей коефіцієнт демонструє рівень віддачі від вкладених капітальних ресурсів, дозволяючи оцінити доцільність та економічну результативність проєкту.

Результати розрахунків зведені в таблицю 4.3

Таблиця 4.3 – Техніко-економічні показники від впровадження проєкта

Показники	Одиниці вимірювання	Варіант	
		Базовий	Проєктний
Кількість газу, що очищається	млн. $м^3$	2070	2070
Кількість пилу, що утилізується	т	-	6613,65
Капітальні вкладення	тис. грн	13029,4	15543,4
Витрати на очистку 1000 $м^3$ газу	грн	9,36	8,2
Річний економічний ефект	тис. грн	_	2103,0
Строк окупності витрат	роки	_	2,5
Розрахунковий коефіцієнт ефективності	грн/год/грн	_	0,40

З урахуванням передбачених технічних рішень проєктного варіанту реконструкції, капітальні інвестиції становлять 15 543,4 тис. грн. Щорічні експлуатаційні витрати зменшуються завдяки скороченню використання технічної води та підвищенню рівня утилізації уловленого продукту.

Ефективність інвестицій у реконструкцію існуючої газоочисної системи оцінюється в 0,4 грн/рік на кожну вкладену гривню, а термін окупності становить 2,5 року. Це підтверджує доцільність реалізації запропонованого варіанту модернізації.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи були отримані такі висновки:

1. Під час агломерації залізних руд в атмосферу виділяється значна кількість технологічних газів, що містять агломераційний пил, оксиди азоту та вуглецю. При агломерації сірковмісних руд додатково утворюється сірчистий ангідрид, що значно збільшує рівень забруднення довкілля.

2. Запропоновано використання сучасну комбіновану схему двоступеневої системи очищення. На першому етапі застосовують великі циклони для уловлювання крупного пилу, а на другому – скрубери Вентурі з тангенціальними форсунками для тонкого очищення газу.

3. З урахуванням передбачених технічних рішень проєктного варіанту реконструкції, капітальні інвестиції становлять 15 543,4 тис. грн. Щорічні експлуатаційні витрати зменшуються завдяки скороченню використання технічної води та підвищенню рівня утилізації уловленого продукту.

4. Ефективність інвестицій у реконструкцію існуючої газоочисної системи оцінюється в 0,4 грн/рік на кожну вкладену гривню, а термін окупності становить 2,5 року. Це підтверджує доцільність реалізації запропонованого варіанту модернізації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1.Аглодоменне виробництво. URL: http://energostal.kharkov.ua/ua/sferyideyatelnosti/gornimetal/aglodomennoe-proizvodstvo (дата звернення: 30.10.2024)

2. Агломераційне виробництво, технологія отримання агломерату, вибір обладнання для агломерації. URL: https://ua.waykun.com/articles/aglomeracijnevirobnictvo-tehnologija-otrimannja.php (дата звернення: 30.10.2024).

3. Конспект лекцій з дисципліни «Пилеуловлювання та очищення промислових викидів» для студентів за напрямом 6.050601 – Теплоенергетика денної форми навчання / О.Л. Глущенко. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2012. 111 с.

4. Очищення технологічних газів агломераційного виробництва / Є. А. Манідіна, В. Г. Рижков, В. С. Манідін. *Металургія*. 2016. Вип. 1. С. 96-99.

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

6. Чернякова О.І. Методи захисту атмосфери : конспект лекцій. Одеса : ОДЕКУ, 2019. 89 с. 7.

7. Очищення газів від діоксиду сірки. URL: https://pidru4niki.com/1098120541658/ekologiya/ochischennya_gaziv_vid_dioksi du_sirki (дата звернення: 10.11.2024).

8. Манідіна Є.А., Смотраєв Р.В., Троїцька О.О., Беренда Н.В. Технологія очищення промислових газових викидів від сульфуру (IV) оксиду (SO_2) розчинами сполук заліза (II, III). *Теорія і практика металургії*. Вип. 3. 2018. С. 33-36.

9. Рукавний фільтр - Лазарев В.А. URL: https://findpatent.ua/patent/223/2233697.html (дата звернення: 21.11.2024).

10. Теоретичний аналіз хемосорбції сульфуру(IV) оксиду. Обґрунтування вибору ефективного масообмінного апарата / В.Т. Яворський, А.Б. Гелеш,

І.Є. Яворський, Я.А. Калимон. *Східно-Європейський журнал передових технологій.* 2016. № 6(79). С. 32-40.

11. Очищення димових газів від сірчистих речовин. URL : http://ni.biz.ua/5/5_8/5_8953_ochistka-dimovih-gazov-ot-sernistihveshchestv.html (дата звернення: 23.10.2024).

12. 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.

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

14. 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.