

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет гірничо-металургійний
Кафедра безпеки праці та охорони довкілля

**Кваліфікаційна робота
допущена до захисту**

Гарант ОПП «Інноваційні технології та
системи захисту навколишнього
середовища»

ПІКАРЕНЯ Д.С. _____

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Інноваційні технології та системи захисту навколишнього
середовища»

за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища

на тему «Оцінка екологічної ефективності удосконалення системи
очищення коксового газу від сірководню на коксохімічному
виробництві»

Керівник

Пікареня Д.С.

(Прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант від
бази практики

Голобородько П.С.

(Прізвище та ініціали)

(підпис)

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Копійка І.В.

(Прізвище та ініціали)

(підпис)

Кам'янське 2025



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет гірничо-металургійний
 Кафедра безпеки праці та охорони довкілля
 Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
 Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища
 Освітньо-професійна програма Інноваційні технології та системи захисту навколишнього середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП «Інноваційні технології та системи захисту навколишнього середовища»

Пікареня Д.С. _____
 «27» грудня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Копійка Ігор Вадимович
 (прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

- Тема роботи Оцінка екологічної ефективності удосконалення системи очищення коксового газу від сірководню на коксохімічному виробництві.
 керівник роботи Пікареня Д.С. докт .геол. наук, професор.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 затверджені наказом Університету від 14.10. 2024 р. №238/14.10.2024
- Термін здачі здобувачем закінченої роботи 03.02.2025 р.
 Вихідні дані до роботи Навчальна та науково технічна література, науково-дослідницькі роботи з тематики, державні стандарти, технологічні інструкції, дані ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», результати власних експериментів та досліджень, матеріали зібрані під час інженерно-природоохоронної практики.
- Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Реферат. Вступ. 1. Аналіз технологічного процесу коксохімічного виробництва. 2. Обґрунтування вдосконалення системи очищення коксового газу від сірководню на вузлі абсорбції цеху сіркоочищення. 3. Технологічні та конструктивні рішення щодо вдосконалення системи очищення коксового газу від сірководню на вузлі абсорбції цеху сіркоочищення. 4. Охорона праці. Висновки. Перелік використаних джерел Додаток
- Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентаційний матеріал Microsoft Power Point в кількості 18 слайдів.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	Пікареня Д.С., професор кафедри Безпеки Праці та Охорони Довкілля
2	Пікареня Д.С., професор кафедри Безпеки Праці та Охорони Довкілля
3	Пікареня Д.С., професор кафедри Безпеки Праці та Охорони Довкілля
4	Пікареня Д.С., професор кафедри Безпеки Праці та Охорони Довкілля

7. Дата видачі завдання 27.12.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Реферат, зміст, вступ	28.12.2024 – 05.01.2025
2	Розділ 1. Теоретичний розділ (аналітико-пошуковий)	28.12.2024 – 13.12.2025
3	Розділ 2. Дослідницький розділ (аналітичнорозрахунковий)	03.01.2025 – 17.01.2025
4	Розділ 3. Технологічний розділ	08. 01.2025 – 22.01.2025
5	Розділ 4. Охорона праці	21. 01.2025 – 25.01.2025
5	Висновки, перелік посилань	25.01.2025 – 28.01.2025
6	Оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	28.01.2025 – 10.02.2025
7	Подання завершальної роботи. Перевірка на відсутність плагіату	10.02.2025 – 16.02.2025

Здобувач

Копійка І.В.

Керівник

Пікареня Д.С.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 60 с., 5 рис., 1 табл., 15 літературних джерел, 1 додаток.

Об'єкт дослідження: очищення коксового газу від сірководню.

Предмет дослідження: вдосконалення абсорбційного методу очищення газу шляхом модернізації очисної апаратури.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи: є проведення комплексного аналізу існуючого обладнання цеху очистки коксового газу від сірководню, та обрати найбільш оптимальних варіант вдосконалення обладнання для підвищення ефективності, зменшення екологічного тиску на прилеглі території та оптимізацію операційних витрат.

У вступі розглянуто актуальність теми досліджень визначені формулювання об'єкту та предмету досліджень, сформульовані мета та завдання подальшої дослідницької роботи та сформовано план реалізації завдання.

В першому розділі виконано аналіз технологічного процесу коксохімічного виробництва. Виконано огляд виробничої структури, аналіз летючих хімічних продуктів коксування та розглянуто існуючі методи видалення сірководню з коксового газу.

В другому розділі описані екологічні проблеми області, надано історичну довідку з розвитку одного підприємств з області. Виконано огляд діючих виробництв, описано сутність коксохімічного виробництва та системи очищення коксового газу від сірководню. Представлені результати досліджень.

У третьому розділі проведено аналіз роботи обладнання існуючого обладнання, виконано огляд додаткових насадок для покращення

системи очищення коксового газу. Виконані розрахунки додаткової насадки.

У четвертому розділі наведено огляд організаційної структури сучасного металургійного підприємства щодо управління охороною праці та захисту навколишнього середовища.

В висновках наведені основні результати кваліфікаційної роботи.

АБСОРБЦІЯ, КОКСОВИЙ ГАЗ, СІРКОВОДЕНЬ, СИСТЕМИ
ОЧИЩЕННЯ КОКСОВОГО ГАЗУ, АБСОРБЕР ВИХРОВИЙ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОКСОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА	9
1.1 Огляд виробничої структури коксохімічного виробництва....	9
1.2 Аналіз летючих хімічних продуктів коксування.....	11
1.3 Аналіз існуючих методів видалення сірководню з коксового газу.....	13
2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ КОКСОВОГО ГАЗУ ВІД СІРКОВОДНЮ НА ВУЗЛІ АБСОРБЦІЇ ЦЕХУ СІРКООЧИЩЕННЯ.....	23
2.1 Загальна характеристика ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».....	23
2.2 Сутність технологічного процесу очищення коксового газу від сірководню.....	26
2.3 Експериментальні дослідження вмісту сірководню в коксовому газі	36
3 ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ КОКСОВОГО ГАЗУ ВІД СІРКОВОДНЮ НА ВУЗЛІ АБСОРБЦІЇ ЦЕХУ СІРКООЧИЩЕННЯ.....	40
3.1 Аналіз роботи обладнання.....	40
3.2 Вибір додаткової насадки.....	40
3.3 Розрахунок додаткової насадки.....	45
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	47
ВИСНОВКИ.....	51
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52
Додаток А Публікація за темою досліджень.....	54

ВСТУП

Актуальність теми. До основних джерел забруднення атмосфери та водоймищ належать підприємства металургійної, енергетичної та хімічної промисловості. Коксохімічне виробництва – одна з суміжних галузей. Шляхом коксування здійснюють переробку кам'яного вугілля, внаслідок якої з коксом одержують коксовий газ, що містить різноманітні хімічні продукти. З якої 95% всіх сірчистих сполук складає сірководень. Решту 5 % складають органічні сірчисті сполуки. Наявність у коксовому газі сірчистих сполук викликає корозію трубопроводів і апаратури, погіршення якості поглинального масла, забруднення повітря. При використанні коксового газу як енергетичного палива в атмосферне повітря потрапляють з'єднання сірки у вигляді SO_2 , H_2S і інші, які зумовлюють можливість випадання "кислотних дощів". Очищення від сірководню коксового газу є необхідним технологічним процесом і актуальною проблемою пов'язаною з охороною довкілля .

Об'єкт дослідження – процес очищення коксового газу від сірководню.

Предмет дослідження – вдосконалення абсорбційного методу очищення газу шляхом модернізації очисної апаратури.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи. Метою кваліфікаційної роботи є проведення комплексного аналізу існуючої технології очищення коксового газу, що застосовуються на підприємстві та вибір оптимального варіант вдосконалення системи для зменшення екологічного навантаження на прилеглі території.

Для досягнення мети в роботі необхідно розв'язати наступні задачі:

- 1) проаналізувати існуючий стан обладнання;

- 2) оцінити ефективність роботи вузла абсорбції, включаючи заміри концентрацій H_2S до та після очищення;
- 3) визначити рекомендації щодо вдосконалення очищення коксового газу;
- 4) розглянути сучасні аспекти інтегрованої системи екологічного управління, управління охороною здоров'я та безпекою праці на металургійному підприємстві;

Методи дослідження. Для виконання визначених завдань було використано теоретичний аналіз існуючого обладнання, документації та літературних джерел та аналізу лабораторних досліджень.

На підставі огляду науково-технічної літератури на тему методів очищення коксового газу від сірководню, проведено комплексний аналіз роботи існуючого обладнання та визначено оптимальний варіант модернізації системи очищення коксового газу від сірководню.

За результатами досліджень опубліковано тези до конференції “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education”, яка відбулась 28-29.11.2024р. (дод.А) [1].

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОКСОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

1.1 Огляд виробничої структури коксохімічного підприємства

Коксохімічна промисловість - галузь чорної металургії, що займається переробкою кам'яного вугілля методом коксування [6].

До складу коксохімічного виробництва входять такі цеха, як: вуглепідготовчий, коксовий, уловлювання хімічних продуктів коксування, цех очистки коксового газу від сірководню.

Вуглепідготовчий цех — це підрозділ, який відповідає за прийом, зберігання та підготовку вугільних концентратів для коксування, а також за подачу вугільної шихти в коксові печі. Основні функції цеху включають прийом і зберігання вугілля, його усереднення за марками та групами, дозування і дроблення вугільних концентратів, отримання готової шихти та її подачу у вугільні башти. Розвантаження концентратів здійснюється вагоноперекидачами після зважування на електронно-конвеєрних вагах. Потім вугільний концентрат надходить у бункери і транспортується конвеєром на склад. Зі складу вугільна шихта транспортується в дробарне відділення, а готова шихта подається у вугільні башти за допомогою транспортерів.

Коксовий цех призначений для виробництва коксу з вугільної шихти та отримання хімічних продуктів коксування. Основні етапи технологічного процесу включають завантаження шихти, коксування, видачу, гасіння та сортування коксу. До складу цеху входять батареї коксових печей, коксові машини та вугільні башти для зберігання шихти. Газове господарство складається з газопроводів і кранів для регулювання потоків газу, повітря та диму. Для охолодження коксу використовуються гасильні башти з насосами для відкачування води,

відстійники та коксові рампи. Для сухого гасіння коксу застосовуються спеціальні установки. Після цього кокс сортують за розміром, відбирають проби для аналізу та транспортують у доменні цехи.

Цех уловлювання хімічних продуктів коксування охолоджує коксовий газ і виділяє з нього кам'яновугільну смолу, водяну пару та аміак, отримуючи сульфат амонію як побічний продукт. Також виділяються бензолі вуглеводні, з яких отримують сирий бензол. У цеху є відділення конденсації та охолодження коксового газу, сульфатне відділення для очищення газу від аміаку, аміачне та бензолове відділення, де також проводиться регенерація поглинаючого масла. Є склади для зберігання смоли, масел і сирого бензолу. Сировиною для цеху є неочищений коксовий газ, сірчана кислота та поглинаюче кам'яновугільне масло. Продукція цеху включає кам'яновугільну смолу, сульфат амонію, сирий бензол та очищений коксовий газ.

Цех очистки коксового газу від сірководню призначений для очищення коксового газу від сірководню, до допустимих екологічних нормативів [4].

До допоміжних цехів належать: ремонтно-механічний цех, що виконують ремонтні роботи та виготовлення запасних частин; паросиловий цех; електроремонтний цех; цех автоматики; залізничний та автотранспортний цехи; центральна заводська лабораторія; лабораторія охорони навколишнього середовища; відділ технологічного контролю; господарський цех; газорятувальна станція; пожежна команда та охорона заводу.

Центральна заводська лабораторія контролює сировину, якість продукції в цехах та стан водно-повітряного середовища. До її складу входять групи: вуглекоксова, хімічна, та контрольна. Лабораторія охорони навколишнього середовища контролює стан стічних вод, викидів в атмосферу, повітряного середовища та рівень шуму на

робочих місцях, забезпечуючи дотримання санітарних норм на всіх ділянках заводу. Відділ технологічного контролю здійснює контроль проб сировини та реактивів, готової продукції, правильності упаковки, маркування та відвантаження продукції, оформляє супровідні документи та сертифікати. ВТК складається з ділянок, що обслуговують групи цехів.

1.2 Аналіз летючих хімічних продуктів коксування

Під час високотемпературного коксування вугільних шихт у коксовій камері, разом з коксом, утворюються леткі хімічні продукти. Ці продукти є складною неоднорідною сумішшю газоподібних і пароподібних речовин, що виникають внаслідок термічного розкладання кам'яного вугілля [15].

Основними леткими продуктами високотемпературного коксування є: коксовий газ, пірогенетична вода, нафталін, аміак, сірководень та інші сірчисті сполуки, ціаністі сполуки, бензольні вуглеводні (сирий бензол), високотемпературна кам'яновугільна смола тощо [12].

Прямий коксових газ, що виходить з коксових камер містить (г/м³):

- Пари води (пірогенетичної і вологи шихти): 250-450
- Пари смоли: 80-150
- Бензольні вуглеводні: 30-40
- Аміак: 8-13
- Нафталін: до 10
- Сірководень: 6-40
- Ціаністий водень: 0,5-2,5

Також, до складу входить сірковуглець (CS₂), сірководень вуглецю (COS), тіофен (C₄H₄S), леткі піридинові основи (0,4-0,6 г/м³), феноли та інші речовини [15].

При переробці прямого коксового газу в цеху уловлювання з нього виділяються основні продукти коксування, і утворюється очищений коксовий газ – зворотній, так як частина його використовується для обігріву коксових печей. Зворотний коксовий газ складається переважно з компонентів (H_2 , CH_4 , CO , CO_2 , N_2 , O_2 тощо), а також залишків сірководню, бензольних вуглеводнів, вуглеводнів неграничного ряду та незначних кількостей оксидів азоту.

Вихід окремих хімічних продуктів коксування з 1 тонни сухої шихти становить:

- Коксовий газ: 14-16%
- Кам'яновугільна смола: 3-4%
- Сирий бензол: 0,8-1,2%
- Сірководень: 0,5-3,5%
- Аміак: 0,26-0,4%

На кожен 1% сірки у вихідному вугіллі в середньому утворюється 360-420 mg/m^3 органічно зв'язаної сірки в коксовому газі. Близько 95% цієї сірки припадає на сірководень, а решта 5% складають органічні сірчисті сполуки, такі як сірковуглець (до 70%), сіркооксид вуглецю (до 30%) [6].

Сірководень – це безбарвний газ з характерним запахом тухлих яєць та є однією з найнебезпечніших складових коксового газу, оскільки він є сильною нервовою отрутою і може призвести до смерті через зупинку дихання. Людина може відчувати запах сірководню при концентрації 0,012-0,03 mg/m^3 . Легкий, але помітний запах з'являється при 1,2-2,3 mg/m^3 , а при концентраціях понад 11 mg/m^3 запах стає менш відчутним і неприємним [6].

Гранично допустима концентрація сірководню в робочій зоні виробничих приміщень становить 10 mg/m^3 . Сірководень відноситься до III класу небезпеки [12].

Під час обробки коксового газу в апаратурах ЦУХПК частина сірководню переходить у надсмольну воду і смолу, більша частина вимивається водою в кінцевих газових холодильниках, а незначна частина розчиняється в поглинальних маслах у бензольних скруберах.

Очищення коксового газу від сірководню є необхідним через екологічні, технологічні та санітарно-гігієнічні вимоги. Видалення сірководню з коксового газу важливе для захисту повітряного басейну від виробничих викидів [15].

Сірководень ускладнює виробництво сульфату амонію, знижуючи його якість, псує поглинальне масло та викликає корозію апаратури і газопроводів. Присутність сірки в продуктах коксохімічного виробництва є небажаною і здебільшого шкідливою.

Очищення коксового газу від сірководню також доцільне для отримання елементарної і колоїдної сірки, сірчаної кислоти та специфічного використання коксового газу.

Однак жодна з традиційних технологій очищення від сірки не здатна повністю видалити органічні сірчисті сполуки з газу.

1.3 Аналіз існуючих методів видалення сірководню з коксового газу

Всі методи очищення горючих газів можна поділити на сухі та мокрі, залежно від агрегатного стану поглиначів.

Сухі методи очищення зазвичай застосовуються при низьких концентраціях сірководню в газі. У промисловості широко використовуються гідрат окису заліза та активоване вугілля, а в окремих випадках – марганцеві руди.

Переваги сухої очистки газу активованим вугіллям і гідроокисом заліза полягають у високій ефективності очищення. Активоване вугілля має переваги перед гідроокисом заліза завдяки меншому гідралічному

опору очисної апаратури та меншій металоємності, а також забезпечує більш чисту сірку на виході [5].

Очистка окисом заліза (болотною рудою), також відома як ящикова очистка, полягає в пропусканні газу через тверду сипучу масу, що містить $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Сірководень вступає в реакцію з $\text{Fe}(\text{OH})_3$, утворюючи Fe_2S_3 і FeS . Недоліки методу: необхідність подачі невеликої кількості повітря в газ, громіздка схема процесу, трудомісткі та тривалі операції зі зміни окису заліза, отримана сірка сильно забруднена домішками.

Для процесу ящикової очистки використовують природні окисні руди та гідратовані оксиди заліза, а також штучні очисні маси, отримані осадженням окису заліза на інертному носії. Важливе значення має активність і поглинальна ємність очисної маси.

Очистка газу від сірководню гідроокисом заліза рекомендується для установок невеликої продуктивності та для переробки газу, що містить вуглеводні, які впливають на роботу системи [15].

Методи адсорбції та абсорбції дозволяють лише концентрувати сірководень, витягнутий з газу. Для отримання товарних продуктів, що містять сірку, необхідно поєднання цих процесів з процесами окислення сірководню. Окислювальні методи очищення газу від сірководню засновані на тому, що сірководень є відновником і легко окислюється до елементарної сірки, оксидів сірки, сульфідів і сульфатів, сірчаної кислоти.

Очищення газу від сірководню активованим вугіллям полягає в пропусканні газу через шари активованого вугілля з додаванням кисню та невеликої кількості аміаку, що слугує каталізатором. На поверхні вугілля відбувається реакція між сірководнем і киснем з утворенням елементарної сірки [12].

Температура при адсорбції не повинна перевищувати 40°C . Виділена сірка забиває пори активованого вугілля, поступово знижуючи його активність. Регенерація вугілля проводиться обробкою його

розчином сірчистого амонію, який екстрагує сірку з пор вугілля з утворенням полісульфідів. Регеноване вугілля після вилучення адсорбованої сірки і продування парою знову використовується для газоочистки. Витрата активного вугілля становить 10-12 кг на 1 т сірки.

Вихід елементарної сірки при регенерації вугілля досягає 95% від вмісту в газі. Переваги методу: висока ступінь очищення, можливість отримання товарної сірки високої якості. Недоліки методу: необхідність великих витрат на придбання активованого вугілля для первинного завантаження системи, можливість застосування лише для очищення мало сірчаного газу з вмістом сірководню не більше 3-5 г/м³. Для досягнення оптимальної концентрації сірководню в газі перед очисткою застосовують рециркуляцію частини очищеного газу для розбавлення вхідного газу, що збільшує витрату енергії [5].

Адсорбційно-каталітичні методи використовуються для очищення промислових викидів від діоксиду сірки, сірководню та сіркоорганічних сполук. Каталізатором окислення діоксиду сірки в триоксид і сірководню в сірку служать модифіковане активоване вугілля та інші вуглецеві сорбенти. У присутності парів води на поверхні вугілля в результаті окислення SO₂ утворюється сірчана кислота, концентрація якої в адсорбенті залежить від кількості водяної пари при регенерації вугілля.

Активаторами цієї каталітичної реакції є водяна пара і аміак, що додається до очищеного газу в кількості ~0,2 г/м³. Активність каталізатора знижується в міру заповнення його пір сіркою. Коли маса S досягає 70-80% від маси вугілля, каталізатор регенерують промиванням розчином (NH₄)₂S. Промивний розчин полісульфіду амонію розкладають гострою парою з отриманням рідкої сірки [12].

Каталітичні методи набувають все більшого поширення завдяки глибокому очищенню газів від токсичних домішок (до 99,9%) при порівняно невисоких температурах і звичайному тиску, а також при дуже малих початкових концентраціях домішок. Ці методи дозволяють

утилізувати реакційну теплоту, створюючи енерготехнологічні системи. Установки каталітичного очищення прості в експлуатації і малогабаритні. Недоліком багатьох процесів каталітичної очистки є утворення нових речовин, які потребують видалення з газу іншими методами (абсорбція, адсорбція), що ускладнює установку і знижує загальний економічний ефект.

Перспективним сухим методом є окиснення виробничих газів, що містять сірководень, озonom. Для прискорення реакцій можливе проведення гетерогенного окиснення сірководневмісного газу озonom за наявності ефективних сорбентів-каталізаторів. Використання озону дозволяє проводити глибоку та швидку очистку при порівняно низькій температурі – 25°C. Його ще називають плазмохімічним, він ґрунтується на пропусканні через високовольтний розряд повітряної суміші з шкідливими домішками [12].

Мокрі методи очищення газів від сірководню поділяються на: окислювальні, кругові та комбіновані.

Для видалення сірководню з газу при мокрій очистці використовують миш'яково-содові розчини, етаноламіни, розчини фосфатів, калію тощо. Процес мокрої очистки газу від сірководню складається з двох етапів. На першому етапі газ обробляється розчином поглинача, який циркулює в системі та абсорбує сірководень. У міру насичення розчин втрачає здатність до абсорбції сірководню, частково виводиться з циклу і замінюється свіжим.

На другому етапі розчин поглинача регенерується для відновлення його абсорбційної здатності. Регенований поглинач знову використовується для очищення газу. Під час регенерації з розчину виділяється сірководень (або продукти його взаємодії з поглиначом), а також інші домішки. Виділений сірководневий газ очищується від бризок розчину і передається для подальшого використання [5].

В окислювальних процесах використовують поглиначі (водні розчини карбонатів, соди тощо), які окислюють сірководень до елементарної сірки. У комбінованих процесах як поглинач зазвичай застосовується розчин аміаку, який разом із сірководнем утворює сульфат амонію при каталітичному окисненні. У кругових процесах використовують слабкі луги, які зв'язують сірководень у сульфіди, а потім відганяють його від поглинального розчину в незмінному вигляді.

Миш'яково-содовий метод очищення коксового газу від сірковмісних сполук полягає у використанні розчину білого миш'яку (As_2O_3) в аміачній воді або кальцинованій соді як поглинача [15].

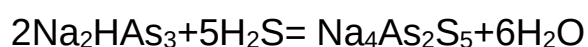
Процес приготування поглинального розчину включає кілька етапів:

Розчинення білого миш'яку в розчині кальцинованої соди або аміачній воді з утворенням кальцинованої солі:



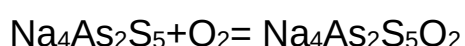
Процес триває 2-3 години при температурі 90-95°C.

Обробка розчину газом, що містить сірководень, призводить до сульфування миш'яковистокислого натрію та утворення миш'яковистого натрію:



Розчин циркулює через скруббер до завершення сульфування, що відбувається при співвідношенні миш'яку та сірки 1:2,5.

Продувка розчину сульфомиш'яковистого натрію повітрям. Кисень окисляє миш'як з тривалентного до п'ятивалентного стану, утворюючи оксисульфомиш'яковокислий натрій:

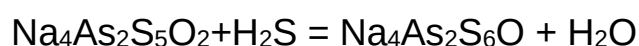


Отриманий розчин оксисульфомуш'яковокислого натрію є робочим поглиначом.

Основні недоліки методу включають викид сірководню в атмосферу та значну витрату соди. Тому доцільніше застосовувати метод з тепловою регенерацією поглинаючого розчину.

Процес миш'яково-лужного очищення складається з двох основних етапів:

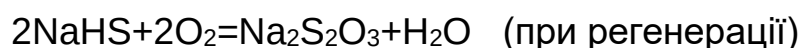
Уловлювання, де газ промивається в скрубєрі поглинальним розчином, де кисень оксисульфомуш'яковокислого натрію заміщується сіркою, утворюючи сульфомуш'яковонатрієву сіль:



Регенерація: Насичений сіркою розчин продувається повітрям у регенераторі. Кисень окисляє один атом сірки в сульфомуш'яковій солі натрію, виділяючи елементарну сірку та перетворюючи сульфомуш'якову сіль на оксисульфомуш'якову, відновлюючи поглинальні властивості розчину:

Елементарна сірка відділяється, і розчин знову використовується для уловлювання. Таким чином, процес полягає в чергуванні заміщення кисню сіркою (уловлювання) і сірки киснем (регенерація).

Співвідношення соди та миш'яку визначається лужністю розчину, яку необхідно підтримувати постійно. Підвищення лужності через збільшення вмісту соди може призвести до побічних реакцій:



Гіпосульфїт і роданистий натрій накопичуються в розчині, тому частину розчину доводиться замінювати свіжим.

Зменшення лужності послаблює побічні реакції, але може призвести до випадання сірчистого миш'яку з розчину. При уловлюванні сірковмісних сполук слабкою кислотою лужність розчину зменшується, що може спричинити осадження сірчистого миш'яку в скруберах. Зниження вільної лужності також знижує поглинальну здатність розчину, що вимагає збільшення його кількості на скрубери [15].

Лужність розчину визначається співвідношенням між натрієм і миш'яком. Зазвичай це співвідношення підтримується на рівні 2,5 - 5,3 до 1. Водневий показник рН після регенерації розчину повинен становити 7,8-8,0. Значення рН насиченого розчину може змінюватися з часом. [5]

Оптимальна швидкість абсорбції досягається при співвідношенні $\text{As}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{S}$ не менше 9-10, але краще працювати при співвідношенні 18-20, що досягається збільшенням концентрації поглинального розчину до 14-16 г/л As_2O_3 . Подальше підвищення концентрації вимагає збільшення тривалості регенерації, що не завжди можливо. Перевага процесу – глибоке очищення газу від сірковмісних сполук [12].

Вакуум-карбонатні (ВК) установки для очищення від сірководню є досить стійкими до зниження співвідношення $\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$, оскільки вони уловлюють не більше 10% CO_2 , що міститься в коксовому газі. Проте, навіть при такому рівні селективності, зменшення кількості сірководню може ускладнити підтримання стабільного горіння кислого газу в котлах для виробництва сірчаної кислоти. Підвищення селективності вилучення сірководню сприяє збільшенню теплонапруженості топки котла та дозволяє ефективніше використовувати додаткове тепло за рахунок спільного спалювання кислого та коксового газів. При нестачі сірководню в кислому газі, низька температура продуктів горіння після топки обмежує введення достатньої кількості охолоджуючого повітря,

що не дозволяє досягти надлишку кисню для каталітичного окислення SO_2 до SO_3 [15].

При використанні кислого газу ВК-процесу для отримання сірчаного амонію зниження співвідношення $\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$ в коксовому газі ускладнює отримання продукції необхідної концентрації. Присутність CO_2 є важливою умовою для отримання кондиційного продукту. Однак надмірне підвищення селективності вилучення H_2S призводить до зниження ступеня очищення коксового газу від сірководню, що є неприпустимим у більшості випадків [12].

У практиці застосовують вакуум - содовий і вакуум - поташевий методи. Хімізм і технологічне оформлення обох методів однакові. Розходження між методами засновано на різній розчинності солей натрію та калію, а звідси - і різної концентрації застосовуваних поглинальних розчинів [15].

Сірководень, що утворюється, відсмоктується одночасно з водяною парою вакуум - насосом; при цьому рівновага реакції порушується, і вона йде в праву сторону до кінця. Розкладання гідросульфідів та виділення сірковмісних сполук відбувається тільки доти, поки в розчині присутній бікарбонат натрію, що при нагріванні може також розкладатися по реакції:



Розкладання його відбувається пропорційно температурі, чим вона вище, тим інтенсивніше йде процес розкладання. У відсутності бікарбонату гідросульфід розкладається по наступній реакції:



Відповідно до цієї реакції, у розчині залишається 50% сірки, що значно погіршує процес уловлювання. Тому бікарбонат необхідно охороняти від розкладання та берегти для реакції з гідросульфідом. Щоб витиснути сірководень із поглинального розчину.

Вакуумна регенерація поглинального розчину, хоча й ускладнює схему, є все-таки необхідною.

Амінові методи очищення коксового газу від сірковмісних сполук використовуються для видалення H_2S , CO_2 та інших сірковмісних сполук. Вони також застосовуються для очищення зріджених вуглеводневих газів, видалення CO_2 з синтез-газу та очищення димових газів [15].

Вибір типу аміну та концентрації водного розчину є критично важливими параметрами для ефективного очищення. Основні типові масові концентрації розчинів амінів: діетаноламін (ДЕА), 20-25% для видалення H_2S і CO_2 . Метилдіетаноламін (МДЕА), 30-55% для селективного видалення H_2S у присутності CO_2 , видалення H_2S і CO_2 з активатором (піперазин). Діглікольамін (ДГА), 50% для видалення H_2S і CO_2 і до 70% «легких» меркаптанів. Моноетаноламін (МЕА), 20% для видалення H_2S і CO_2 , 32% для видалення переважно CO_2 .

Для методу з використанням МЕА хемосорбентом є водний розчин моноетаноламіну з концентрацією 15-30%. Вищі концентрації МЕА застосовуються лише з високоефективними інгібіторами корозії. Розчини МЕА забезпечують тонке очищення газу від H_2S і CO_2 в широкому діапазоні концентрацій. Моноетаноламін важче регенерується порівняно з іншими амінами, але менше поглинає вуглеводні [15].

Основні недоліки МЕА включають високу реакційну здатність до органічних сполук сірки, що призводить до утворення побічних продуктів, та високу корозійну активність розчинів. Первинні аміни не

слід використовувати, оскільки це призводить до утворення важко регенованих сполук, що знижують абсорбційну ємність.

МЕА легко окислюється, утворюючи α -аміноальдегід, гліцин, гліколієву кислоту, щавлеву кислоту та мурашину кислоту, що призводить до корозії та утворення нерозчинних солей заліза, які можуть забивати апаратуру.

Температурні умови регенерації розчинів МЕА обмежені високим тиском насичених парів, що прискорює побічні реакції, та низькою константою дисоціації сульфідів МЕА при відносно низьких температурах. Це призводить до високої залишкової концентрації H_2S і CO_2 в регенованому розчині МЕА.

Хемосорбційні методи, серед яких амінові є найважливішими, широко застосовуються для очищення вуглеводневих газів від сірководню та інших кислих компонентів. Кожен з них має свої переваги та недоліки. У промисловості вибір методу залежить від комерційної і технічної доступності аміну, а також від фізико-хімічних характеристик поглинального розчину [15].

Основні недоліки МЕА, це висока корозійна активність розчинів, реакція МЕА з H_2S може протікати в присутності слідів кисню з утворенням тіосульфату етаноламіну, легко окислюється, при потраплянні органічних кислот в абсорбер, що викликає піноутворення.

Таким чином, незважаючи на переваги, такі як глибока очистка і мала абсорбція вуглеводнів, процес МЕА має ряд істотних недоліків, це великі втрати від випаровування, піноутворення в присутності рідких вуглеводнів, інгібіторів корозії і механічних домішок [15].

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ КОКСОВОГО ГАЗУ ВІД СІРКОВОДНЮ НА ВУЗЛІ АБСОРБЦІЇ ЦЕХУ СІРКООЧИЩЕННЯ

2.1 Загальна характеристика ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»

Однією з головних проблем Дніпропетровської області є забруднення повітря, спричинене діяльністю металургійних та хімічних підприємств.

Геологічні умови створювало всі передумови для будівництва великого металургійного підприємства. Саме будівництво підприємства розпочалося навесні 1887 року. 2 березня 1889 року була запущена перша доменна піч, ця дата вважається днем народження Дніпровського металургійного заводу [1].

Коксохімічний завод розпочав в серпні 1927 року з будівництва коксових батарей, як частини металургійного заводу. 8 лютого 1931 року вже отримали перший кокс, це стало днем народженням заводу [1].

Вуглезбагачувальна фабрика та дві коксові батареї системи «Дістікок» з 40 камерами кожна, проектною потужністю 415 тис. тонн металургійного коксу на рік, цехи уловлювання і переробки смоли були введені в експлуатацію 18 березня 1931 року. Друга черга – три коксові батареї по 45 камер в кожній, цехи уловлювання і ректифікації – вводилися в експлуатацію протягом 1932-1933 років [1].

Велика робота із впровадження передових технологій, підвищення якості продукції, що випускалася, і поліпшення економічних показників була проведена на коксохімічному та металургійному заводах у 1950-х – 1980-х роках [1].

У нових економічних умовах обидва підприємства отримали додаткові можливості для модернізації та оновлення виробничих процесів.

На ДКХЗ у 1989 році була введена в експлуатацію нова коксова батарея №1-біс з об'ємом камер коксування 41,6 м³ і потужністю 750 тисяч тонн коксу на рік. Також було введено в експлуатацію 7 первинних горизонтальних газових холодильників, машинний зал цеху уловлювання хімічних продуктів коксування та установку біохімічної очистки стічних вод [1].

У 1997 році для отримання якісних електродних пеків з термообробленої під тиском смоли була реконструйована ділянка дистиляції та виробництва пеку СПЦ. У 2000 році вдосконалили схему підготовки шихти для коксування, ввівши в експлуатацію дробарку №5 для попереднього дроблення складнодробимого вугільного концентрату [1].

У 2007 році була побудована та введена в експлуатацію установка сушіння гранульованого кам'яновугільного пеку продуктивністю 3,5 т/годину. З того ж року ведеться модернізація обладнання бензольного-скрубєрного відділення ЦУХПК, включаючи встановлення нових горизонтальних та вертикальних кожухотрубчастих холодильників та апаратів повітряного охолодження.

У квітні 2011 року введено в експлуатацію кінцевий газовий холодильник та бензольний скрубєр конструкції ГИПРОКОКС.

У 2020 році Дніпровський коксохімічний завод увійшов до складу Групи Метінвест. У липні 2021 року розпочався процес інтеграції ПАТ "Дніпровський металургійний комбінат" у ПРАТ "ДКХЗ". У лютому 2022 року об'єднане підприємство отримало назву ПРАТ "КАМЕТ-СТАЛЬ" [1].

На сьогодні ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» є підприємством з повним металургійним циклом, яке включає агломераційне, доменне, сталеплавильне, коксохімічне, прокатне виробництво та допоміжні

цехи. Підприємство оснащено великою кількістю механічного та електричного обладнання, а також залізничним і безрейковим транспортом. Фото підприємства (рис. 2.1, 2.2).



Рисунок 2.1 Металургійне виробництво ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»
(фото взято з офіційної сторінки ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» [1])



Рисунок 2.2 Коксохімічне виробництво ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»
(фото взято з офіційної сторінки ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» [1])

Основне виробництво включає в себе ключові технологічні підрозділи, кожен з яких виконує певну функцію у створенні кінцевої продукції.

Агломераційний цех виготовляє шихту для доменного цеху, забезпечуючи необхідні компоненти для плавлення.

Доменний цех призначений для виплавки чавуну, який надалі використовується в конвертерному цеху для виробництва сталі.

Конвертерний цех здійснює переробку чавуну на сталь, яка надходить у прокатний цех, де формується прокатна продукція різного сортаменту.

Вуглепідготовчий цех відповідає за прийманням, зберігання та підготовку вугільних концентратів для коксування та подачі їх в коксовий цех. Коксовий цех, з вугільної шихти виробляє кокс, необхідний для доменного виробництва.

Паралельно функціонує цех уловлювання хімічних продуктів коксування, що витягує газ з газозбірників коксових батарей та переробляє продукти, отримані з коксового газу. Завершує цей технологічний ланцюг цех сіркоочищення, призначений для очищення коксового газу від сірководню, що сприяє зниженню викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище [1].

2.2 Сутність технологічного процесу очищення коксового газу від сірководню

Цех сіркоочищення призначений для очищення коксового газу від сірководню, до допустимих екологічних нормативів, моноетаноламіновим способом з одержанням готової продукції: коксового газу очищеного та сірка технічної;

Процес очищення коксового газу від сірководню в умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» складається з наступних основних стадій:

- очищення коксового газу;
- редуційно-охолоджувальна установка (РОУ);
- регенерація розчину MEA;

- отримання сірки;
- водооборотний цикл;
- приготування хімічних розчинів;
- кристалізація та накопичення твердої сірки;

Очищення коксового газу: коксовий газ після бензольних скрубєрів цеху уловлювання хімічних продуктів коксування направляється на уловлювання сірководню по газопроводу в абсорбер вихрового типу з двома масообмінними пакетами [6].

На зрошення абсорбера з ємності насосом двома регульованими потоками (на кожен пакет) подається 15% регенований розчин MEA. Коксовий газ і циркулюючий розчин MEA рухаються протитечією.

З абсорбера очищений коксовий газ з об'ємною часткою H_2S надходить в колектор коксового газу, що передає очищений коксовий газ споживачеві (гараж розморожування, коксові батареї КЦ, котельня ТСЦ, трубчасті печі, ЦУХПК і СПЦ) [6].

Розчин MEA, насичений H_2S CO_2 , надходить в нижню частину абсорбера звідки через гідрозатвір стікає в ємність. Ємність так само виконує функцію збірки розчину MEA при зупинці абсорбера на ремонт.

З ємності насичений розчин MEA насосом направляється на регенерацію.

Наведена схема очищення коксового газу (рис. 2.3)

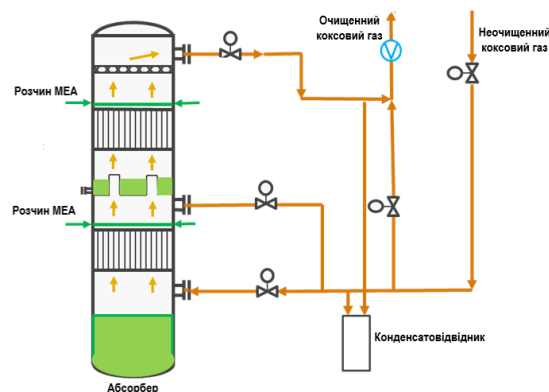


Рисунок 2.3 Схема очищення коксового газу

Редукційно-охолоджувальна установка (РОУ): в якості теплоносія для підігріву насиченого розчину МЕА використовується насичена водяна пара тиском $4\div 7$ атм. і температурою $220\div 300^{\circ}\text{C}$, що надходить з мереж підприємства.

Для приведення цих параметрів до необхідних встановлена редукційно-охолоджувальна установка продуктивністю 15 т/год вторинного пара.

Хімоочищена вода, яка використовується для вприскування в перегрітий пар, надходить із заводської установки ХВО. Також можна використовувати паровий конденсат. Загальна жорсткість не повинна перевищувати $0,2$ ммоль/дм³.

Для забезпечення цеху теплофікаційної водою для побутових потреб служить вузол приготування гарячої і теплофікаційної води.

Він укомплектований 2-ма паровими підігрівачами теплофікаційної води з поверхнею нагріву 3 м^2 кожний, робочим тиском $0,6$ МПа; двома ємностями запасу теплофікаційної води і двома насосами подачі мережної води.

Комплектація вузла приготування гарячої води складається з двох едностей з двома пароводяними нагрівачами і двома насосами гарячої води.

Вузол приготування теплофікаційної води розташовується в приміщенні будівлі регенерації, ємнісне обладнання - на відкритому майданчику в залізобетонному піддоні [6].

Регенерація розчину МЕА з ємності насичений розчин МЕА насосом направляється через рекуперативні теплообмінники, де нагрівається до 100°C рекуперативним теплом регенованого розчину, в регенератор [6].

Кислі гази, що виділилися з розчину при проходженні через регулятор рівня, відокремлюються в сепараторі. Гази з сепаратора направляються на 10 тарілку регенератора, а розчин на 18-ю. Тепло,

необхідне для регенерації, забезпечується конденсацією водяної пари в кип'ятильник [6].

Перегрітий пар з мережі заводу подається на РОУ куди на вприскування для охолодження подається паровий деаерований конденсат з ємності насосом.

З РОУ насичений пар підводиться в кип'ятильник, а паровий конденсат з кип'ятильника, пройшовши сепаратор повертається через збірники конденсату в мережу заводу. Кількість пара, що подається на кип'ятильник регулюється автоматично. Процес регенерації проводиться під тиском 0,68 атм. Карбонізація розчину змінюється від 40 г/л до 10 г/л розчину. Температура внизу регенератора дорівнює температурі кипіння 15% розчину, що містить 10 г/л поглинених газів.

Парогазова суміш з температурою до 106°C, що складається з $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$, прямує з регенератора в конденсатор-холодильник (поз. Т-4), де водооборотною водою конденсується волога і охолоджується газорідина суміш до температури 35°C.

З холодильника суміш направляється в колону відмивання кислих газів, поєднану з сепаратором-збірником, де відбувається відділення газів від рідини з одночасною їх відмиванням флегмою (5%-го розчину) від віднесених крапель МЕА. Одна частина флегми з куба колони насосом направляється на зрошення в колону інша в трубопровід насиченого розчину МЕА, що йде на регенерацію [6].

Регенований розчин МЕА з нижньої частини регенератора з температурою до 120°C, віддавши своє тепло в рекуперативних теплообмінниках і охолодившись водооборотною водою в холодильнику, з температурою 35°C стікає в ємність. З ємності регенований розчин МЕА насосом направляється на абсорбер для очищення коксового газу від сірководню. Кислі гази направляються на Клаус-установку для отримання рідкої сірки.

Крім основних реакцій поглинання сірководню і вуглекислоти в процесі очищення протікає ряд побічних реакцій з утворенням не регенованих з'єднань, що призводять до зниження стійкості і поглинальної здатності розчину MEA і його деградації.

Побічні реакції викликаються присутністю в коксовому газі ціаністого водню, кисню та інших компонентів. Ціаністий водень в присутності водню і сірководню утворює роданисту і мурашину солі моноетаноламіна. У присутності кисню MEA реагує з H_2S до тіосульфату моноетаноламіна. Утворені так звані нерегеновані з'єднання MEA не розкладаються при регенерації розчину. Це призводить до їх накопичення в робочому розчині і втрат MEA, погіршує абсорбційні властивості розчину, підсилює корозію обладнання.

Для виведення з розчину нерегенованих комплексів частина його (2% від циркулюючого в системі кількості) виводиться на розгонку. Розчин з температурою $120^{\circ}C$ з регенератора направляється в смоловиделювач, де за рахунок тепла високотемпературного органічного теплоносія проводиться його розгонка. Для розкладання пов'язаного аміну в смоловиделювач додається задану кількість луку (моль/моль аміну). Процес розгону напівбезперервний і проводиться при тиску регенерації в дві стадії. Тривалість першої стадії залежить від кількості домішок в розчині [6].

При накопиченні в смоловиделювачі нерегенованих з'єднань (кубовий залишок) у нього додається вода для зниження в'язкості і можливості відкачування насосом, а подача розчину на розгонку припиняється. Кубовий залишок відкачують насосом в ємність, звідки у міру накопичення відкачують тим же насосом в пересувну тару для відправки на утилізацію. Схемою передбачена можливість зливу кубових залишків з смоловиделювачі безпосередньо в пересувну тару, минаючи ємність.

На вузлу регенерації встановлені ємності свіжого розчину MEA і 10%-го розчину лугу. Приготування цих розчинів проводиться на складі реагентів, звідки їх закачують в ємності вузла регенерації. Свіжий розчин MEA з ємності, що працюють поперемінно, насосом подається на підживлення системи в ємність з циркулюючим регенованим розчином.

Наведена схема регенерації MEA (рис. 2.4)

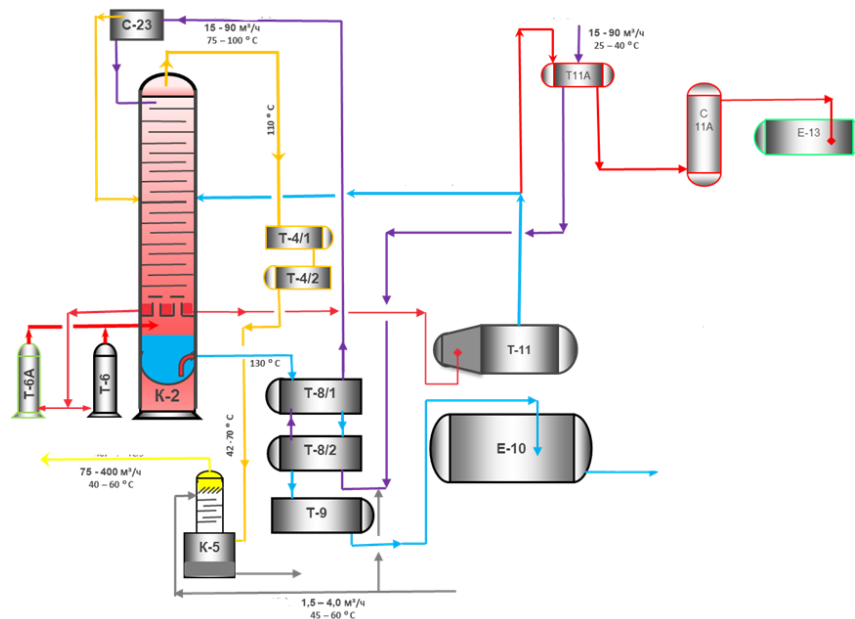
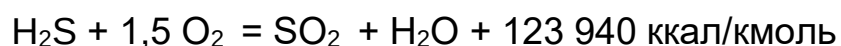


Рисунок 2.4 Схема регенерації розчину MEA

Отримання сірки: процес отримання сірки з сірководню полягає в тому, що спочатку одна третина загальної кількості H_2S спалюється в печі з утворенням діоксиду сірки при температурі $800 \div 1000^\circ C$ по реакції:

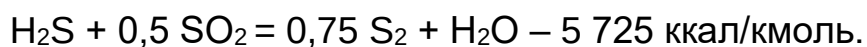


Піч має комбіновану горілку, призначену для спалювання H_2S и для спалювання коксового газу.

Обі горілки з окремим підведенням повітря, щоб температурний режим в печі досягався не за рахунок спалювання більшого, ніж треба кількості H_2S , а за рахунок димових газів що утворюються після спалювання коксового газу.

Для забезпечення необхідного температурного режиму в реакторі каталізу отриманий при спалюванні в печі сірководню газ охолоджується в теплообміннику до 350°C високотемпературним органічним теплоносієм (ВОТ), циркулюючим по замкненому контуру. У якості ВОТ застосовують Термолан-1. Джерелом тепла служать паливневі газі печі спалювання H_2S і печі допалювання хвостових газів H_2S [6].

Охолоджена газова суміш після теплообмінника поступає в реактор 1-го ступеня, де на каталізаторі відбувається взаємодія між діоксином сірки и сірководнем з утворенням сірки:



Температуру в реакторі каталізу встановлюють в межах $250\text{-}300^\circ\text{C}$ з урахуванням можливості конденсації сірки на каталізатор при зниженні температури.

Після реактора 1-ї ступені поступають в конденсатор, де охолоджуються оборотною водою до температури конденсації сірки 130°C . Потім після підігрівання до 250°C в рекуперативному теплообміннику гарячим циркуляційним ВОТ поступають в реактор 2-ї. Рідка сірка після конденсатора стікає в ємність, з якої видається насосом на склад реагентів в ємності

В реакторі 2-х ступені, а потім в 3-ї, і в 4-ї ступені також відбувається виділенням при охолодженні газу водооборотною водою в конденсаторах. Реакційний газ після конденсаторів перед вступом в

цистерн, приготування 15%-го розчину МЕА і 10÷20%-го розчину лугу шляхом розбавлення хімоочищення водою [6].

У приміщенні насосних установок встановлені насоси для розвантаження залізничних і автоцистерн МЕА, приготування і подавання приготовлених розчинів на вузол регенерації, а також подавання розплавленої сірки на кристалізатор чи погрузну в залізно дорожню цистерну.

Залізнична зливо-наливна естакада призначена для розвантаження МЕА і їдкого натру, складається із стояка для зливу-наливу із завантажувальними рукавами: один для МЕА, другий на лугу. Стояк обладнаний механізмом для підйому-опускання рукавів, а також спеціальним теплообмінником для розігрівання МЕА і лугів в залізничних цистернах. Злив із залізничних цистерн – верхній, здійснюється насосом [6].

Також є вузол прийому-вивантаження МЕА, який призначений для прийому моноетаноламіну у бочках (як варіант доставки). Вузол вивантаження включає в себе місткість об'ємом 2м³ та занурюваний насос. Склад складається з восьми горизонтальних місткостей об'ємом 50 м³ кожна.

Моноетаноламіном заповнюється одна місткість, свіжим натром заповнюється місткість. Для приготування розчинів моноетаноламіну і їдкого натру використовують дві місткості. Для збору рідкої сірки на складі використовується три місткості.

Усі місткості мають зовнішні підігрівачі для підтримки необхідної температури. Для відвертання попадання шкідливих речовин в атмосферу газовий простір місткостей складу знаходиться в атмосфері азоту, під “азотним диханням”. Ємнісне устаткування розташоване на відкритому майданчику в залізобетонному піддоні. При протоках рідина збивається в приямки, звідки відкачується пересувним насосом у відповідні ємності або утилізується [6].

Кристалізація і накопичення твердої сірки: рідку сірку із складу реагентів по трубопроводу подають у ванну барабанного кристалізатора вузла твердої сірки. В процесі кристалізації утворюється тверда луската сірка, яка з барабана кристалізатор зрізується спеціальним ножом. Барабан охолоджується оборотною водою з ВОЦ. Зрізана тверда сірка за допомогою шнека, розташованого під барабанним кристалізатором, подається на стрічковий реверсивний конвеєр закритого типу. Далі тверда сірка поступає по конвеєру у бункери-накопичувачі. З бункерів-накопичувачів тверду сірку за допомогою гнучкого рукава завантажують в піввагон для відправки споживачеві [6].

Кристалізатор для отримання твердої сірки розміщений на закритому утепленому майданчику з електрообігрівом, насосне устаткування – у будівлі складу реагентів. Бункери-накопичувачі, реверсивний конвеєр і барабанний кристалізатор знаходяться під азотним диханням в цілях протипожежної безпеки [6].

2.3 Експериментальні дослідження вмісту сірководню в коксовому газі

Визначення масової концентрації сірководню здійснюють методом об'ємного йодометричного титрування. Метод вимірювання базується на уловлюванні сірководню з коксового газу розчином цинку ацетату з утворенням цинку сульфід, розчиненні його в розчині йоду, надлишок якого відтитровують розчином натрію тіосульфату [7].

Методика дозволяє вимірювати масову концентрацію сірководню в діапазоні концентрацій від 0,01 г/м³ до 30,00 г/м³.

Підготовка установки для відбору проби коксового газу: При відборі проби коксового газу збирають систему поглинальних склянок: перші три поглинальні склянки, кожна з яких заповнена розчином цинку

ацетату або кадмію ацетату по 50 см³, для поглинання сірководню; потім дві поглинальні склянки, кожна з яких заповнена розчином сірчаної кислоти з масовою часткою 10% по 50 см³, для поглинання аміаку; потім одна поглинальна склянка з насиченим розчином пікринової кислоти об'ємом 50 см³ для поглинання нафталіну. Об'єм пропущеного газу вимірюють за допомогою газового лічильника [7].

Перед початком відбору проби перевіряють установку на герметичність. Для цього затискачами або краном установку відключають від газового лічильника, потім запускають в установку коксовий газ. Якщо установка герметична, то спостерігаються бульбашки газу, що з'являються на початку проходження його через розчини, повинні швидко зникнути. При негерметичності системи місце, де є нещільність, встановлюють по черзі відключенням складових частин установки і повторною перевіркою герметичності цих частин [6].

Відбір проб коксового газу проводять після перевірки герметичності установки через неї пропускають коксовий газ. Залежно від очікуваної масової концентрації сірководню в коксовому газі відбирають пробу відповідно до рекомендацій у таблиці №2.1.

Таблиця №2.1. Рекомендовані молярні концентрації розчинів йоду та натрію тіосульфату, об'ємна витрата газу та об'єм пропущеного газу для визначення сірководню в коксовому газі.

Масова концентрація сірководню, г/м ³	Молярна концентрація розчину, моль/ дм ³	Кількість пропущеного газу, дм ³	Витрата газу, дм ³ /ч
Від 0,01 до 0,10 включно	0,005	100	25
Понад 0,10 до 1,00 включно	0,1	25	25
Понад 1,00 до 5,00 включно	0,5	25	25
Понад 5,00 до 30,00 включно	1	10	10

Проведення вимірювань: вміст поглинальних склянок з розчином цинку ацетату або кадмію ацетату кількісно переносяться у конічну колбу для титрування місткістю 500 см³, ополіскуючи 50 см³ дистильованої води і зливаючи воду в ту ж колбу. До розчину в колбі додають по 10 см³ розчину оцтової кислоти і розчин йоду при ретельному перемішуванні до появи солом'яно-жовтого кольору розчину, а потім ще 10 см³ розчину йоду [7].

Записують значення доданого об'єму розчину йоду.

Вміст колби перемішують і потім відтитровують не вступивши в реакцію йод розчином натрію тіосульфату в присутності розчину крохмалю.

Далі виконують обробку результатів.

Масову концентрацію сірководню в коксовому газі $p_{\text{H}_2\text{S}}$ розраховують по формулі:

$$p_{\text{H}_2\text{S}} = \frac{M_{\text{H}_2\text{S}} * C_1 * (C_1 * V_1 * k_2 * V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} * k_1) * 1000}{1000 * V_n} \quad (2.1)$$

- де $M_{\text{H}_2\text{S}}$ - молярна маса еквівалента сірководню, дорівнює 17 г/моль;
 C_1 – молярна концентрація розчину йоду та натрію тіосульфату, вибрана в залежності от очікуваної масової концентрації сірководню в коксовому газі, моль/дм³ (по таблиці 2.1);
 V_1 – об'єм розчину йоду с молярною концентрацією, взятого для аналізу, см³ (по таблиці 2.1);
 K_2 – коефіцієнт поправки до молярної концентрації розчину йоду;
 $V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$ – об'єм розчину натрію тіосульфату, передший на титрування надлишку йоду, см³;
 K_1 – коефіцієнт поправки до молярної концентрації натрію тіосульфату;

1000 – коефіцієнт перерахунку сантиметри кубічних в дециметрі кубічні;

1000 – коефіцієнт перерахунку дециметрів кубічних в метри кубічні;

V_n – об'єм пропущеного коксового газу, проведений к значенню об'єму коксового газу при стандартних умовах при температурі 20⁰С та атмосферного тиску 101,3 кПа (760 мм рт. ст.), в дециметрах кубічних, по формулі:

Далі виконаємо розрахунки вмісту сірководню в коксовому газі:

До абсорберу:

$$p_{\text{H}_2\text{S}} = \frac{17 * 0,227 * (0,227 * 10 * 1 * 10 * 1) * 1000}{1000 * 25} = 3,5 \text{ г/м}^3 \quad (2.1)$$

Після абсорберу:

$$p_{\text{H}_2\text{S}} = \frac{17 * 0,086 * (0,086 * 10 * 1 * 10 * 1) * 1000}{1000 * 25} = 0,5 \text{ г/м}^3 \quad (2.2)$$

3 ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ КОКСОВОГО ГАЗУ ВІД СІРКОВОДНЮ НА ВУЗЛІ АБСОРБЦІЇ ЦЕХУ СІРКООЧИЩЕННЯ

3.1 Аналіз роботи обладнання

В результаті вивчення обладнання вузла абсорбції цеху сіркоочищення в умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» та виконання замірів контракції H_2S було встановлено, що даний метод очищення коксового газу моноетаноламіновим способом забезпечує очистку газу до вмісту сірководню $0,5 \text{ г/м}^3$, що відповідає нормативам допустимих викидів затвердженим наказом МІОУ №507 від 29.09.2009 «Про затвердження Технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин від коксових печей» [4].

Однак, в діючих умовах обладнання працює на максимальних можливостях. Та для зменшення навантаження на обладнання, зменшення використання енергоресурсів, та зниження екологічного навантаження, а загалом інтеграції під Європейські стандарти можливо виконати модернізацію системи очищення коксового газу.

3.2 Вибір додаткової насадки

Встановлення додаткової насадки буде ефективним рішенням у модернізації системи очищення коксового газу, що призведе до покращення процес абсорбції, за рахунок збільшення площі контакту між газом та рідиною.

Кільця Рашига (рис.3.1) є порожнистими трубками, довжина яких дорівнює діаметру. Вони забезпечують велику площу поверхні для контакту газу з рідиною. До переваг віднесемо: велику площу поверхні

для контакту газу з рідиною та простота конструкції та виготовлення. З недоліків: це можливість утворення зон застою, що знизить ефективність абсорбції та відносно низька механічна міцність [12].



Рисунок 3.1 Кільця Рашига

Кільця Палля (рис. 3.2) можуть мати прямокутні або трикутні вирізи, що збільшують ефективність абсорбції завдяки кращому розподілу рідини. З переваг це буде кращий розподіл рідини завдяки вирізам, вища ефективність абсорбції порівняно з кільцями Рашига. З недоліків, це складніша конструкція, що може збільшити вартість виготовлення та можливість засмічення вирізів при тривалій експлуатації [12].



Рисунок 3.2 Кільця Палля

Насадка «Спрейпак» (рис. 3.3) призначена для рівномірного розподілу рідини по поверхні насадки. Вона забезпечує високу ефективність абсорбції завдяки своїй конструкції, яка дозволяє рідині

розпилюватися на дрібні краплі, що збільшує площу контакту між газом і рідиною. З переваг: рівномірний розподіл рідини та висока ефективність абсорбції. З недоліків: складність виготовлення та монтажу та висока вартість [12].

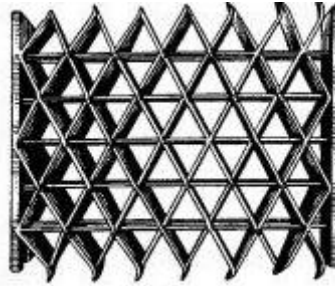


Рисунок 3.3 Насадка «Спрейпак»

Сідла Берля (рис. 3.4) мають форму сідла, що забезпечить велику площу контакту між газом і рідиною. Ця форма сприяє ефективному розподілу рідини та покращить процес абсорбції. Переваги: велика площа поверхні для контакту газу з рідиною та висока механічна міцність. Недоліки це можливість утворення зон застою, а також складність виготовлення [12].



Рисунок 3.4 Сідла Берля

Хордова насадка (рис. 3.5) також забезпечує високу ефективність абсорбції завдяки своїй конструкції, яка створює додаткову турбулентність і покращує процес очищення. Вона складається з хорд, які розташовані таким чином, щоб забезпечити максимальний контакт між газом і рідиною. Переваги: висока ефективність абсорбції та висока

механічна міцність. Недоліки: складність виготовлення та монтажу і вища вартість [12].

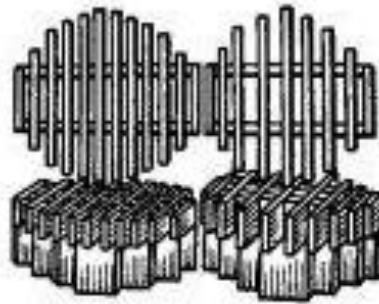


Рисунок 3.5 Хордова насадка

Сідла «Інталлокс» (рис. 3.6) мають форму, що забезпечує рівномірний розподіл рідини та високу ефективність абсорбції. Вони поєднують переваги сидел Берля та інших типів насадок, що робить їх ефективними та надійними. До переваг можливо віднести: рівномірний розподіл рідини та високу ефективність абсорбції. До недоліків: складність виготовлення та монтажу та вища вартість [12].



Рисунок 3.6 Сідла «Інталлокс»

Насадки Гудлое (рис. 3.7) мають високу ефективність очищення коксового газу від сірководню. З переваг: забезпечують максимальний контакт між газом і рідиною, дозволяють зменшити витрати на експлуатацію та обслуговування обладнання, висока механічна міцність

та довговічність насадок забезпечують тривалий термін служби обладнання [12].

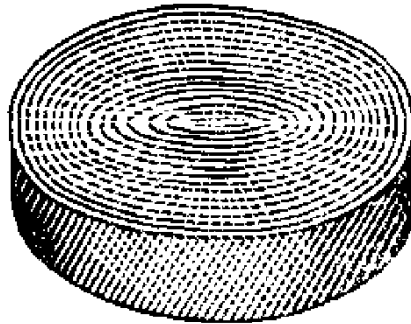


Рисунок 3.7 Насадка Гудлое

Таким чином, різні типи насадок для абсорберів вихрового типу мають свої переваги та недоліки. Вибір конкретної насадки залежить від умов експлуатації.

Проаналізувавши варіанти насадок, вважаю за доцільне виконати варіант з встановленням додаткової насадки Гудлое (рис. 3.7).

Цей варіант є найбільш підходящим в використанні абсорбера вихрового типу при очищенні коксового газу від сірководню. Конструкція насадки забезпечить велику площу поверхні контакту між газом і рідиною, що сприятиме покращенню процесів масообміну. Що дозволяє ефективно видаляти сірководень з коксового газу. Завдяки спеціальній геометрії насадки забезпечить низький опір проходженню газового потоку. Що особливо важливо для процесів із високими витратами газу, оскільки мінімізує енергетичні витрати на перекачування.

Конструкція передбачає мінімальний ризик засмічення, що є критичним при роботі з коксовим газом. Насадка сприятиме рівномірному розподілу розчину по всій площі, що забезпечить більш ефективне вловлювання сірководню і стабільність.

Для виробництва насадки можуть використовуватися корозійностійкі матеріали, такі як нержавіюча сталь або спеціальні пластики, що

дозволяє використовувати її в агресивних середовищах, зокрема в присутності лужних розчинів або амінів, що буде гарантувати довговічність обладнання.

3.3 Розрахунок додаткової насадки в абсорбер

Для виконання розрахунку додаткової насадки в абсорбер вихрового типу, ми використаємо вже зафіксовані параметри режиму роботи існуючого обладнання вузла абсорбції та вивченої технічної документації цеху. Вихідні дані занесено до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Вихідні дані для розрахунку додаткової насадки

Витрата газу $Q_{\text{газу}}$	13 500 м ³ /ч
Початкова концентрація сірководню $C_{\text{до}}$	3,5 г/м ³
Кінцева концентрація сірководню (без насадки) $C_{\text{після}}$	0,5 г/м ³
Кінцева концентрація сірководню $C_{\text{потрібна}}$	0,3 г/м ³
Коефіцієнт масопередачі рідини, k_l	0,0015
Витрата розчину на касету	30 м ³ /ч
Робочий тиск, P	0,026 МПа
Діаметр абсорберу, D	3,016 м
Висота абсорберу, H	20,254 м
Питома поверхня насадки	200 м ² /м ³

Для початку розрахуємо площу поперечного перерізу абсорберу:

$$S = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 = 3,14 * \left(\frac{3,016}{2}\right)^2 = 3,14 * 2,27^2 = 16,19 \text{ м}^2 \quad (3.1)$$

Після чого, розрахуємо швидкість газу в абсорбері:

$$S = \frac{Q_{\text{газ}}}{S} = \frac{13500}{16,19} = 833,76 \text{ м/год} = 0,23 \text{ м/с} \quad (3.2)$$

Масу сірководню, яку потрібно видалити розрахуємо за формулами:

Необхідне зниження концентрації H_2S :

$$C_{\text{H}_2\text{S}} = C_{\text{після}} - C_{\text{потрібне}} = 0,5 - 0,3 = 0,2 \text{ г/м}^2 \quad (3.3)$$

Масова витрату H_2S розрахуємо за формулою:

$$m_{\text{год}} = Q_{\text{газ}} * C_{\text{H}_2\text{S}} = 13500 * 0,2 = 2700 \text{ г/год} = 2,7 \text{ кг/год} \quad (3.4)$$

$$m_{\text{с}} = \frac{2,7}{3600} = 0,75 \text{ г/с} \quad (3.5)$$

Максимальна концентрацію H_2S , яку може поглинути 1 літр розчину МЕА:

$$C_{\text{max}} = 0.4 * 34 = 13,6 \text{ г/л} \quad (3.6)$$

Об'єм рідини, який подається в абсорбер становить $60 \text{ м}^3/\text{год}$, що дорівнює: 60000 л/годину .

Визначаємо загальна кількість H_2S , яку може поглинути розчин МЕА:

$$M_{\text{max}} = Q_{\text{рідини}} * C_{\text{max}} = 60000 * 13,6 = 816 \text{ кг/год.} \quad (3.7)$$

Далі вже розрахуємо об'єм додаткової насадки:

$$V_{\text{насадки}} = \frac{m_c}{k_l * a * C_{H_2S}} = \frac{0,75}{0,0015 * 200 * 0,2} = 12,5 \text{ м}^3 \quad (3.8)$$

Після чого розрахуємо висоту насадки:

$$H_{\text{насадки}} = \frac{V_{\text{насадки}}}{S} = \frac{12,5}{16,19} = 0,77 \quad (3.9)$$

Висновок: для забезпечення очищення коксового газу до потрібної концентрації H_2S , необхідно встановити додаткову насадку об'ємом $12,5 \text{ м}^3$, та висотою шару $0,77 \text{ м}$.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Вищий менеджмент підприємства ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» постійно вдосконалює інтегровану систему управління, впроваджуючи новітні методики, для підвищення ефективності процесів. До цієї системи відносять: екологічне управління та управління охороною здоров'я і безпекою праці (СЕУ та СУОЗ і БП), єдині стандарти для організації та функціонування всіх систем на підприємстві. Вони відповідає міжнародним стандартам ISO 14001:2015 (ДСТУ ISO 14001:2015) та ISO 45001:2018 (ДСТУ ISO 45001:2019).

На підприємстві ідентифікація екологічних аспектів здійснюється з урахуванням виробничих процесів, як на вході (сировина, енергоресурси, матеріали, тощо), так і на виході (продукція, викиди, стоки, відходи).

Розбивання процесу проходить на етапи, які можуть впливати на навколишнє середовище, включає всі виробничі процеси, роботи. Розгляд потенційний впливів проводиться з урахуванням факторів, як забруднення повітря, води, ґранту, утворення відходів, впливи небезпечних та шкідливих факторів на людей, використання, сировини та природних ресурсі, електроенергії та їх економія.

Інформація про порушення технологічних процесів, аварійні ситуації та аварії, нещасні випадки, що сталися за останні 3 роки використовуються для ідентифікації екологічних аспектів. Ідентифікація виконується в умовах: нормальної роботи, аномальних умовах (планові ремонти, запуск чи зупинка обладнання) та аварійних ситуаціях (якщо відбулась чи передбачена).

Під час роботи в умовах, що відхиляються від нормальних, розглядаються всі наявні та потенційні відхилення від стандартного виробничого процесу. Що включає: розробку конструкторської та

технологічної документації з порушенням екологічного законодавства, відсутність контролю за дотриманням чинного екологічного законодавства підрядними організаціями та інші можливі відхилення, які можуть вплинути на екологічну безпеку.

Такий підхід дозволяє виявити та оцінити ризики, пов'язані з відхиленнями від нормальних умов роботи, і вжити необхідних заходів для їх мінімізації.

При аварійних режимах роботи враховуються та аналізуються всі аварії, включаючи потенційні (назріваючі) аварії та ті, що можуть виникнути внаслідок: порушення правил пожежної безпеки, відсутності контролю за роботою обладнання та систем енергопостачання і водопостачання з боку відповідальних за їх технічний стан, грубих порушень технологічних процесів,

Ці аспекти враховуються відповідно до НПАОП 23.1-1.01-08 "Правила безпеки в коксохімічному виробництві". Такий підхід дозволяє виявити та мінімізувати ризики, пов'язані з аварійними ситуаціями, забезпечуючи безпеку та стабільність виробничих процесів.

Всі співробітники, неважливо від їх рівня, приймають участь у процесах на зменшення шкідливого впливу від діяльності підприємства та досягання цілей в галузі ІСУ, та мають свою відповідальність та повноваження.

Невідповідальності можуть виявлені під поточної діяльності структурного підрозділу, наприклад при контролі виробничих процесів, під час аудитів (зовнішніх чи внутрішніх), за результатами перевірок відповідних служб, при аналізі управління ризиків чи аналізі ІСУ, СЕУ та СУОЗ і БП вищим керівництвом.

Якщо оперативне усунення виявлених інцидентів, приписів відповідних органів неможливе, структурних підрозділ, де виявлені невідповідності, складає «План коригувальних дій» за результатами перевірки. В плані зазначають конкретні заходи, відповідальні

виконавці, терміни усунення, а також особи, відповідальні за контроль їх виконання.

Керівники структурних підрозділів несуть особисту відповідальність за розробку та організацію виконання коригувальних дій, необхідних для усунення інцидентів та їх причин. Якщо в реалізації коригувальних дій беруть участь кілька підрозділів, координацію їх дій бере на себе підрозділ, розробивши план коригувальних дій.

Особи, які беруть участь в аналізі інцидентів, невідповідностей, їх причин, плануванні, реалізації та контролі коригувальних дій повинні бути детально ознайомлені з вимогами стандартів підприємства і задокументованою інформацією ІСУ СЕУ і СУОЗ та БП.

Вищий менеджмент для оцінки ефективності та відповідальності поставленим цілям у напрямку охорони праці, охорони здоров'я та екології регулярно проводять аналіз ІСУ, СЕУ та СУОЗ і БП. Відповідальний за вдосконалення та функціонування цього напрямку постійно інформує керівництво про стан системи. Також ці питання регулярно обговорюються на нарадах під керівництвом Генерального директора або нарадах Директора з охорони праці, промислової безпеки та екології. Щорічно керівництво підприємства проводить детальний аналіз ІСУ, СЕУ та СУОЗ і БП для оцінки її результативності та визначення напрямків для подальшого вдосконалення.

В процес аналізу інтегрованої системи управління (ІСУ), системи екологічного управління (СЕУ) та системи управління охороною здоров'я та безпекою праці (СУОЗ та БП) керівництво підприємства включає: збір та підготовку даних для аналізу, аналіз наданої інформації та прийняття рішень, планування та реалізацію заходів щодо вдосконалення ІСУ, СЕУ та СУОЗ і БП. Це включає перевірку відповідності стратегічним напрямкам розвитку підприємства та вимогам стандартів ISO 14001:2015 (ДСТУ ISO 14001:2015) та ISO

45001:2018 (ДСТУ ISO 45001:2019), а також визначення можливостей для покращення та необхідності змін в ІСУ, СЕУ та СУОЗ і БП.

Результати аналізу ІСУ, СЕУ та СУОЗ і БП та обговорення актуальних питань виносяться на нараду, яка проводиться щорічно під керівництвом Генерального директора. Прийняті рішення оформлюються протоколом.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі була вирішена актуально науково-практична задача, що полягала в аналізі існуючої системи очищення коксового газу від сірководню та визначення найкращого варіанту вдосконалення, спрямованого на покращення екологічної ситуації, підвищення ефективності процесу и зниження виробничих витрат.

В роботі вирішені наступні питання:

1. На підставі аналізу існуючого обладнання було встановлено, що метод очищення коксового газу забезпечує очистку газу до вмісту сірководню $0,5 \text{ г/м}^3$, що відповідає затвердженим Технологічним нормативам допустимих викидів забруднюючих речовин від коксових печей.

2. Ефективність роботи вузла абсорбції моноетаноламіновим способом відповідає нормативам, але можливе вдосконалення абсорбційного методу, що дозволить зменшити навантаження на обладнання та знизити екологічне навантаження та досягти підприємству інтеграції під Європейські стандарти.

3. В результаті досліджень пропонується вдосконалення шляховим встановлення додаткової насадки Гудлое для збільшення площі контакту газу та розчину, що призведе до зниження рівня викидів та зменшить шкідливий вплив на довкілля.

4. Керівництво підприємства ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» постійно вдосконалює інтегровану систему управління, яка відповідає міжнародним стандартам ISO.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ПрАТ КАМЕТ-СТАЛЬ. Офіційний інтернет ресурс. URL: <https://dkhz.com.ua/> (дата звернення: 20.01.2025).
2. Наказ №387 від 14.10.2005р «Про затвердження Положення про технічне обслуговування устаткування коксохімічних підприємств.» URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/v0387581> (дата звернення: 21.01.2025).
3. Наказ Міністерство охорони навколишнього природного середовища України від 27.06.2006 № 309 Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/> (дата звернення: 23.01.2025).
4. Наказ Міністерство охорони навколишнього природного середовища України Наказ №507 від 29.09.2009р. «Про затвердження Технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин від коксових печей». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/> (дата звернення: 15.01.2025).
5. Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ) для виробництва чавуну та сталі Директива 2010/75/ЄС «Про промислове забруднення (інтегроване запобігання та контроль забруднення)». Райнер Ремус, Мігель А. Агуадо-Монсоне, Серж Рудье, Луїс Дельгадо Санчо. 2023р. URL: <https://doi.org/10.1016/> (дата звернення: 22.01.2025).
6. Технологічний регламент виробництва очищеного коксового газу та супутніх процесів цеху сіркоочищення (виробнича внутрішня документація) (дата звернення: 23.01.2025).
7. Технічні умови. Газ коксовий очищений. УХІН (виробнича внутрішня документація) (дата звернення: 18.01.2025).

8. Partial oxidation of simulated hot coke oven gas to syngas over Ru-Ni/Mg(Al)O catalyst in a ceramic membrane reactor / H. Cheng et al. *Journal of Natural Gas Chemistry*. 2009. Vol. 18, no. 4. P. 467–473. URL: [https://doi.org/10.1016/s1003-9953\(08\)60137-1](https://doi.org/10.1016/s1003-9953(08)60137-1) (date of access: 17.01.2025).
9. Wiessner F. G. Basics and industrial applications of pressure swing adsorption (PSA), the modern way to separate gas. *Gas Separation & Purification*. 1988. Vol. 2, no. 3. P. 115–119. URL: [https://doi.org/10.1016/0950-4214\(88\)80026-4](https://doi.org/10.1016/0950-4214(88)80026-4) (date of access: 11.01.2025).
10. Шульга І.В. Устаткування підприємств з переробки твердих горючих копалин: посібник [Електронний ресурс] / І.В. Шульга, Д.В. Мірошніченко. – ХарківТернопіль: НТУ «ХПІ», Видавництво «Крок», 2022. – 209 с (дата звернення: 14.01.2025).
11. Best available techniques (BAT) reference document for common waste gas management and treatment systems in the chemical sector - Publications Office of the EU. *Publications Office of the EU*. URL: <https://doi.org/10.2760/220326> (date of access: 10.01.2025).
12. Best available techniques (BAT) reference document for iron and steel production - Publications Office of the EU. *Publications Office of the EU*. URL: <https://doi.org/10.2791/97469> (date of access: 21.01.2025).
13. Правила технічної експлуатації коксохімічних підприємств ПТЕ 2017. Харків: ДП «ГИПРОКОКС», ДП «УХІН», 2017. 274с
14. What are the WHO Air quality guidelines? *World Health Organization (WHO)*. URL: <https://www.who.int/news-room/ho-air-quality-guidelines> (date of access: 20.01.2025).
15. Гичёв Ю.А. Очистка газов. Часть II: Конспект лекций. Днепропетровск: НМетАУ, 2015. 48 с. URL: <https://nmetau.edu.ua/> (дата звернення: 15.01.2025)

Публікація за темою досліджень



International scientific conference

**MININGMETALTECH 2024 – THE MINING
AND METALS SECTOR: INTEGRATION
OF BUSINESS, TECHNOLOGY
AND EDUCATION**

November 28–29, 2024

Volume 2



International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024. Vol. 2. 368 pages.

Program Committee

Chairman of the program committee of the conference – Yuriy RYZHENKOV, General Director, METINVEST HOLDING LLC

Vice-chairman of the program committee of the conference – Oleksandr POVAZHNY, DSc (Economics), Professor, Rector, “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC” LLC

Secretary of the program committee of the conference – Maksym KARAKAI, PhD (Public Administration), Scientific Secretary, “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC” LLC

Oleksandr MYRONENKO – Operations Director, METINVEST HOLDING LLC

Tetyana PETRUK – Director of sustainable development and interaction with personnel, METINVEST HOLDING LLC

Olga OVCHYNNIKOVA – Director of economics and development of business systems, METINVEST HOLDING LLC

Yuliya DANKOVA – Financial director, METINVEST HOLDING LLC

Svitlana ROMANOVA – Director of legal support, METINVEST HOLDING LLC

Andriy YEMCHENKO – PhD (Engineering), Director of technical development, METINVEST HOLDING LLC

Dmytro TEVELEV – Adviser to the general director, METINVEST HOLDING LLC

Oleksandr PODKORYTOV – Director of technology and quality, METINVEST HOLDING LLC

Pavlo UZBEK – Director of the LP, IS, HC and EP department, METINVEST HOLDING LLC

Vitaly KOVALENKO – Director of the Department of Sustainable Development and Environmental Management, METINVEST HOLDING LLC

Marya VASILYEVA – General director, “Metinvest Sichstal” LLC

Gregory MASON – member of the Supervisory Board

Andrii KOSTRYZHEV – Project Manager – Material Characterization Scientist, The University of Queensland

Conference organizing committee

The head of the organizing committee of the conference – Volodymyr KUKHAR, DSc (Engineering), Professor, Vice-rector for research work, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Deputy head of the conference organizing committee – Nataliya REKOVA, DSc (Economics), Professor, First vice-rector – vice-rector for educational work, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Secretary of the organizing committee of the conference – Khrystyna MALII, PhD (Engineering), Head of the research department, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Volodymyr PASHYNSKY – DSc (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Materials Science and Applied Mechanics, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Vyacheslav KAMENETS – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Mining, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Riga, the Republic of Latvia

November 28–29, 2024

Pavlo SAHAIDA – DSc (Engineering), Associate Professor, Professor at the Department of Digital Technologies and Project-Analytical Solutions, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Oleksiy KOYFMAN – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Automation, Electrical and Robotic Systems, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Oleg KRUSHYLO – DSc (Engineering), Professor, Professor at the Department of Labor Safety and Environmental Protection, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Dmytro PIKARENIA – DSc (Geology), Professor, Professor at the Department of Labor Safety and Environmental Protection, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Nataliia HRUDKINA – DSc (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Natural Sciences and General Engineering, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Dmytro ZHERLITSYN – DSc (Economics), Professor, Professor at the Department of Digital Technologies and Project-Analytical Solutions, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Each author is responsible for content and formation of his/her materials.

The reference is mandatory in case of republishing or citation.

Riga, the Republic of Latvia

November 28–29, 2024

The prospects of using the constructed wetland for decontamination of the aquatic ecosystems from radiation pollution Yesipova N.B.	190
Overview of some of the results of the educational technical and environmental practice at a steelmaking enterprise Zhelezniak Ye.M., Repin M.V., Maksymova N.M.	193
Analysis of the system of standards and standards for environmental protection Zhelezniak Ye.M., Cheberiachko Yu.I., Maksymova N.M.	195
Evaluation of the environmental efficiency of the improvement of the coke gas purification system from hydrogen sulfide at coke chemical production Kopiika I.V.	199
Development and implementation of an effective automated monitoring system within the sanitary protection zone in accordance with European standards Lobko M.R.	200
Aridization of the lands of Ukraine Miniailo D.O.	202
Overview of the factors of the influence of military actions on the environment Navolniev I.Yu., Maksymova N.M.	206
Impact of mining operations on the development of man-made fractures in crystalline rocks Pikarenia D.S., Orlinska O.V.	211
Ecological and economic feasibility study of the implementation of the ACS in transport for reduction of emissions into the atmosphere Pinchuk O.M., Maksymova N.M.	215
Normative and methodological aspects of metrological support for environmental monitoring of industrial emissions Podobnyi A.D., Cheberiachko Yu.I., Maksymova N.M.	218
On the importance of cultivating environmental awareness among vocational education students Romashyna V.V., Davydov S.M.	220
Ways to reduce dust emissions at a concrete production plant Stepanenko O.M.	223

Riga, the Republic of Latvia

November 28–29, 2024

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-182>

**EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL EFFICIENCY
OF THE IMPROVEMENT OF THE COKE GAS PURIFICATION
SYSTEM FROM HYDROGEN SULFIDE
AT COKE CHEMICAL PRODUCTION**

**ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕННЯ
СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ КОКСОВОГО ГАЗУ
ВІД СІРКОВОДНЮ НА КОКСОХІМІЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

Korika I.V.,

*Student (group 183-23-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Korika I.B.,

*студент гр. 183-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

У сучасних умовах розвитку важкої промисловості значно зростає увага до екологічних аспектів та необхідності зменшення викидів шкідливих речовин, особливо в хімічній та металургійній сферах. В коксохімічному виробництві під час отримання коксу утворюється значна кількість побічних газів, зокрема, сірководень (H_2S), викиди якого в атмосферу призводять до забруднення повітря, ґрунтів і вод, створюють загрози для екосистем та в силу токсичності вкрай негативно впливають на здоров'я людей. Удосконалення систем очищення коксового газу від сірководню стає пріоритетом для сучасного коксохімічного процесу, яке прагне не лише підвищити ефективність, але й зменшити екологічне навантаження.

Для аналізу ефективності різних способів та методів газоочистки використовувалися лабораторні дослідження шкідливих викидів H_2S , що дозволяє прогнозувати вплив певних технологій, зокрема абсорбційного методу розчину моноетаноламіну (MEA), на загальний рівень забруднення.

Результати показали, що вдосконалення існуючих систем очищення газу може суттєво знизити обсяги викидів H_2S – в деяких випадках на 30-50%, залежно від обраної технології. Наприклад, використання біологічних методів очищення дозволяє досягти стійкого зниження рівня H_2S з мінімальними витратами на енергію, тоді як хімічні методи більш швидкі, але потребують більше ресурсів. Метод MEA є одним з

найефективніших – він добре абсорбує H_2S та має можливість регенерування розчину абсорбенту.

Модернізація системи очищення коксового газу є важливим кроком до екологічної безпеки в коксохімічному виробництві. Для абсорбційного методу MEA необхідна модернізація конструкції абсорберу шляхом виготовлення додаткових насадок – це збільшить площу контакту газу та рідини і підвищить ефективність абсорбції. Дане рішення значно знизить рівень викидів H_2S , зменшить шкідливий вплив на довкілля, покращить умови праці для працівників, допоможе досягти екологічних стандартів, позитивно вплине на репутацію підприємства, що прагне до стійкого та екологічно відповідального розвитку.

TSC-2829136-MIP dated 29.11.2024

CERTIFICATE

mip metinvest
polytechnic*Ihor KOPIIKA**for Participation in the International scientific-technical conference*

MININGMETALTECH 2024 - The mining and metals sector: integration of business, technology and education

November 28–29, 2024*Total: 15 hours — 0.5 ECTS credit*

Oleksandr POVAZHNYI
Doctor of Economics, Professor
Rector of LLC "TECHNICAL UNIVERSITY
"METINVEST POLYTECHNIC

