

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

| | |
|----------------|-------------------------------------------|
| ННІ/факультет | Навчально-науковий технологічний інститут |
| Кафедра | Хімічних технологій та інженерії |
| Спеціальність | 161 Хімічні технології та інженерія |
| Форма навчання | денна |

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Павленко Лілії Володимирівни

на тему Аналіз та шляхи зменшення витрат поглинального масла
для вилучення бензольних вуглеводнів

за матеріалами КХВ ПАТ « АрселорМіттал Кривий Ріг»

науковий
керівник

к.т.н.



Шмельцер К.О.

(підпис)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 13.06.2025 р. № 16

Завідувач кафедри



(підпис)

к.т.н., доцент

К.О. Шмельцер

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
 НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
 Кафедра Хімічних технологій та інженерії

Рівень вищої освіти бакалавр
 Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
(шифр і назва)

Завідувач кафедри ЗАТВЕРДЖУЮ
Хімічних технологій та інженерії
(підпис) Шмельцер К.О. доцент, к.т.н.
(посада, вчене звання, прізвище, ініціали)
« 2 » червня 20 25 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Павленко Лілії Володимирівни





(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Аналіз та шляхи зменшення витрат поглинального масла для вилучення бензольних вуглеводнів
 керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Шмельцер Катерина Олегівна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

- затверджені наказом вищого навчального закладу № 238-ст від «4» квітня 2025 р.
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2024
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи бакалавра Техніко-економічні показники роботи КХВ ПАТ «АМКР»
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
- 4.1 Аналітична частина: сирий бензол, показники якості, галузі застосування. Фізико-хімічні основи процесу абсорбції бензольних вуглеводнів з коксового газу. Вплив технологічних чинників на ефективність процесу. Якісні характеристики абсорбентів, причини погіршення якості та шляхи стабілізації
- 4.2 Основна частина: технологічна схема процесу вилучення бензольних вуглеводнів, параметри роботи бензольно-скруберного відділення. Вибір та обґрунтування ефективного устаткування та корегування температурного режиму для зменшення витрат поглинального масла для вилучення бензольних вуглеводнів
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
 Завданням графічний матеріал не передбачений

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|----------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 1 Аналітична частина | Шмельцер К.О., доцент |  |  |
| 2 Основна частина | Шмельцер К.О., доцент |  |  |

7. Дата видачі завдання «21» квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи | Примітка |
|-------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|----------|
| 1. | Аналітична частина | 12.05.25 | |
| 2. | Основна частина | 26.05.25 | |
| 3. | Оформлення пояснювальної записки | 30.05.25 | |
| 4. | Подання роботи до кафедри | 02.06.2025 | |
| 5. | Захист роботи в ЕК | 18.06.2025 | |

Здобувач


(підпис)


(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи


(підпис)


(прізвище та ініціали)

*Примітка. Бланк друкується з обох сторін на одному аркуші.

АНОТАЦІЯ

Павленко Л.В. Аналіз та шляхи зменшення витрат поглинального масла для вилучення бензольних вуглеводнів – Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія». Державний університет економіки і технологій. Кривий Ріг, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена вдосконаленню технології вилучення сирого бензолу з коксового газу шляхом зменшення витрат поглинального масла.

У кваліфікаційній роботі бакалавра встановлено, що найпоширенішим методом уловлювання бензольних вуглеводнів з коксового газу є абсорбційний метод, який має ряд переваг перед іншими методами - високу ступінь вилучення, простоту апаратного оформлення, можливість відновлення властивостей абсорбенту, безперервність роботи установки.

Зазначено, що при абсорбції масло взаємодіє з коксовим газом і поглинає не тільки бензольні вуглеводні, але і агресивні компоненти коксового газу. Вміст цих компонентів у газі приблизно такий: роданіди - 1106,0 мг/л, ціаніди - 75,1 мг/л, ферроціаніди - 500,7 мг/л, сірководень - 1425,3 мг/л.

За даними аналізу кам'яновугільного масла на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» встановлено, що вміст фенолів у ньому заходиться в межах 0,6-0,8 %. Також в процесі роботи відбувається зміна фізико-хімічних властивостей масла, зменшення його поглинальної здатності, внаслідок процесів полімеризації.

Кваліфікаційною бакалаврською роботою рекомендовано комплексно з регенерацією проводити промивку масла водою для виведення агресивних водорозчинних компонентів з нього і покращення його якості. Це дасть можливість видалити агресивні водорозчинні сполуки, що накопичуються, у маслі; знизити корозію апаратури дистиляції та уловлювання бензольних

вуглеводнів; сповільнити процеси ущільнення (полімеризації) масла, зменшити кількість виведеного масла, знизити питому витрату масла.

Ключові слова: коксовий газ, бензольні вуглеводні, абсорбція, поглинальне масло, промивка, регенерація.

ЗМІСТ

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП | 9 |
| 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА | 11 |
| 1.1 Склад коксового газу та його підготовка до вловлювання бензольних вуглеводнів | 11 |
| 1.2 Аналіз методів вилучення бензольних вуглеводнів з коксового газу | 16 |
| 1.2.1 Адсорбційний метод вилучення бензольних вуглеводнів з коксового газу | 18 |
| 1.2.2 Виморожування бензольних вуглеводнів при підвищеному тиску | 19 |
| 1.2.3 Абсорбційний метод вловлювання бензольних вуглеводнів | 23 |
| 1.3 Якість поглинального масла | 25 |
| 1.4 Висновки до аналітичної частини | 26 |
| 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА | 27 |
| 2.1 Обґрунтування вибору технологічної схеми вловлювання бензольних вуглеводнів абсорбційним методом | 27 |
| 2.2 Дослідження причин утворення агресивних компонентів в поглинальному маслі та зміни фізико-хімічних властивостей масла | 31 |
| 2.3 Аналіз методів регенерації і промивки поглинального масла та особливості їх апаратного оформлення | 38 |
| 2.3.1 Регенерація поглинального масла паровим методом | 40 |
| 2.3.2 Регенерація поглинального масла вогневим методом | 42 |
| 2.3.3 Промивка поглинального кам'яновугільного масла водою | 44 |
| 2.4 Розробка раціональної схеми промивки масла з метою виведення агресивних компонентів з поглинального масла | 50 |
| 2.4.1 Технологічна схема промивки масла | 51 |
| 2.4.2 Вибір екстрагента для промивки масла | 51 |
| 2.4.3 Вибір кількості промивної води для екстракції | 51 |
| 2.4.4 Вибір кількості поглинального масла для промивки | 56 |

| | | |
|-------|----------------------------------------------|----|
| 2.4.5 | Визначення кількості тарілок промивача масла | 57 |
| 2.4.6 | Вибір температури процесу екстракції | 57 |
| 2.5 | Висновки до основної частини | 58 |
| | ВИСНОВКИ | 63 |
| | СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 65 |

ВСТУП

Технологія уловлювання та переробки хімічних продуктів коксування - це складний багатостадійний процес, що вирізняється у світовій практиці різноманіттям реалізованих варіантів і постійно вдосконалюється.

Хімічні продукти коксування мають велике значення як джерело сировинної бази для хімічної та інших галузей промисловості, що обумовлено масштабністю коксохімічного виробництва, широким асортиментом продукції, що випускається, та, у низці випадків, її унікальністю.

Коксохімічні продукти використовують як проміжні продукти для анілінофарбової промисловості, зв'язуючих у виробництві електродів, шпалопросочувальних масел, будівельних матеріалів, сировини для виробництва технічного вуглецю (сажі), добрив, пестицидів (колоїдної сірки тощо), лікарських препаратів, базових продуктів у виробництві полімерів і т.д.

Одним з цінних продуктів є сирий бензол (СБ), який представляє собою складну суміш хімічних сполук. Вилучення сирого бензолу здійснюється поглинальним маслом при тиску, близькому до атмосферного, у бензольному відділенні цеху вловлювання.

Головною умовою ефективної роботи бензольного відділення є якісні характеристики масла. У разі багаторазового використання масел збільшується їхня в'язкість і густина. Це призводить до збільшення витрат енергії на їх перекачування і нагрівання, поряд зі зменшенням коефіцієнта абсорбції бензольних вуглеводнів і коефіцієнта теплопередачі в системі теплообміну. Тому для нормальної роботи бензольних установок необхідно підтримувати стабільність фізико-хімічних властивостей масел (молекулярна маса, в'язкість і густина).

Поглинальне масло сорбує з коксового газу, поряд із бензольними вуглеводнями, ціаністий водень, аміак і солі амонію. При переході

коксахімічного підприємства на роботу з відкритого на закритий оборотний цикл кінцевих газових холодильників концентрація цих домішок в оборотній охолоджувальній воді зростає: аміаку і солей амонію - в 2 рази; сірководню - в 1,5 рази; тіоціанатів і ціанідів - в 3-5 разів. Причому поглинання цих речовин з коксового газу збільшується за наявності в поглинальному маслі навіть невеликої кількості емульгованої води.

Отже, для забезпечення високої ефективності процесу абсорбції бензольних вуглеводнів з коксового газу та забезпечення високих техніко-економічних показників роботи бензольного відділення актуальною задачею є розробка і впровадження технологічних прийомів по стабілізації якості поглинального масла.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Склад коксового газу та його підготовка до вловлювання бензольних вуглеводнів

Для вловлювання хімічних продуктів коксування застосовують наступні основні процеси:

- 1) охолодження прямого коксового газу і конденсація значної кількості водяної пари, що міститься в його складі, та смоли;
- 2) очищення газу від туманоподібної смоли в електричному полі високої напруги;
- 3) хемосорбційні процеси, що відбуваються при вловлюванні з коксового газу аміаку, піридинових основ і сірководню;
- 4) сорбційні процеси, що протікають при вловлюванні бензольних вуглеводнів і нафталіну з коксового газу поглинальними маслами (кам'яновугільним, соляровим);
- 5) процеси десорбції, що протікають при видаленні бензольних вуглеводнів з поглинальних масел, фенолів і аміаку з надсмольної води.

Усі ці процеси здійснюються у вловлюючих цехах коксохімічного підприємства.

Отримані в цеху вловлювання сирий бензол і кам'яновугільна смола не є однорідними хімічними речовинами, а є багатоконпонентні системи, що потребують додаткової спеціальної переробки для виділення з них індивідуальних, вільних від домішок продуктів. Тому, до складу коксохімічних заводів, окрім цехів, в яких уловлюються хімічні продукти коксування, входять і переробні цехи: цех ректифікації сирого бензолу і смолоперегінний цех.

Основними процесами які проходять в цеху ректифікації сирого бензолу, є очищення його від ненасичених і сірчаних сполук сірчаною

кислотою або каталітичним гідруванням і ректифікація з отриманням кінцевих товарних продуктів.

У смолопереробному цеху, окрім основних процесів дистиляції і ректифікації, важливе місце в технології переробки кам'яновугільної смоли займають процеси кристалізації, фільтрування або фугування, пресування під високим тиском, а також хімічне очищення окремих фракцій смоли від фенолів і піридинових основ.

Для виділення з коксового газу водню, метану, етилену або вузьких фракцій, необхідних для синтезів аміаку, метанолу, моторних палив, можуть знайти ефективне застосування процеси адсорбції за допомогою синтетичних цеолітів, що характеризуються високою вибірковістю дії. Значна інтенсифікація процесів уловлювання хімічних продуктів, зменшення розмірів апаратури може бути досягнута при проведенні їх під тиском, а також із застосуванням холоду [3].

Бензолні вуглеводні є одними з важливих продуктів, на яких базується промисловість органічного синтезу. В усіх технічно розвинених країнах спостерігається тенденція до постійного підвищення попиту на бензол, толуол, ксилоли, які є головними продуктами, що виробляються з сирого бензолу.

В сучасній Україні з розвинутою коксохімічною промисловістю та обмеженими промисловими запасами нафти коксохімічна промисловість є головним постачальником бензолних вуглеводнів. Проте, значне скорочення об'єму виробництва коксу та нестабільність сировинної бази коксування, веде до поступового зниження випуску цієї важливої сировини та погіршенню її якості.

Вилучення сирого бензолу є важливим етапом підготовки коксового газу до енергетичного використання на коксохімічному виробництві та за його межами.

Окрім отримання цінної ароматичної сировини, яка використовується для виробництва окремих продуктів (бензолу, толуолу, ксилолу), при

уловлюванні бензольних вуглеводнів з газу відбується ще декілька процесів, які підвищують якість газу, а саме:

- охолодження та конденсація водяної пари;
- зниження вмісту нафталіну в коксовому газі з 0,8-1,0 до 0,15-0,4 г/м³, що важливо як для процесу подальшого сіркоочищення газу, так і для захисту опалювальної арматури від відкладень;
- зниження вмісту сіркоорганічних сполук у коксовому газі (CS₂, COS, тіофену).

Видалення сіркоорганічних сполук в умовах постійного підвищення екологічних вимог стає важливою стадією підготовки коксового газу до переробки. Так, авторитетне видання з питань очищення газів [1] свідчить про рівнозначність очищення коксового газу від CS₂ і БВ, а також про наявні випадки проектування спеціалізованих установок для вилучення CS₂ поглинаючим маслом.

У зв'язку з пуском моноетаноламінових сіркоочисних установок важливість стабільності процесу очищення коксового газу від БП підвищується з огляду на незворотні втрати поглинача на утворення сполук, які не регенеруються, з сіркоорганічними компонентами [2].

Уловлювання БУ з коксового газу є широко розповсюдженим процесом, проте дотепер актуальні розробки, що знижують операційні витрати. Також, залежно від ринкового попиту на нафтопродукти, продовжують розглядатися проблеми визначення економічно обґрунтованої глибини вилучення БУ [3]. При проектуванні або модернізації нових установок важливим є вибір між капітальними витратами на рекуперацію тепла (оптимальна поверхня теплообміну) і ціною на продукт, що виробляється [4].

Слід зазначити, що підвищення глибини вилучення БУ з коксового газу, за даними Белова К.А., супроводжується збільшенням вмісту в сирому бензолі сірчистих і ненасичених сполук приблизно на 4 %, що призводить до підвищення втрат бензолу під час миття сірчаною кислотою приблизно

вдвічі. Однак це підвищує собівартість продукції лише за наявності на підприємстві цеху ректифікації сирого бензолу [5].

Сирий бензол, який вилучили з коксового газу, є сумішшю різних хімічних сполук, основними компонентами якої є одноядерні ароматичні вуглеводні - бензол, толуол, орто-, мета- і параксилоли. Крім того, в сирому бензолі містяться в незначних кількостях триметилбензоли (гемелітол, мезітілен і псевдо-кумол), етіл бензол, етілтолуол, а також ненасичені і сірчисті сполуки, піридинові основи і феноли. При абсорбції бензолових вуглеводнів з коксового газу маслами в сирому бензолі містяться також легкі погони поглинального масла і нафталін.

Сирий бензол є прозорою, легкорухливою рідиною слабо-жовтого кольору, яка швидко темніє при зберіганні, в результаті окислення і полімеризації ненасичених сполук в смолянисті речовини. Розчиняючись в сирому бензолі, ці речовини додають йому коричнево-буре забарвлення.

При коксуванні вихід бензольних вуглеводнів лежить в межах 0,8 - 1 % від сухої шихти. При коксуванні шихт, що багаті жирним вугіллям вихід сирого бензолу може досягати 1,2 %. Залежність виходу сирого бензолу від виходу летких речовин в перерахунку на суху масу показані в таблиці 1.1

Таблиця 1.1

Залежність виходу сирого бензолу від виходу летких речовин

| | | | |
|---------------------------------|-------------|-------------|-----------|
| Вихід летких речовин з шихти, % | 20 - 22 | 23 - 25 | 26 - 28 |
| Вихід сирого бензолу, % | 0,75 - 0,85 | 0,90 - 1,00 | 1,0 - 1,2 |

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [1].

До складу сирого бензолу входять різні хімічні сполуки, але велика частина їх знаходиться в незначній кількості і практичного значення немає. Властивість сирого бензолу визначається в основному складом бензольних вуглеводнів, а також ненасичених та сірчаних сполук, кількість яких

залежить від якості шихти що коксується і умов процесу коксування (наприклад, періода і температури коксування).

Сирий бензол сам по собі не знаходить практичного використання і підлягає подальшій переробці в цеху ректифікації для отримання чистих продуктів. У вигляді домішок в сирому бензолі в незначній кількості містяться різні ненасичені сполуки (наприклад циклопентадієн, стирол, кумарон, інден і інші), ще в меншій кількості – сірчані сполуки (головним чином сірковуглець і тіофен) і зовсім мало – насичених вуглеводнів і фенолу.

Склад сирого бензолу може коливатись в значних межах і залежить від складу шихти і технологічних умов коксування. В середньому вміст його окремих компонентів може характеризуватися даними приведеними в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Вміст окремих компонентів в сирому бензолі

| Компонент | Вміст, % |
|---------------------|-----------|
| Бензол | 55 - 75 |
| Толуол | 11 - 22 |
| Ксилоли | 2,5 - 6 |
| Триметилбензоли | 1 - 2 |
| Ненасичені сполуки: | 7- 12 |
| циклопентадієн | 0,6 - 1,0 |
| стирол | 0,5 - 1,0 |
| кумарон | 1,0 - 2,0 |
| інден | 1,5 - 2,5 |
| Сірчані сполуки: | 0,3 - 1,8 |
| сірковуглець | 0,3 - 1,4 |
| тіофени | 0,2 - 1,6 |
| Насичені вуглеводні | 0,6 - 1,5 |

Компоненти сирого бензолу знаходяться в коксовому газі у вигляді парів, уловлювання яких може бути здійснено за допомогою твердих або рідких поглиначів, а також шляхом виморожування при підвищеному тиску [2].

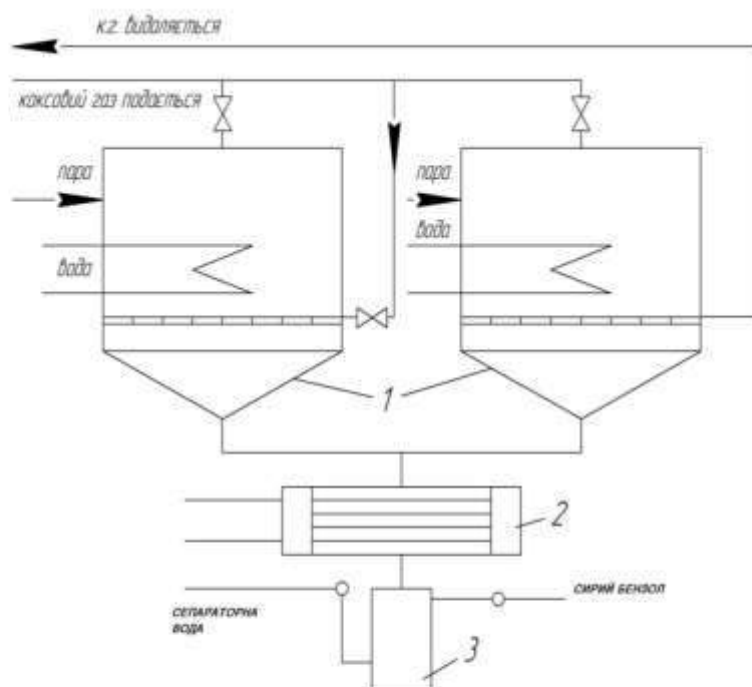
Густина сирого бензолу приблизно становить 900 кг/м^3 , молекулярна маса 83 од. м.

У зв'язку з тим, що вміст бензольних вуглеводнів в коксовому газі невеликий (не відбувається конденсація бензольних вуглеводнів з газу при нормальній температурі та тиску), їх вилучення здійснюють методом абсорбції та адсорбції. В якості поглиначів використовують кам'яновугільні та нафтові масла.

1.2 Аналіз методів вилучення бензольних вуглеводнів з коксового газу

1.2.1 Адсорбційний метод вилучення бензольних вуглеводнів з коксового газу

Адсорбційні методи засновані на поглинанні бензольних вуглеводнів при пропусканні коксового газу крізь шар активованого вугілля або іншого твердого сорбенту (кізельгур, активоване вугілля або силікагель), який володіє розвиненою внутрішньою поверхнею пор. вилучення сирого бензолу активованим вугілля практично повне, що дозволяє використовувати цей метод для лабораторного контролю, тобто для кількісного визначення сирого бензолу в газі. На рисунку 1.1 показана схема вловлювання бензолу активованим вугіллям.



1 - адсорбери, 2 - конденсатор - холодильник, 3- сепаратор

Рис. 1.1. Схема уловлювання бензольних вуглеводнів активованим вугіллям

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [1].

Завдяки тонкопористій структурі тверді сорбенти мають велику внутрішню поверхню, в таких речовинах адсорбція молекул на поверхні доповнюється явищем капілярної конденсації, при якій весь об'єм пор заповнюється рідиною, що утворюється в результаті конденсації парів, що проникають в пори, тому поглинальна здатність активованого вугілля в 10-100 разів перевищує поглинальну здатність масел.

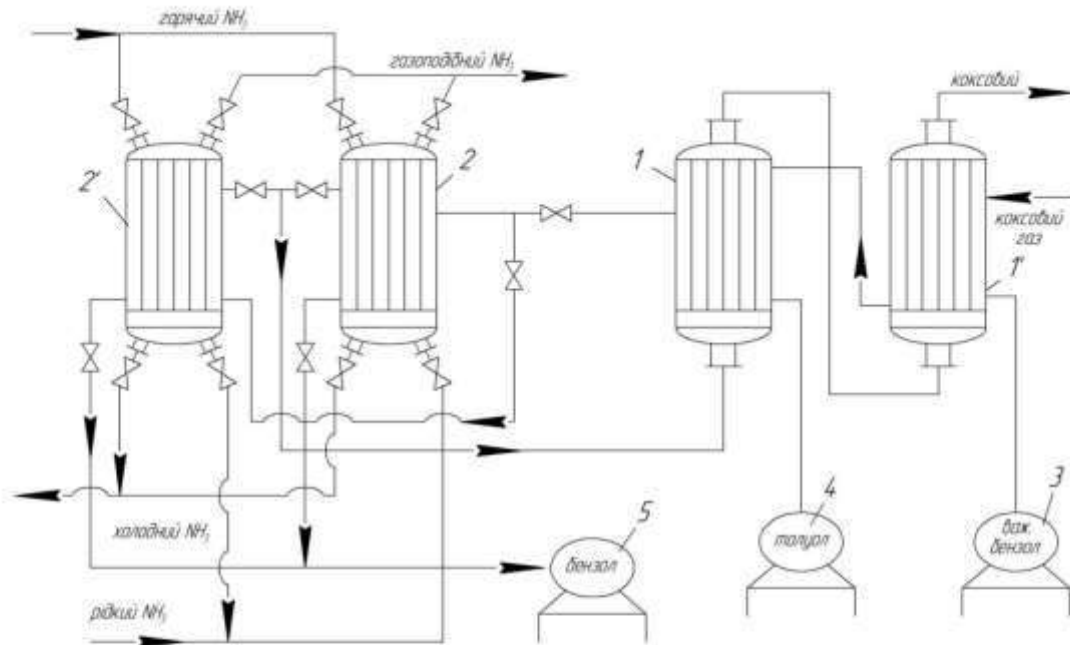
Наприклад, 1 г активованого вугілля має від 200-1000 м² активної поверхні, поверхня 1 г силікагелю досягає 450 м². При пропусканні газу крізь шар активованого вугілля пари бензольних вуглеводнів затримуються в порах останнього до тих пір, поки не настає насичення вугілля бензолом, яке може доходити до 20 % без зменшення його поглинаючої здатності. Виділяють поглинутий бензол продувкою водяним паром [4].

Але промислового застосування цей метод не набув, головним чином через необхідність ретельної очистки газу від смоли, масел, сірковуглецю, періодичності роботи адсорберів і високої вартості поглиначів.

1.2.2 Виморожування бензольних вуглеводнів при підвищеному тиску

Метод заснований на охолодженні коксового газу до низьких температур, при яких він стає насиченим парами бензольних вуглеводнів, і відбувається їх виділення в рідкому або твердому вигляді. Найбільш вигідним з економічної точки зору є виморожування бензольних вуглеводнів при температурі - 45 °С і тиску 8-12 атм. Коксовий газ під тиском охолоджується в декілька ступенів до - 45 °С, при цьому бензольні вуглеводні конденсуються і видаляються з газу. На рисунку 1.2 зображена принципова схема виморожування бензольних вуглеводнів із коксового газу під тиском.

Охолодження відбувається поступово, коксовий газ поступає в між трубний простір теплообмінників 1 та 1", де охолоджується зворотнім коксовим газом з температурою - 45 °С, який рухається по трубах. В теплообмінники 1" при охолодженні до - 5 °С конденсуються водяні пари, нафталін, важкий бензол. В теплообмінники 1 газ охолоджується до -20 °С, при цьому конденсується толуол. Охолодження газу до - 45 °С здійснюється в між трубному просторі аміачних холодильників 2 і 2" за допомогою рідкого аміаку. Ступінь виділення бензольних вуглеводнів 95-99 %, при цьому якість сирого бензолу, яка характеризується долею відгону до 180 °С, складає 96 %, сирий бензол має високу ступінь очищення і не містить сольвент – нафту.



1", 1' – газові теплообмінники, 2", 2 - аміачні холодильники, 3,4,5- збірники конденсату

Рис. 1.2. Схема виморожування бензольних вуглеводнів з коксового газу під тиском

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [1].

Метод виморожування бензольних вуглеводнів також не знайшов практичного застосування через великі затрати електроенергії на стиснення і охолодження коксового газу і необхідності застосування дорогої апаратури [4].

1.2.3 Абсорбційний метод вловлювання бензольних вуглеводнів

Процес абсорбції бензольних вуглеводнів описується законом Генрі:

$$y = H \cdot x \quad (1.1)$$

де y – концентрація речовини в газі над розчином, г/м^3 ;

H – константа Генрі або коефіцієнт розподілення;

x – концентрація речовини у розчині, г/м^3 .

Величина константи Генрі залежить від конкретних умов: складу та якості поглинального масла і сирого бензолу, температури процесу.

Ступінь абсорбції бензольних вуглеводнів залежить від молекулярної маси та в'язкості масла, поверхні абсорбції та часу контакту, тиску в абсорбері (рис.1.3), кількості (витрати) масла, вмісту вуглеводнів, які потрапляють в абсорбер з газом та маслом (дані наведені в таблиці 1.3 і на рисунку 1.5), температури процесу.

Температура залежить від ефективності кінцевого охолодження коксового газу. По температурі коксового газу, який поступає в бензольні скрубери, встановлюють температуру масла. Так, для уникнення конденсації водяної пари та обводнення масла його температура в літній період повинна бути на 2-3 °С вище температури газу, в зимовий період на 5-7 °С. Вплив температури масла t на ступінь абсорбції η та втрати бензольних вуглеводнів α_2 зі зворотнім коксовим газом приведені на графіку 1.4.

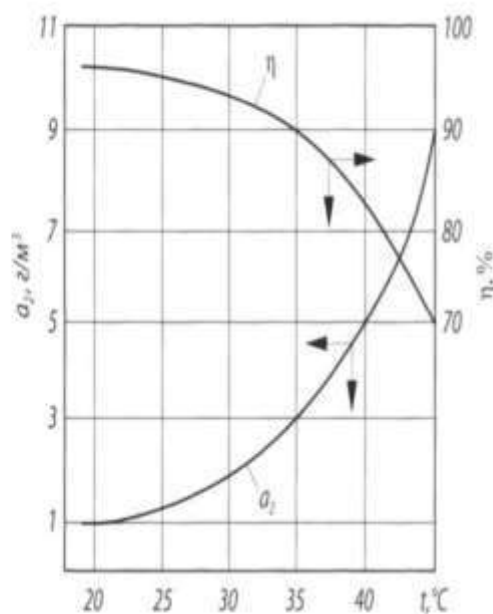


Рис. 1.4. Вплив температури масла t на ступінь абсорбції η та втрати бензольних вуглеводнів α_2 зі зворотнім коксовим газом

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [4].

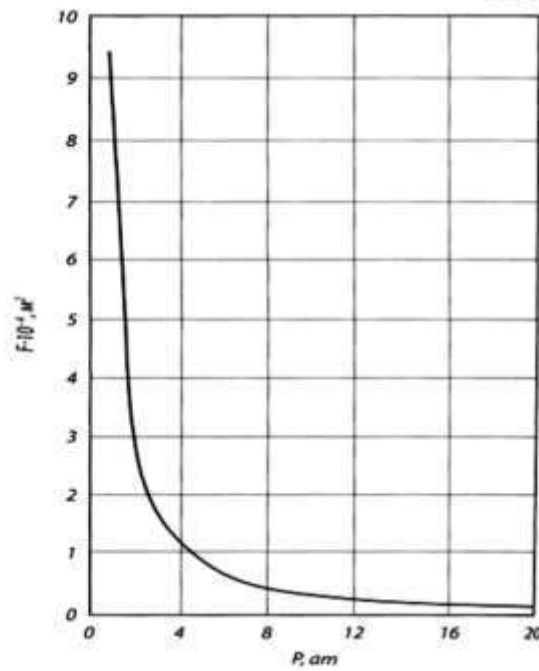


Рис. 1.3. Залежність поверхні насаду (F) бензольного скрубера від тиску коксового газу

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [4].

Таблиця 1.3

Вплив вмісту бензольних вуглеводнів у поступаючому маслі на ефективність абсорбції

| Пара- метри | Вміст бензольних вуглеводнів, $C_1, \%$ | | | | | | |
|----------------|-----------------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| | 0 | 0,18 | 0,25 | 0,3 | 0,35 | 0,4 | 0,5 |
| $\eta, \%$ | 99,0 | 93,56 | 91,5 | 90 | 88,5 | 87 | 84 |
| a_2 | 0,30 | 1,91 | 2,5 | 2,9 | 3,4 | 3,8 | 4,7 |
| a_2/a_2^0 | 0,16 | 1,0 | 1,32 | 1,58 | 1,78 | 2,0 | 2,46 |
| G/G_0 | 1,06 | 1,0 | 0,975 | 0,96 | 0,944 | 0,926 | 0,895 |

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [4].

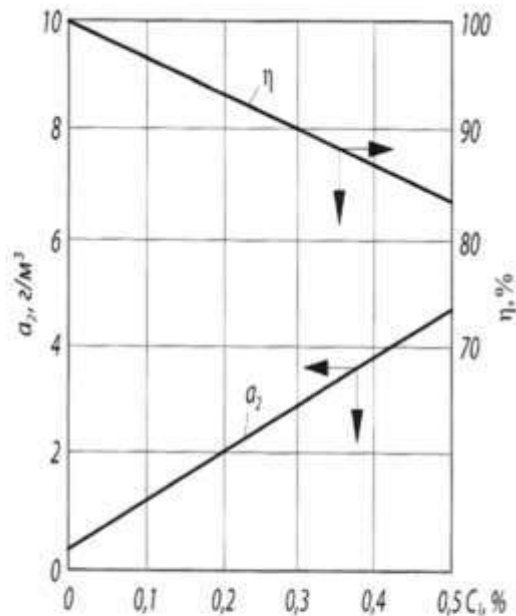


Рис. 1.5. Вплив вмісту бензолних вуглеводнів у поступаючому маслі C_1 на ступінь абсорбції η і втрати їх з газом α_2

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [4].

Втрата масла з коксовим газом (унос) залежить від конструкції зрошувального пристрою: чим тонше розпилення масла, тим більше його унос. Так, унос вуглеводнів після бензолних скрубєрів при швидкості газу в скрубєрах 0,75 м/с складав 100 мг/м³, а при швидкості 0,85 м/с – 150-200 мг/м³ газу. Враховуючи суттєві об'єми газу, який проходить через скрубєр, то втрати сирого бензолу можуть бути досить суттєвими. Тому в бензолно-скрубєрних відділеннях після скрубєрів встановлюють вловлювачі, які представляють собою невеликі скрубєри, заповнені насадом (керамічним).

Правилами технічної експлуатації [5] регламентовані наступні параметри ведення процесу вловлювання бензолних вуглеводнів: ступінь насичення поглинального масла бензолними вуглеводнями в скрубєрах повинна підтримуватись в межах 2-3 % при роботі на кам'яновугільному маслі і 1,5-2 % при роботі на соляровому маслі. Стік поглинальної рідини з

кожного скрубера повинен бути безперервним. Рівень рідини в скрубери або в підскрубєрному збірнику підтримується автоматично або контролюється показником. Кожен зі скрубєрів повинен бути обладнаний аварійним переливом рідини. Засувки на аварійних переливах працюючих скрубєрів повинні бути постійно відкритими. На газопроводах до і після кожного скрубєра повинні бути встановлені контрольно-вимірєвальні прилади, що контролюють температуру газу та опір апаратів. Опір скрубєрів проходженню коксового газу залежить від конструкції, навантаженню апарата по газу і маслу, типу та стану насаду. Нормальний опір абсорбєра, заповненого з дерев'яним хордовим насадом, не повинен перевищувати 600 Па, скрубєра з металєвим насадом ≤ 1000 Па. Подача поглинального масла на скрубєри повинна здійснюватися за принципом протитоку.

1.3 Якість поглинального масла

Обов'язковою умовою ефективної роботи бензольно-скрубєрного відділення є висока якість поглинального масла. Воно повинно характеризуватися високою поглинальною здатністю по відношенню до бензольних вуглеводнів; тиск пари повинен бути низьким, щоб втрати масла з газом після скрубєрів були мінімальними. Масло не повинно поглинати домішки, які містяться в коксовому газі, наприклад ненасичені вуглеводні, які схильні до сополімерізації та окисленню з утворенням високомолекулярних, висококиплячих сполук (полімерів). Його густина повинна відрізнятися від густини води на стільки, щоб забезпечувалося чітке розшарування при відстоюванні. Низька в'язкість масла дозволяє йому добре розподілятися по поверхні насаду, що обумовлює створення оптимального контакту між газом і маслом. Масло повинно бути дешевим та недефіцитним, характеризуватися хімічною стійкістю та низькою окисністю, низькою температурою застигання, невисокою молекулярною масою.

В якості поглиначів використовують кам'яновугільне масло та масло нафтового походження (солярове та газойль). Приблизний склад свіжого кам'яновугільного масла наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

Склад свіжого масла

| Компонент | Вміст, % | Температура, °С | |
|----------------------|----------|-----------------|---------|
| | | плавлення | кипіння |
| Піноутворюючі | 2 | | |
| флуорен | 5 | 115 | 297,9 |
| діфеніленоксид | 13 | 86 | 288 |
| аценафтен | 8 | 95 | 277,5 |
| 1,2-діметилнафталін | 4 | -1,6 | 268,5 |
| 1,4-діметилнафталін | 3 | 16,3 | 265 |
| 2,6- діметилнафталін | 8 | 110 | 262 |
| 2,3- діметилнафталін | 7 | 104,5 | 265 |
| діфенил | 6 | 69 | 255,5 |
| 1-метилнафталін | 10 | -22 | 243 |
| 2-метилнафталін | 20 | 35,1 | 245 |
| нафталін | 12 | 80,3 | 218 |

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [6].

Найбільш цінною фракцією масла ж фракція, яка википає в межах 235-270 °С (метил-, диметилнафталіни); вона має високу поглинальну здатність по відношенню до бензольних вуглеводнів, знижує температуру кристалізації масла та практично не містить сполук, які утворюють полімери. Висококипляча частина масла – фракція 270-300 °С (особливо ≥ 300 °С) найбільш схильна до ущільнення. Враховуючи вплив хінолінів на підвищення корозійної активності масла, вміст їх обмежується. Підвищений вміст низькокиплячих погонів масла приводить до підвищення в сирому бензолі баластних компонентів, так як при дистиляції насиченого

бензольними вуглеводнями масла вони переходять в сирий бензол, збільшуючи вихід сольвент-нафти, киплячої як правило, вище 180 °С. В поглинальному маслі можуть бути присутні і інші сполуки з високою температурою плавлення, наприклад антрацен (216 °С) та карбазол (245 °С). в процесі експлуатації якість масла погіршується через втрату легкокиплячих (найбільш цінних) сполук, ущільнення, утворення полімерів, підвищення температури випадіння осадів.

Зазначені фактори впливають на основні характеристики якості масла

(в чисельнику – свіже, в знаменнику – відпрацьоване):

густина при 20 °С, кг/м³ – 1057/1077

температура початку кипіння, °С – 236/215

відгін до 230 °С, % – 1

відгін до 240 °С, % – 8/1

відгін до 250 °С, % – 20/5

відгін до 260 °С, % – 50/13

відгін до 270 °С, % – 65/40

відгін до 280 °С, % – 80/65

відгін до 300 °С, % – 95/91

вміст нафталіну, % – 14/4

молекулярна маса, г/ моль – 150/163

Недоліком кам'яновугільного масла є нестабільність властивостей при тривалій роботі через полімеризацію ненасичених сполук підвищується густина, в'язкість, молекулярна маса, що приводить до зниження поглинальної властивості. Перевага нафтового масла – більш глибока очистка від нафталіну, за рахунок чого устаткування бензольних відділень менше кородує. Однак вагомим недоліком є утворення шламу при роботі на соляровому маслі. Шлам осідає на поверхні насаду в скруберах, збільшуючи опір газовому потоку, знижуючи ефективність роботи.

На усіх сучасних коксохімічних підприємствах України в якості поглинача використовують кам'яновугільне масло через його високу

поглинальну здатність до сирого бензолу, завдяки чому потрібні менші його витрати, при абсорбції відповідно знижуються витрати на електроенергію для його циркуляції, витрати тепла на нагрів (витрата солярового масла буде становити 2,2 л/м³, а кам'яновугільного – 1,8 л/м³).

Ще однією перевагою кам'яновугільного масла перед соляровим є те що воно є продуктом коксохімічного виробництва і його не потрібно транспортувати на великі відстані [2, 6].

1.4 Висновки до аналітичної частини

Серед розглянутих методів вилучення бензольних вуглеводнів з коксового газу найбільш раціональним визнаний абсорбційний метод. Він забезпечує високий ступінь абсорбції, має просте апаратурне оформлення, порівняно невеликі витрати електроенергії.

Процес абсорбції ведуть при атмосферному тиску, температура повинна бути у межах 25–30 °С, концентрація бензольних вуглеводнів у маслі, що подається на вилучення не повинна перевищувати 0,3 %, дотримання цих технологічних параметрів забезпечує високу ефективність вловлювання бензольних вуглеводнів.

Для коксохімічних підприємств України для вилучення сирого бензолу використовують кам'яновугільне масло. Воно має ряд переваг перед соляровим, а саме більшу поглинальну здатність, дешевизну, менші витрати на циркуляцію і нагрів.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування вибору технологічної схеми вловлювання бензольних вуглеводнів абсорбційним методом

Серед усіх можливих методів вловлювання бензольних вуглеводнів, а саме адсорбційного, виморожування і абсорбційного найбільш ефективним і економічно вигідним є абсорбційний метод. Отриманий даним методом сирий бензол має високу якість, у якості абсорбенту використовують кам'яновугільне масло, що є доступною і дешевою сировиною, витрати на електроенергію порівняно невеликі з іншими методами, можливість відновлення поглинальних властивостей абсорбенту, безперервність процесу. Усі ці фактори вплинули на розповсюдження використання методу абсорбції бензольних вуглеводнів з коксового газу у коксохімічній промисловості.

Уловлювання бензольних вуглеводнів з коксового газу поглинальним маслом відбувається в скруберах, що встановлюються по газовій трасі після кінцевих газових холодильників. Коксовий газ, охолоджений в кінцевому газовому холодильнику, поступає в бензольні скрубери, послідовно проходячи із одного апарата і інший.

На рисунку 2.1 зображена принципова схема уловлювання бензольних вуглеводнів з коксового газу в скруберах.

Обезбензолене поглинальне масло з температурою 27-30 °С подається відцентровим насосом на верхню частину насаду останнього по ходу газу скрубера, стікає по насаді і потім через гідрозакрив відводиться в переточний ящик, звідки насосом подається на наступний скрубери.

Насичене бензолом масло після першого скрубера насосом подається в апаратуру для десорбції бензолу.

Бензольне відділення підприємства ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» було введено в експлуатацію в 1979 р. і увібрало в себе всі передові рішення того часу:

- для нагріву оливи перед дистиляційною колоною застосовано трубчасту піч;
- дистиляційну колону оснащено 23-ма тарілками: 10 шт. в зміцнювальна та 13 шт. у вичерпній частині;
- регенератор оливи виконаний у вигляді апарату колонного типу з 12-ю тарілками.

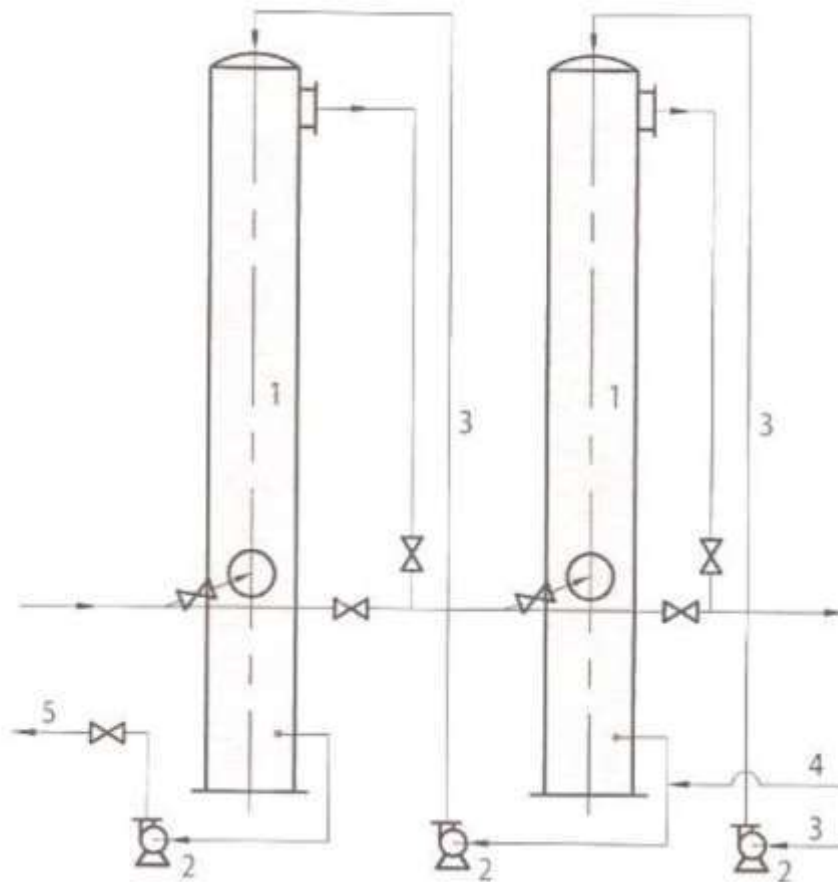
Слід зазначити, що така схема дистиляції багато в чому відповідає актуальним і на сьогоднішній день вимогам щодо економії поглинального масла. Недогрів поглинального масла перед колоною є істотним недоліком багатьох бензольних відділень, особливо у зв'язку з дефіцитом пари необхідних параметрів. При впровадженні трубчастих печей для підігріву поглинальної оливи підкреслювалися переваги більш високого нагріву оливи перед дистиляцією [5]. Завдяки високій температурі знебензоленої оливи, що сходить з колони, нагрівання насиченої оливи відбувається до більш високих температур (до 145 °С). У результаті до остаточного нагріву насиченої оливи відбувається віддування розчинених газів, агресивних сполук і легких ненасичених компонентів масла.

Ця обставина сприяє більшій стабільності поглинального масла та зменшенню інтенсивності корозії бензольної колони.

Газопроводи при скруберах та комунікації для поглинального масла мають відповідні засуви, за допомогою яких можна виключати будь-який з працюючих скруберів, при цьому не порушуючи нормальну роботу скруберної установки в цілому.

Для запобігання обводнення поглинального масла в скруберах, особливо в зимовий час, за рахунок конденсації водяної пари з коксового газу необхідно, щоб температура масла, яке поступає в скрубери, була вище температури газу.

Зазвичай для одного газового потоку встановлюють три скрубери з дерев'яним або хордовим насадом.



1-бензольні скрубери, 2 – масляні насоси,
 3 – комунікації холодного масла, 4 – комунікації гарячого масла,
 5 - комунікації насиченого масла

Рис. 2.1. Схема уловлювання бензольних вуглеводнів з коксового газу в скруберах

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [4].

Для уловлювання бензольних вуглеводнів з коксового газу при атмосферному тиску широкого застосування набули скрубери з дерев'яним хордовим насадом, діаметром 4,0 - 6,0 м, висотою 33,4 - 40,05 м; скрубери з металевим насадом діаметром 5,0 - 5,5 м, висотою 25,4 - 23,066 м, скрубери виготовлюють з сталі.

Для інтенсифікації процесу уловлювання бензольних вуглеводнів з коксового газу в промисловості знайшли застосування апарати з високою інтенсивністю процесу і з малими габаритами: скрубери з плоско паралельною насадкою, абсорбери з листовими насадками, абсорбери з пластинчатими тарілками і з клапанними переливами масла. Ці апарати дозволяють значно підвищити техніко-економічні показники роботи установки.

Одним з факторів інтенсифікації процесу уловлювання бензольних вуглеводнів є використання підвищеного тиску. Пропорційно підвищенню тиску збільшується вміст бензольних вуглеводнів в газі і концентрація цих продуктів в поглинальному маслі також підвищується. Так при звичайних умовах вміст бензольних вуглеводнів в поглинальному маслі становить 2,5 % при тиску 0,8 МПа (8 ат) і 16-20 % при 1,2 МПа (12 ат). З підвищенням тиску збільшується також швидкість абсорбції. Таким чином, при уловлюванні під тиском процес абсорбції значно покращується, знижується норма затрат поглинального масла і необхідна поверхня насадки скрубера.

Для вловлювання бензольних вуглеводнів під тиском використовують тарільчаті абсорбери барботажного типу діаметром 2,8-3 м, висотою 13-16 м. На тарілках такого абсорбера забезпечується добрий контакт газу з маслом, витрати якого невеликі.

Використання методу вловлювання бензольних вуглеводнів під тиском дозволяє на 15-20 % знизити собівартість сирого бензолу, підвищити ступінь його вилучення з газу до остаточного вмісту 0,3 – 0,5 г/м³. Оптимальний тиск складає 0,8 МПа (8 ат). Проте через великі затрати електроенергії на стиск газу, на більшості коксохімічних заводах процес ведуть при атмосферному тиску.

2.2 Дослідження причин утворення агресивних компонентів в поглинальному маслі та зміни фізико-хімічних властивостей масла

Бензольні установки, що працюють, піддаються забрудненню поверхонь масо- і теплообміну з боку коксового газу, охолоджувальної води, оборотного масла. Крім того, коливання обсягів коксового газу і вмісту в ньому БУ призводять до необхідності постійного контролю технологічного процесу не тільки в рамках параметрів технологічного регламенту. Для підвищення ефективності процесу періодично виникає необхідність у розробленні та виконанні спеціальних дослідницьких програм з обстеження установок. Важливими проблемами є зниження витрати пари, питомої витрати поглинального масла, БУ з очищеним коксовим газом. Часто такі обстеження приводять до висновків про необхідність часткової модернізації наявної апаратури бензольного відділення.

За даними підприємств об'єднання «Укркокс»: спостерігаються істотні коливання відношення вироблення полімерів бензольного відділення до виробництва сирого бензолу (СБ). У 2015 р. ця величина, що побічно свідчить про питому витрату поглинальної оливи на абсорбцію БУ, коливалася в межах 130-136 кг полімерів на 1 т СБ.

У загальному випадку, висока витрата поглинального масла пов'язана з перевищенням швидкості утворення полімерів над швидкістю їхнього виведення з обігу, втратами масла з очищеним коксовим газом завдяки краплинному винесенню та випаровуванню, втратами легких погонів масла із сирим бензолом під час дистиляції поглинача. Питома витрата масла може знижуватися в результаті зменшення об'ємів газу, який поступає на очищення, і зменшення виробництва сирого бензолу за інших рівних ключових чинниках, які зумовлюють втрати масла.

Поглинальне масло містить близько 40 азотовмісних компонентів і 16 компонентів фенольного ряду; вона характеризується схильністю до кристалізації під час охолодження і до полімеризації під час нагрівання [6].

Звідси випливає, що стабільність поглинального масла є в тому числі й функцією температурного режиму.

Найбільш інтенсивно полімеризуються фракції з температурою кипіння 280-285 і 396-295 °С. У процесі експлуатації відбувається зниження кількості відгону до 270 °С, що визначає абсорбційні властивості масла: що менша молекулярна маса поглинаючого масла, то вища його поглинальна здатність.

З іншого боку, під час ущільнення масла різниця температур кипіння між БУ і маслом збільшується, що покращує відгонку сирого бензолу під час десорбції.

Користуючись методикою розрахунку процесу [7], можна упевнитися, що зниження середньої молекулярної маси масла вимагає підвищення питомої витрати пари на десорбцію бензольних вушлеводнів.

Таким чином, вплив густини оборотного масла на процес, який ми розглядаємо, загалом, слід розглядати комплексно: з точки зору як абсорбції, так і десорбції БД.

Причинами погіршення якості поглинального масла є наступні:

1. Тривале зберігання і підвищена температура - масло окисляється і полімеризується. Полімеризація характеризує здатність утворювати полімери та шлами з великою молекулярною масою. Цей процес називається «старінням поглинального масла в обороті». Головним джерелом утворення шламу в поглинальному маслі є ненасичені, а також кисень-, азот, сірко вміщуючі сполуки. Кисень і сірководень більше інших компонентів коксового газу прискорюють полімеризацію масла. Наявність у поглинальному маслі ароматичних сполук, що мають більшу реакційну здатність, приводить до ущільнення масла та збільшенню молекулярної маси.

2. Поглинальне масло є корозійно активним продуктом:

- через наявність у ньому аміаку та розчинних солей роданіду амонію NH_4CNS і хлориду амонію NH_4Cl ;

- висока температура нагрівання (вище 130 °С) і наявність води в маслі сприяє збільшенню його корозійних властивостей;

- підвищують корозійну здатність масла ненасичені сполуки, що втримуються в ньому (а також речовини, що містять S, O₂, N, ціан), які поглинаються з коксового газу деякими органічними сполуками.

3. Загустіння працюючого поглинального масла відбувається за рахунок втрат найбільш легких його компонентів зі зворотним коксовим газом і сирим бензолом. Масло спочатку загустіє, а потім кристалізується. Це викликає необхідність підвищення температури уловлювання бензольних вуглеводнів у скруберах.

Аналіз досвіду коксохімічних виробництв дозволив визначити, що зміна якості поглинального масла приводить до:

- до порушення технологічного режиму скрубера і бензольного відділень;
- погіршує ефективність процесів уловлювання бензолу з газу та виділення сирого бензолу.

Зміна якості поглинального масла і пов'язане із цим забруднення апаратури приводять до порушення технологічного режиму скрубера й бензольного відділень, погіршують ефективність процесів уловлювання бензолу з газу й виділення сирого бензолу з насиченого масла. Так з підвищенням температури поглинального масла різко зростають втрати бензолу з газом при абсорбції. При підвищенні температури масла з 30 до 45 °С втрати збільшуються в 4,63 рази й становлять 8,85 г/м³, а продуктивність уловлювання бензольних вуглеводнів зменшується на 26 % [8]. Особливо різко зменшується ступінь абсорбції при підвищенні температури вище 35 °С. Отже, чим вище температура вловлювання, тим вище тиск парів бензолу над маслом і менше повнота вилучення його з газу.

Таким чином, провівши аналіз причин погіршення властивостей поглинального масла, виникає необхідність в заходах, які поліпшать поглинальні властивості масла.

Приблизний вміст компонентів у поглинальному маслі різних проб приведений у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Вміст компонентів у поглинальному маслі різних проб

| Компоненти | Вміст, % в ПМ | | | | |
|-----------------------------------------------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Легкокиплячі сполуки | 1,30 | 2,69 | 2,05 | 1,07 | 2,33 |
| Нафталін, тіонафтен | 15,60 | 19,74 | 16,25 | 16,90 | 18,54 |
| Метилнафталіни, фенол, о-крезол | 15,75 | 13,94 | 14,73 | 17,64 | 16,85 |
| м- і п- крезолі, диметилнафталіни, дифеніл, хінолін | 13,90 | 12,94 | 12,18 | 13,60 | 13,92 |
| Аценафтен, ізохінолін | 16,70 | 22,18 | 22,73 | 19,40 | 16,35 |
| Дифеніленоксид | 13,75 | 14,55 | 15,75 | 13,50 | 14,84 |
| Флуорен | 16,40 | 12,08 | 14,64 | 15,30 | 15,18 |
| Висококиплячі сполуки | 6,65 | 1,88 | 1,72 | 2,60 | 1 |

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [10].

Поглиналине масло являє собою складну систему взаємодіючих між собою компонентів. По визначенню вчених В. Свентославського і Т. Груберського, поглиналине масло це – поліазіотропна суміш, що містить у своєму складі дві і більше серії гомологів і ізомерів, ними також встановлено, що при загальному вмісті сірки в поглинальному маслі (приблизно 0,5 %) тіофенова сірка складає 75 %, а тіофірна 23 % від загального вмісту сірки. Розподілення різних видів органічних сполук сірки по фракціям нерівномірний. Максимальний вміст її міститься у фракціях, що википають при 245-246 °С (монометилнафталінова), 261-264 °С (диметилнафталінова) і 299-308 °С. Поглиналина властивість абсорбенту зворотно пропорційна його молекулярній масі, але при цьому потрібно враховувати кількісний і якісний

склад масла, його фізико-хімічні властивості. Результатами досліджень встановлено, що найбільшою абсорбційною властивістю по відношенню до бензольних вуглеводнів мають фракції, що википають при 240-260 °С. Максимальною абсорбційною властивістю характеризуються моноетилнафталіни, вміст яких в поглинальному маслі, за думкою вченого В. Машек, повинен бути не менше 20 %, а найменшою поглинальною властивістю характеризуються висококиплячі компоненти масла [7].

З підвищенням температури від 20 до 30 °С абсорбційна здатність зменшується в середньому на 33 %. Виходячи із законів фазової рівноваги поглинальна властивість абсорбенту (у нашому випадку поглинального масла) по відношенню до сорбуючих сполук (компоненти сирого бензолу), може бути виражена коефіцієнтом розподілу:

$$K = C_{\text{ж}}/C_{\text{г}}, \quad (2.1)$$

де $C_{\text{ж}}$ – кількість речовини, розчинної в одиниці об'єму рідини (поглинальне масло), $C_{\text{г}}$ - кількість речовини в одиниці об'єму коксового газу.

Для оцінки залежності абсорбційної здатності поглинального масла від його молекулярної маси використовується метод газової хроматографії.

Молекулярну масу розраховують як адитивну величину молекулярних мас, компонентів, що входять до складу масла. Абсорбційну здатність визначають по величині індексу абсорбції A_1 , що зв'язаний прямою залежністю з поглинальною здатністю кам'яновугільного масла.

У таблиці 2.2 показана величина індексу абсорбції A_1 для бензолу при різних температурах.

За даними таблиці 2.2 видно, щ зі зниженням температури індекс абсорбції збільшується.

Згідно ТУ 14-6-117-77, поглинальне масло повинно википати в межах 230-300 °С. При охолодженні воно спочатку загустіває, а потім починає кристалізуватись. Кристали мають сіруватий відтінок, найбільш низьку

температуру кристалізації (- 6 °С) має фракція 230-270 °С. Вміст її в свіжому і працюючому поглинальному маслі Авдіївського коксохімічного заводу відповідно 61,8 і 44 %. Ця фракція є найбільш цінною частиною масла.

Таблиця 2.2

Індекс абсорбції A_1 для бензолу при різних температурах

| Поглиналине масло | Величина індексу абсорбції при різних температурах, °С | | | | |
|--------------------------|--------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 |
| Кам'яновугільне масло | 457 | 550 | 661 | 724 | 945 |

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [4].

Поглиналине масло - доволі стійкий продукт, але при довгому зберіганні, а також при підвищенні температури починає окислюватись і полімеризуватись. Найбільш стійкою до дію кисню є фракція, що кипить в інтервалі 235-265 °С і містить переважно метилнафталіни [8].

Полімерізаційна здатність поглинального масла характеризує його властивість утворювати при контакті з коксовим газом і металевою поверхнею обладнання полімери і шлами. Процес полімеризації і шлакоутворення називають 'старінням поглинального масла в обороті.

Джерелами утворення шламу в поглинальному маслі є ненасичені, а також кисень -, азот - і сірковмісні сполуки (феноли, піридини, нітрили, сірковуглець, тіофен, меркаптани) . Сірковуглець коксового газу сам по собі не є основним фактором полімеризації і шлакоутворення, однак сірка прискорює цей процес, вона утворюється в маслі і газі по реакції:



Найбільш інтенсивно полімеризуються фракції з температурою кипіння 280-285 °С і 285-295 °С. Основними потенціальними джерелами утворення полімерних продуктів в поглинальному маслі є аценафтен, флуорен, інден,

індол і фенатрен. Антрацен утворює на поверхні насадку в бензоловому скрубєрі тверді відкладення і поступово забиває вільний перетин насадку, підвищує опір проходу газу через скрубєр.

Поглиналине масло є корозійним продуктом внаслідок наявності у ньому домішок. В даний час найбільш ймовірним фактором корозії вважають присутність в ньому аміаку і його розчинних солей (NH_4CO_3 і NH_4Cl). Висока температура нагрівання масла і наявність у ньому води підвищують його корозійні властивості.

Фракційний склад та якісні характеристики кам'яновугільного масла, яке використовується на підприємстві ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ілюструє діаграма на рисунку 2.2.

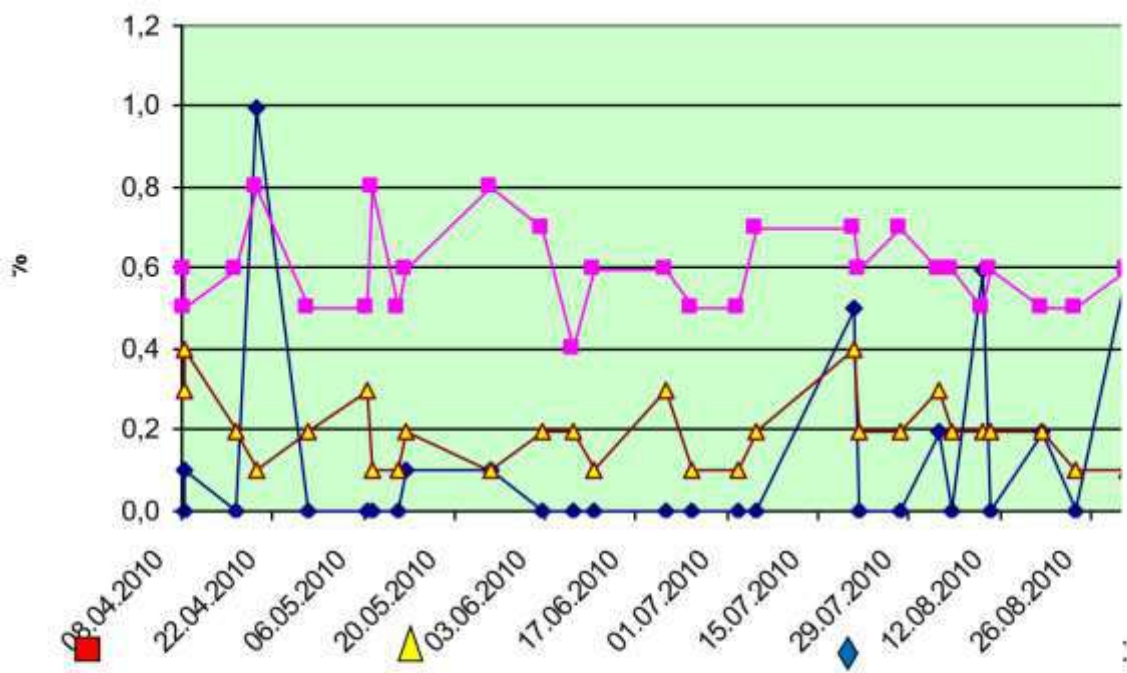


Рис. 2.2. Якісні показники кам'яновугільного масла, яке використовується на підприємстві ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Примітка. Джерело: Розроблено автором

Отже, причини утворення агресивних компонентів та зміни фізико-хімічних властивостей масла:

- наявність в кокосовому газі сірководню і кисню, що сприяють полімеризації ненасичених сполук, що знаходяться в маслі в результаті поглинання їх із газу;

- вміст в коксовому газі смоляного туману, тобто не сконденсованих легкокиплячих частин смоли, які розчиняються в маслі;

- наявність у газі аміаку, який розчиняючись у маслі, сприяє поглинанню сірководню і утворенню сульфідів і елементарної сірки, що прискорюють процес полімеризації;

- багаторазовий підігрів масла до температур, при яких відбувається полімеризація ненасичених сполук, що знаходяться в самому маслі і поглинаються із газу.

Усі ці фактори впливають на змінення фізико-хімічних властивостей масла і утворення агресивних компонентів у ньому, які негативно впливають на поглинальну здатність масла.

Для стабілізації поглинальних властивостей масла здійснюють регенерацію паровим або вогневим методами, що заключається в штучному прискоренні процесів полімеризації при нагріві масла до високих температур або промивку його, при якій відбувається видалення агресивних компонентів із масла [9].

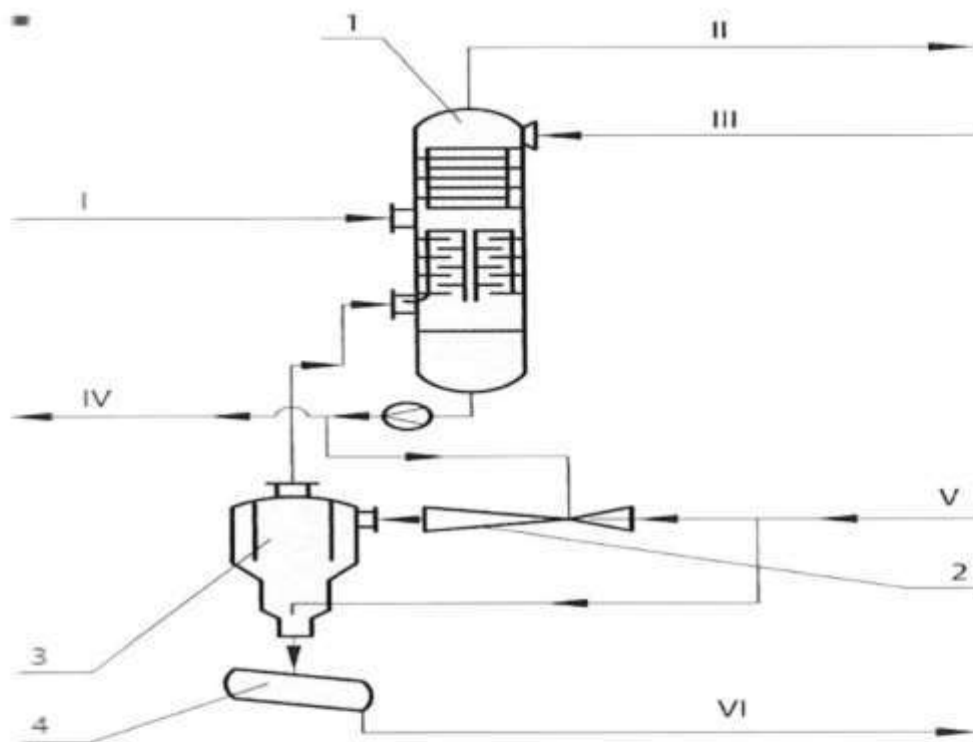
2.3 Аналіз методів регенерації і промивки поглинального масла та особливості їх апаратурного оформлення

2.3.1 Регенерація поглинального масла паровим методом

Паровий метод здійснюється в паровому регенераторі шляхом підігріву масла до 170-175 °С з подальшою відгонкою масла від полімерів великою

кількістю гострої пари. Підігрів масла в регенераторі проводять глухим паром. Схема парового методу регенерації приведена на рисунку 2.3.

Для виведення полімерів із зворотного кам'яновугільного масла частину його (1-1,5 %) подають на регенерацію з насосу гарячого масла після бензольної колони 1, через паровий ежектор в регенератор 3. В нижній частині парового регенератора масла розташована трубка, в яку підводиться пар, що підігриває масло до 170-190 °С. Тиск пари 6-8 атм. В регенератор подається гостра пара, яка барботує крізь масло і випаровує його. Пари масла і водяні пари із регенератора поступають в нижню частину бензольної дистиляційної колони, де масло конденсується, а водяна пара дистилує бензол.



I – гаряче масло із трубчатої печі, II – пари з бензольної колони,
 III – рефлюкс, IV – гаряче масло після колони, V – пар високого тиску,
 VI – полімери, 1 – бензольна колона, 2 – паровий ежектор, 3 – регенератор,
 4 – збірник полімерів

Рис. 2.3. Схема парового методу регенерації поглинального масла

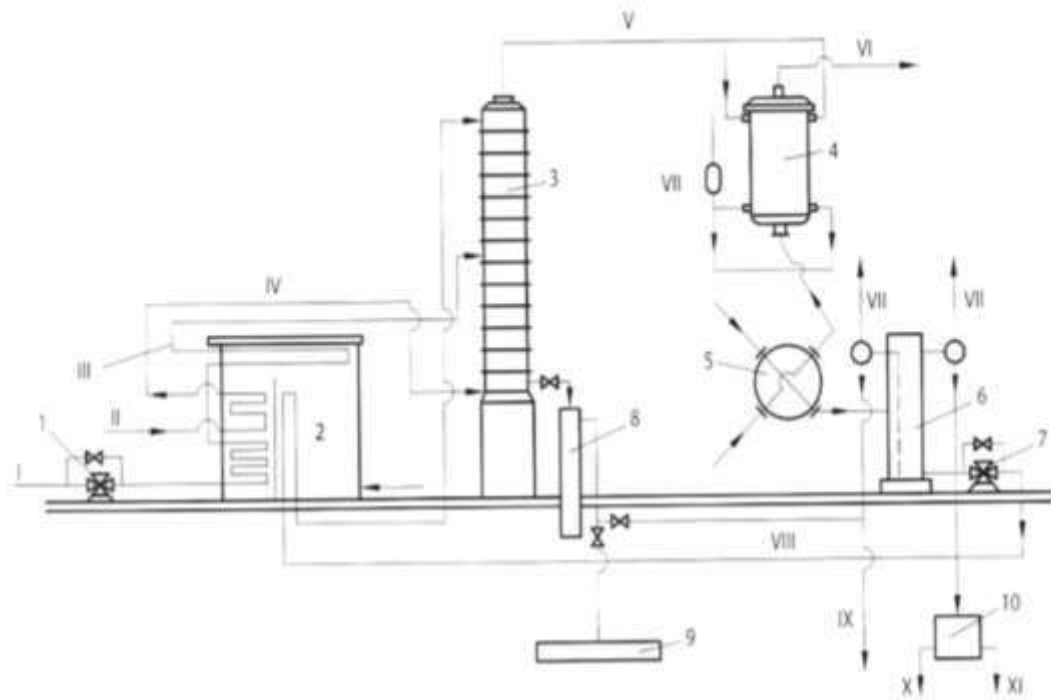
Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [4].

Таким чином метод оснований на тому принципі, що при пропусканні великої кількості пара через масло його можна випарувати, не підігріваючи до дуже високих температур. Густі смоляні речовини кам'яновугільного масла або шлам, що містить солярове масло паром не підіймаються, а накопичуються в нижній частині апарату, звідки потім виводяться в спеціальний збірник полімерів 4.

При регенерації відводиться 10-40 % полімерів від поступаючої кількості масла [6].

2.3.2 Регенерація поглинального масла вогневим методом

Вогневий метод регенерації масла полягає в нагріванні масла до температури 300–310 °С в трубчатих печах продуктами згорання коксового газу. Підігрів до такої високої температури проводиться для прискорення процесу полімеризації ненасичених сполук. Після проходження регенерації масла в трубчастій печі молекулярна маса масла знижується з 190-200 г/моль до 165–170 г/моль. На рисунку 2.4 зображена схема регенерації поглинального масла в трубчатій печі.



I – масло на регенерацію, II – пара, III – гаряче масло, IV – перегріта пара, V – пари із ректифікаційної колони, VI – нагріта вода, VII – викид газів з повітряників, VIII – рефлекс, IX – регеноване масло, X – масло, XI – сепараторна вода, 1,7 – насоси, 2 – трубчата піч, 3 – ректифікаційна колона, 4 – конденсатор, 5 – холодильник, 6- сепаратор, 8 – гідрозатвор, 9 – збірник полімерів, 10 – відстійник сепараторної води

Рис. 2.4. Схема регенерації поглинального масла в трубчатій печі

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [4].

Після виділення бензольних вуглеводнів в дистиляційній колоні масло нагрівається в трубчатій печі до температури 300–310 °С і поступає в ректифікаційну колону 3, де під дією перегрітої пари більша частина масла випаровується і піддається ректифікації.

Полімери стікають в нижню частину колони і відводяться через гідрозатвор 8 в збірник 9. Пари масла і води відводяться зверху колони в конденсатор 4 і холодильник 5. Після відділення води в сепараторі масло повертається в цикл вловлювання, а невелика його частина подається насосом 7 на верхню тарілку колони в якості рефлюксу, полімери додають до смоли.

При роботі печі якість масла достатньо висока, однак капітальні затрати і експлуатаційні витрати на регенераційних установках з трубчатою піччю значно більше ніж на установках з паровим регенератором. По цій причині цей метод отримав обмежене застосування [6].

2.3.3 Промивка поглинального кам'яновугільного масла водою

Як альтернативний метод для стабілізації та підвищення якості кам'яновугільного масла даною роботою пропонується впровадження промивки масла водою. В результаті промивки відбувається:

- видалення накопичених агресивних водорозчинних з'єднань в маслі – сірководню, ціаністого водню, аміаку, фенолів і крезолів, роданідів, залізовмісних комплексних з'єднань аміаку, сірчаних з'єднань аміаку, солей закритого циклу кінцевого охолодження, що потрапляють в масло в результаті бризговиносів, сульфатів, які є каталізаторами процесів полімеризації; хлоридів, альдегідів, кислот і ангідридів кислот.

- зниження корозії апаратури дистиляції і вловлювання бензольних вуглеводнів.

- зниження процесів загустіння (полімеризації) масла, зменшення витрат поглинального масла.

- можливість поєднання промивки масла з процесом охолодження масла дебензине.

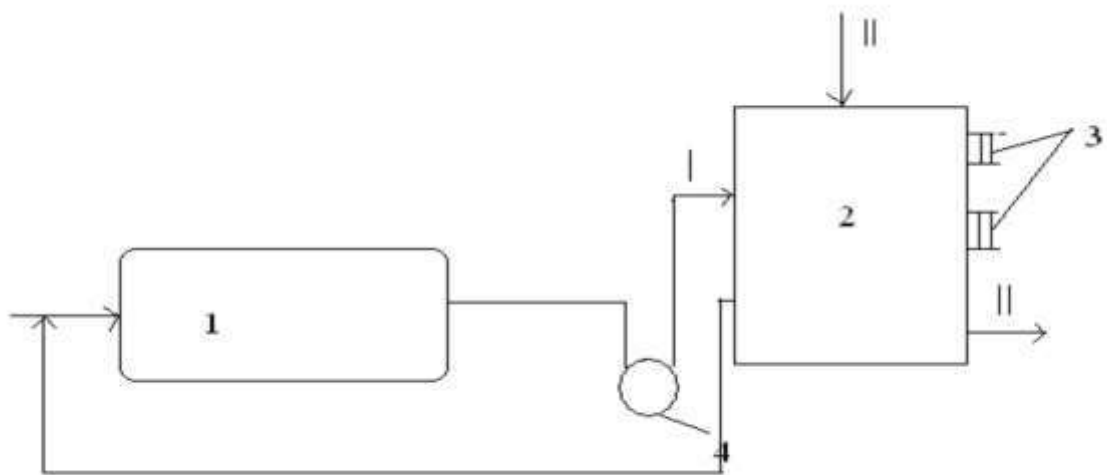
Схема установки промивки поглинального масла приведена на рисунку 2.5.

Промивка поглинального масла на установці проводиться відстояною сепараторною водою. Апарат для мойки 2 представляє собою ємність об'ємом 45 м³ з вбудованим зверху розподільчим кільцем з отворами.

Поглиналине масло подається на розподільче кільце від трубопроводу частково охолоджене після теплообмінників з температурою 90 °С.

Пройшовши крізь шар сепараторної води, масло постійно віджимається з нижньої частини апарату в лінію трубопроводу масла після теплообмінників.

Сепараторна вода подається насосом 4 з відстійника сепараторних вод 1 об'ємом 80 м³ в апарат для промивки нижче розподільчого кільця і віджимається знову в відстійник сепараторних вод, звідки направляється на кінцевий газовий холодильник.



1 - відстійник сепараторних вод, 2 – апарат для промивки, 3 – мірне скло,
4 – насос, I – сепараторна вода, II – поглинальне масло

Рис 2.5. Схема установки для промивки зворотного поглинального масла

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [12].

З метою виключення потрапляння води в трубопровід масла і підтримання рівня води в апараті, встановлюється мірне скло 3.

В літературі [10] є дані про різні методи промивки масла, як бензине, так і дебензине.

Промивка масла бензине забезпечує виведення агресивних компонентів масла до нагрівального обладнання. Відомо, що полімеризаційні процеси інтенсифікуються нагріванням, про це свідчать відкладення в трубчатих печах і теплообмінній апаратурі. Промивка масла до її нагрівання

забезпечує зниження інтенсивності її ущільнення. Позитивним фактором промивки масла бензине є кінцеве обезводнення промитого масла в дистиляційній колоні. Негативним фактором є можливість втрати бензолу в системі " бензол – вода – поглинальне масло ", так як бензол значно легше води і може виділятися з масла і бути унесеним з промивною водою. Помічено, що при контакті масла бензине з водою спостерігається плівка на поверхні води.

Промивка масла дебензине може забезпечувати невелике додаткове охолодження масла, крім цього при підвищенні температури спостерігається деяке додаткове підвищення розчинності агресивних солей в воді. До негативних факторів промивки масла дебензине відносять наступні фактори:

- леткі кислі компоненти масла, абсорбовані маслом в бензольних скруберах, вже були відігнані на стадії дистиляції масла;
- вологість масла після промивки підвищується, що покращує небажану абсорбцію водорозчинних газових компонентів, наприклад, HCN і NH₃;
- корозія дистиляційного обладнання і полімеризація масла під каталітичною дією агресивних компонентів відбулася до процесу промивки масла.

Так як основною задачею бензольно-скруберного відділення є отримання товарного сирого бензолу, з метою не допущення його втрат, промивці піддають масло дебензине [10].

2.4 Розробка раціональної схеми промивки масла з метою виведення агресивних компонентів з поглинального масла

2.4.1 Технологічна схема промивки масла

Технологічна схема промивки масла для видалення з нього агресивних компонентів приведена на рисунку 2.6.

Масло після бензольної колони (або після масляних теплообмінників) з температурою 80 – 90 °С подається на колонний апарат для промивки із спеціально встановленого збірника парового конденсату. Апарат працює в безперервному режимі.

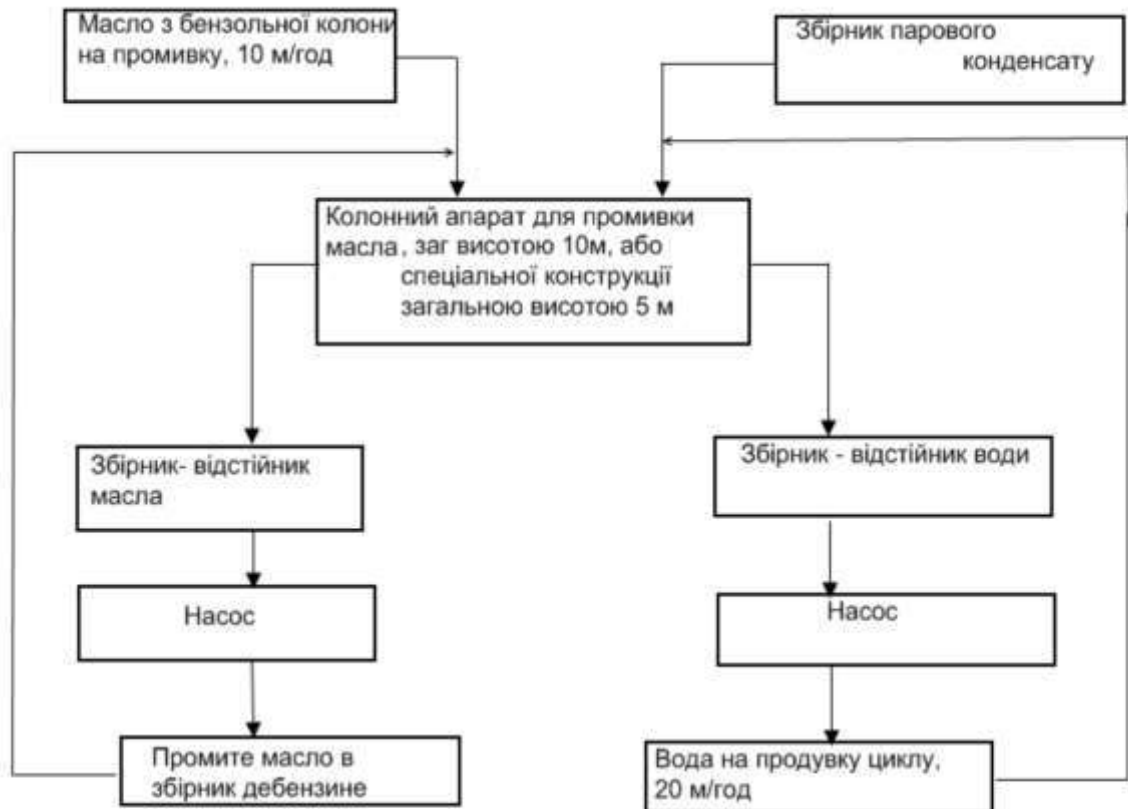


Рис.2.6. Технологічна схема промивки масла для виведення з нього агресивних компонентів

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [12].

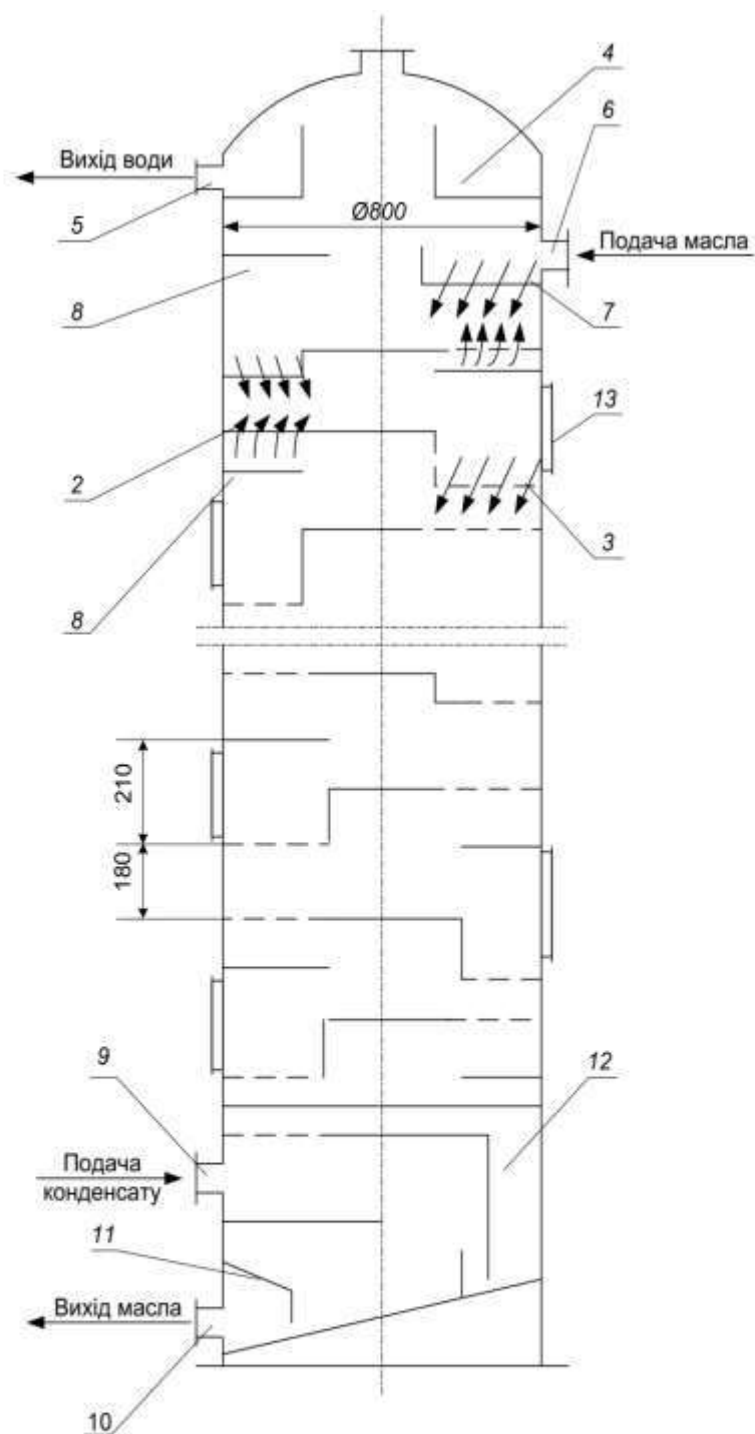
Режим промивки масла передбачає відсутність інтенсивного перемішування і таким чином, попереджається утворення емульсії. Відношення об'ємів масло: вода = 10 м³/год : 20 м³/год також підібрано з урахуванням легкого розшарування фаз.

Масло і вода після промивки самопливом із відповідних зон промивача направляються в відповідні збірники – відстійники, причому збірник – відстійник масла оснащений паровим зміївіком і забезпечує відстоювання

масла протягом 2 годин. Збірники відстійники масла і води повинні мати декілька зливних патрубків для можливості відбору відповідних фаз при змінній границі розподілу фаз в процесі відстоювання. Передбачені рецикли масла і води в колонний апарат для повторної промивки. Промите масло направляється в збірник дебензине. Так як температура масла при відстоюванні може сягати 80-90 °С, необхідно на лінії промитого масла передбачити підключення до холодильника масла [10] .

Промивач – екстрактор, який пропонується використовувати в схемі, може бути двох видів. На рисунку 2.7 представлений перший варіант промивача, що отримав розповсюдження в зарубіжній практиці в якості екстрактора для різних систем.

Промивач представляє собою колонний апарат, що складається з корпусу 1, всередині якого розташовані тарілки, що складаються з перфорованого сектору 2 і карману з перфорованим дном. Тарілки розташовані на відстані 410 мм одна від одної. В верхній частині колони безпосередньо під кришкою апарату розташований циліндричний колектор 4 зі штуцером виходу води із апарату 5, трохи нижче розташований карман з перфорованим дном 7 і штуцером подачі масла 6. В нижній частині для подачі промивної рідини в апарат розташований штуцер 9. Біля днища апарату розташовується штуцер 10 для виводу промитого масла із апарату. Для зниження захвату промивної рідини маслом розташований відбійник 11. Перетік масла з нижньої тарілки на дно апарату здійснюється через патрубок 12.



1 – корпус, 2 – перфорований сектор, 4 – циліндричний корпус,
5, 6, 9, 10 – штуцери, 7 – карман з перфорованим дном

Рис.2.7. Колонний екстрактор – промивач

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [12].

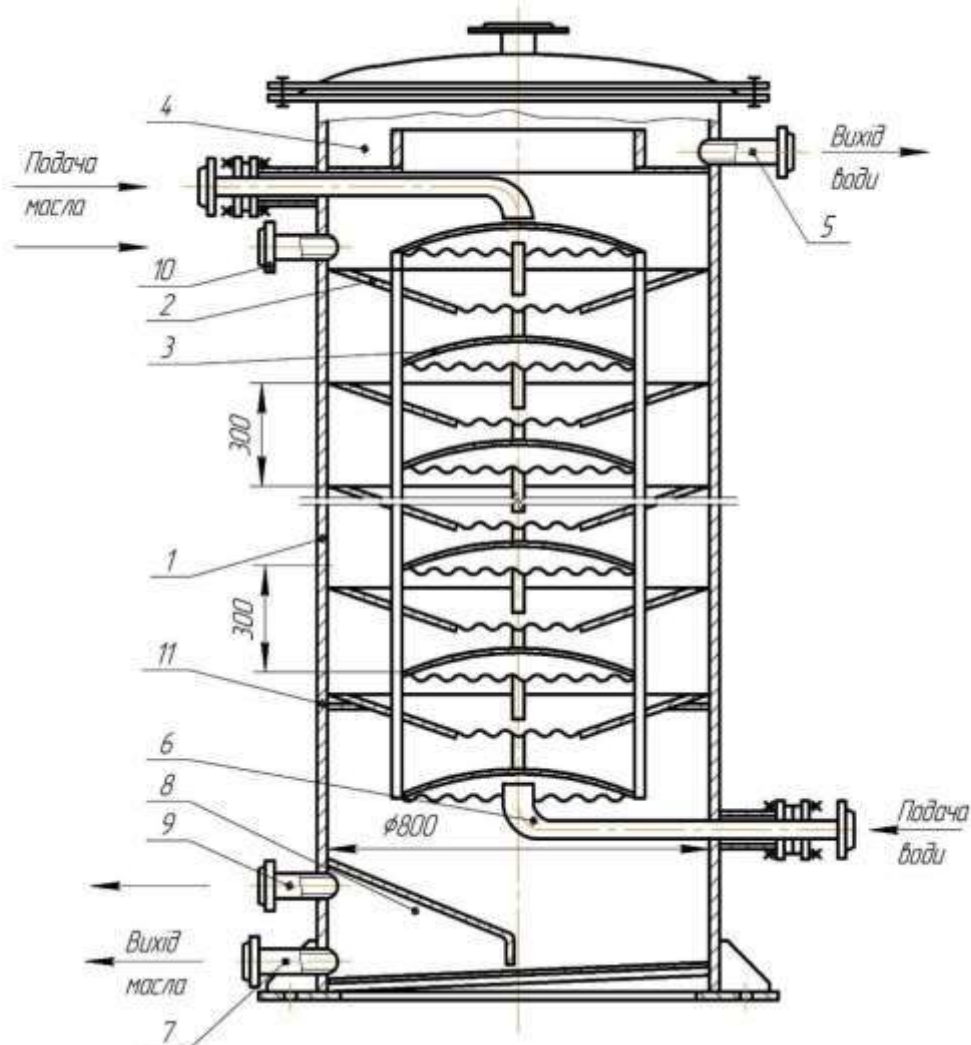
Розглянутий промивач працює наступним чином. Промивна рідина подається з деякою швидкістю крізь штуцер 9, заповнює колону і відводиться

з останньої кризь колектор 4 і штуцер 5. Назустріч водному потоку на верхню тарілку подається масло з температурою 75-85 °С кризь перфорований сегмент 7, яка у вигляді струй потрапляє в потік води, що витікає з перфорації розташованої нижче тарілки також у вигляді струй. В просторі між тарілками потоки масла і води взаємодіють між собою, перерозподіляючи кислі і інші компоненти. Поглинальне масло, що пройшло колону, відстоюється в нижній частині і виводиться кризь штуцер 10.

Альтернативним варіантом є промивач, виконаний по аналогії з промисловими екстракторами з зарубіжної практики. На рисунку 2.8 представлений даний апарат.

Основу промивача складає корпус апарату, в який вміщуються внутрішні елементи промивача, що опираються на опорний фланець, приварений до корпусу. Верхня частина апарату закривається кришкою, що має в верхній точці штуцер для приєднання повітряника.

Промивач складається з циліндричного корпусу 1, всередині якого розташовані два типи перегородок, кожна з яких не перекриває весь переріз колони. На відміну від інших колон перегородки 2 виконані у вигляді конічних кілець, що прикріплені по периферії корпусу промивача. Відстань між сусідніми кільцями складає 300 мм. Перегородки 3 виконані у вигляді шарових поверхонь, поміщених по вісі колони і розташованих також на відстані 300 мм одна від одної. В верхній частині колони, безпосередньо під кришкою апарату, розташовується циліндричний колектор 4 з штуцером виходу води із апарату 5. В нижній частині для подачі води під нижню тарілку 3 розташований штуцер 6. Біля днища апарату розташований штуцер 7 для виводу промитого масла із апарату. Для зниження можливості захвату промитим маслом води передбачений відбійник 8. Для води, яка може відділятися з масла, з верхньої частини відстійної зони передбачений штуцер 9, який при монтажі апарату повинен бути з'єднаний трупопровідом зі штуцером 10. На корпусі апарату приварений опорний фланець 11.



1 – циліндричний корпус, 2,3 – перегородки, 4 – циліндричний колектор, 4,5 – штуцер для виходу води, 6 – штуцер для подачі води, 7 – штуцер відводу промитого масла, 8 – відбійник, 9,10 – штуцери, 11 – опорний фланець

Рис. 2.8. Варіант промивача виконаний по аналогії з промисловими екстракторами з зарубіжної практики

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [12].

Розглянутий промивач працює таким чином. Промивна рідина подається з деякою швидкістю крізь штуцер 6 під нижню тарілку 3, заповнює колону і виходить із останньої крізь колектор 4 і штуцер 5. Назустріч водному потоку на верхню тарілку 3 подається масло з температурою

70 - 80 °С, яке розтікається і стікає з останньої у вигляді окремих струй. В розривах між тарілками ці потоки взаємодіють з потоками води, що проходять та підіймаються вгору. Поглинальне масло, пройшовши колону, відстоюється в нижній відстійній зоні і покидає апарат крізь штуцер 7.

В схемі промивки поглинального масла використовують другий варіант поглинача – екстрактора через його більшу зручність і ефективність.

В таблиці 2.3 наведено перелік технологічних апаратів для промивки на одну чергу.

Таблиця 2.3

Перелік технологічних апаратів на одну чергу

| Апарат | Кількість | Характеристика |
|------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Збірник парового конденсату | 1 | Об'єм не менше 50 м ³ /год |
| Колонний апарат для промивки масла | 1 | Полий висотою 10 м і діаметром 1 м або спеціальної конструкції висотою 5 м і діаметром 0,7-0,9 м |
| Збірник відстійник масла | 1 | Об'єм не менше 30 м ³ /год, оснащений паровим змійовиком |
| Збірник відстійник води | 1 | Об'єм не менше 50 м ³ /год |
| Насос для масла | 1 | Продуктивністю не менше 10 м ³ /год |
| Насос для води | 1 | Продуктивністю не менше 20 м ³ /год |

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [12].

2.4.2 Вибір екстрагента для промивки масла

Екстрагент для промивки масла для промислового використання повинен мати наступні властивості: високий коефіцієнт розподілення і дифузії, що дає можливість підвищити швидкість процесу, не бути легкозаймистим, мати антикорозійні властивості по відношенню до

матеріалів апаратури, низькою температурою замерзання, не шкідливим для здоров'я обслуговуючого персоналу, низькою теплоємністю, високою летючістю. Для розглянутої технології промивки найкращим екстрагентом є вода.

Для промивки масла пропонувались наступні води – конденсат пару або сепараторна вода. Конденсат пару по проведеним аналітичним визначенням не містить домішок, які є в маслі, рН пару 5,2 одиниці. Сепараторна вода бензольного відділення містить в значній кількості домішки аміаку, ціаністого водню і сірководню, тобто даний екстрагент буде вносити в поглинальне масло домішки, що не відповідає задачі промивки масла. Єдиним можливим екстрагентом агресивних компонентів із масла в даному випадку є конденсат пару [10].

2.4.3 Вибір кількості промивної води для екстракції

Оцінка можливості промивки масла водою повинна в першу чергу ґрунтуватися на даних рівноваги агресивного водорозчинного компонента (аміаку, сірководню, роданистих солей) між водною і масляною фазами. Ця кількість може виражатись коефіцієнтом розподілу:

$$\text{Коефіцієнтом розподілу} = \frac{\text{концентрація речовини в маслі}}{\text{концентрація речовини в воді}}, \quad (2.2)$$

Коефіцієнт розподілу газоподібних сполук (HCN , NH_3 , H_2S) може бути розрахований виходячи із коефіцієнтів розподілу між газом і водою і між газом і маслом. Дані розрахунку коефіцієнту розподілу представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Коефіцієнт розподілу сполук

| Сполука | Температура, °C | Коефіцієнт розподілу речовини у воді/газі (мг/л)/(г/м ³) | Коефіцієнт розподілу речовини у маслі/газі (мг/л)/(г/м ³) | Коефіцієнт розподілу речовини у маслі речовини в воді (мг/л)/(мг/л) |
|------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| HCN | 20 | 349 | 42,7 | 0,122 |
| | 40 | 124 | 23,8 | 0,192 |
| | 60 | 59 | 14,2 | 0,241 |
| H ₂ S | 20 | 2,6 | 9,3 | 3,577 |
| | 40 | 1,7 | 6,1 | 3,588 |
| | 60 | 1,2 | 5,1 | 4,250 |
| NH ₃ | 20 | 1742 | 9,9 | 0,0057 |
| | 40 | 705 | 6,5 | 0,0092 |
| | 60 | 321 | 4,1 | 0,0128 |

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [12].

Коефіцієнт розподілення для нелетких сполук (NH₄CN, NH₄CNS) при температурі 25 °C представлений в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Коефіцієнт розподілення нелетких сполук

| Сполука | Температура, °C | Коефіцієнт розподілу речовини в маслі/ речовини в воді, (мг/г)/(мг/л) |
|---------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|
| NH ₄ CN | 25 | 0,120 |
| NH ₄ CNS | 25 | 0,015 |

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [12].

Середні показники вмісту агресивних компонентів в поглинальному маслі на основі аналізів ДП «УХІН» приведені в таблиці 2.6

Таблиця 2.6

Вміст агресивних компонентів в поглинальному маслі

| Компонент | Вміст |
|------------------------------------------|--------|
| Роданіди, мг/л | 1106,0 |
| В перерахунку на роданистий амоній, мг/л | 1449,0 |
| Ціаніди, мг/л | 75,1 |
| В перерахунку на HCN, мг/л | 78,0 |
| Ферроціаніди, мг/л | 500,7 |
| Сірководень, мг/л | 1425,3 |

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [12].

Рівноважні концентрації агресивних компонентів в промивній воді при такому їх вмісті в маслі при різних температурах на основі обчислених коефіцієнтів розподілення приведені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7

Рівноважні концентрації агресивних компонентів в промивній воді

| Сполука | Температура, °C | Концентрація компонента, мг/л |
|---------------------|-----------------|-------------------------------|
| HCN | 20 | 613,8 |
| H ₂ S | 20 | 398,4 |
| NH ₄ CNS | 20 | 96600 |

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [12].

Рівняння матеріального балансу процесу екстракції агресивних компонентів із масла:

$$M (C^*_{\text{вих}} - C^*_{\text{кін}}) = V (C_{\text{кін}} - C_{\text{вих}}), \text{ кг/год}, \quad (2.3)$$

де M – кількість масла, що піддається промивці, $\text{м}^3/\text{год}$, V – кількість промивної води, $\text{м}^3/\text{год}$, $C^*_{\text{вих}}$, $C^*_{\text{кін}}$, $C_{\text{кін}}$, $C_{\text{вих}}$ – вихідні і кінцеві концентрації агресивних компонентів відповідно в маслі і в воді, г/л

Для ефективної промивки масла кількість промивної води при промивці масла конденсатом пару ϑ при вихідному вмісті в промивній воді агресивних компонентів ($C_{\text{вих}} = 0$) визначається за формулою :

$$V = M \cdot C^*_{\text{вих}} \cdot 0,9 / C_{\text{кін}}, \quad (2.4)$$

Кількість промивної води на 1 м^3 масла приведена в таблиці 2.8

Таблиця 2.8

Кількість промивної води на 1 м^3 масла

| Сполука | $C^*_{\text{вих}}, \text{ г/л}$ | $C_{\text{кін}}, \text{ г/л}$ | $V, \text{ м}^3$ |
|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------|
| HCN | 0,078 | 0,614 | 0,11 |
| H_2S | 1,425 | 0,398 | 3,22 |
| NH_4CNS | 1,449 | 96,6 | 0,01 |

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [12].

Як видно з таблиці, сірководень в поглинальному маслі розчиняється краще ніж у воді, тому необхідна кількість промивної води складає більш ніж у 3 рази більше ніж масла.

У відповідності з аналітичною методикою визначення агресивних компонентів в поглинальному маслі дистильовану воду змішують з маслом у співвідношенні 10 : 1. При зміні відношення вода/масло від 1:1 до 1:10 коефіцієнти розподілу майже не змінюються. За дослідженнями ДП «УХІН», відношення вода/масло може коливатись від 1: 0,67 до 1: 0,4. Розрахована нами кількість води для видалення HCN може складати 0,1 м³ води на 1 м³ масла.

Кількість промивної води, як показали наші дослідження, впливає на процеси емульгування масла і його відстоювання. При відношенні вода/масло 1:1 до 1:10 найбільш низьким ступенем, що забезпечує відстоювання масла при температурі 90 °С на протязі 2 годин є відношення вода/масло = 1: 2.

Для відмивки масла від сірководню потрібне відношення 1: 3,22; однак значна кількість сірководню відганяється на стадії дистиляції бензолу в сепараторну воду бензольного відділення.

Відношення вода/масло = 1: 2 є оптимальним для здійснення технології промивки масла [10].

2.4.4 Вибір кількості поглинального масла для промивки

Кількість промиваємого масла повинна забезпечити вивід агресивних компонентів зі швидкістю не менше швидкості утворення цих компонентів.

В раніш розроблених УХІНом способах промивки масла, на 100 тис.м³/год коксового газу на промивку масла поступало 5 – 10 м³/год.

З 2005 року вміст ціаністого водню в сепараторній воді бензольного відділення складав 320 мг/л, а з 2007 року 660 мг/л. Збільшення склало 660-320 = 340 мг/л. Згідно коефіцієнту розподілу HCN в маслі/ HCN в воді, (мг/л)/ (мг/л), рівному 0,122. В маслі збільшення склало 340 · 0,122 = 41 мг/л або 0,041 кг/м³. При середніх витратах масла на дві черги 250 м³/ год

необхідна кількість роданідів, що виводяться для зберігання існуючого положення до закриття циклу складе :

$$0,041 \cdot 250 \cdot 58/26 = 22,8 \text{ кг/год} \quad (2.5)$$

де 28 і 26 – молекулярні маси ціанід-іону і роданід-іону.

При вмісті роданід іону в поглинальному маслі 1,1 г/л (або 1,1 кг/м³), кількість розчину, що виводиться на промивку з двох черг повинно складати:

$$22,8/1,1 = 20 \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.6)$$

2.4.5 Визначення кількості тарілок промивача масла

Число теоретичних тарілок як показує характер кривої (рисунок 2.9), доцільно прийняти не вище 3,5 [10]. Для переходу від числа теоретичних тарілок до числа дійсних ступенів використовують коефіцієнт корисної дії колони η , що представляє собою відношення числа теоретичних ступенів n_T до числа необхідних дійсних ступенів n_D . Число дійсних ступенів визначається співвідношенням:

$$n_D = \frac{n_T}{\eta} \quad (2.7)$$

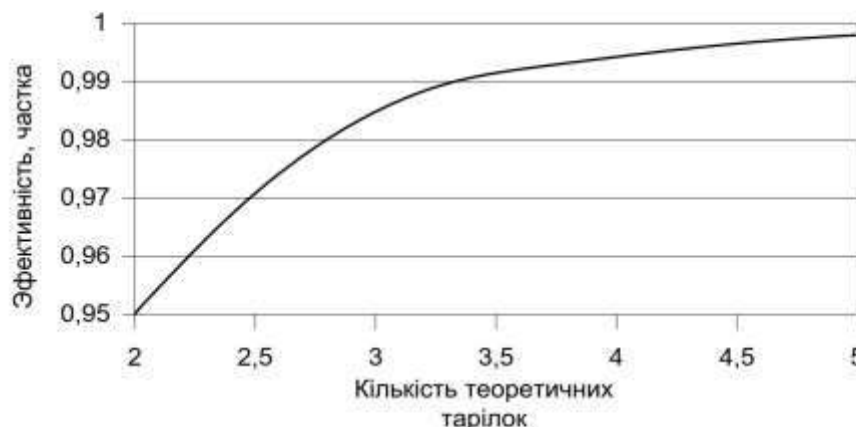


Рисунок 2.8. Залежність ефективності промивання масла від числа теоретичних тарілок

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [12].

Коефіцієнтом корисної дії (к.к.д.) ураховується реальна кінетика масообміну на дійсних ступенях (тарілках), на яких ніколи не досягається рівновага. Значення к.к.д. залежить від ряду факторів, у тому числі від швидкості фаз, їхнього перемішування, взаємного напрямку руху, а також фізичних властивостей фаз. Значення к.к.д. знаходяться звичайно досвідченим шляхом; вони коливаються в широких межах (0,3-0,8 і більше). В нашому випадку для промивача число практичних тарілок при 50 %-ному к.к.д. тарілки в екстракторі приймемо $3,5/0,5=7$ шт, або із запасом 8 шт.

2.4.6 Вибір температури процесу екстракції

Як показали дослідження [10], температура процесу практично не впливає на екстракцію солі з масла. Основним критерієм вибору температури є легкість поділу системи «масло-вода». Для відділення води від масла необхідно мати різницю питомої ваги не менш 0,04-0,05 [10]. Виходячи із цих умов, вибираємо температуру масла з рівняння:

$$\gamma_{M25} - \theta(t - 25) - \gamma_B = 0,05, \quad (2.8)$$

де γ_{M25} - питома вага масла, що надходить при $t = 25$ °С;

θ - коефіцієнт розширення масла $\sim 0,0007$;

γ_B - питома вага води при 50 °С $\sim 0,99$;

t - температура масла, що надходить на промивання.

$$1,08 - 0,0007 \cdot (t - 25) - 0,99 = 0,05$$

$t = 82$ °С.

Таким чином, при розрахунковій густині взаємодіючих фаз температура масла повинна перебувати на рівні $70 \div 80$ °С, при цьому більш висока температура припустима для кам'яновугільного масла з більш високою густиною. На рисунку 2.9 показана розрахункова залежність температури подаваного на промивання масла залежно від густини масла.

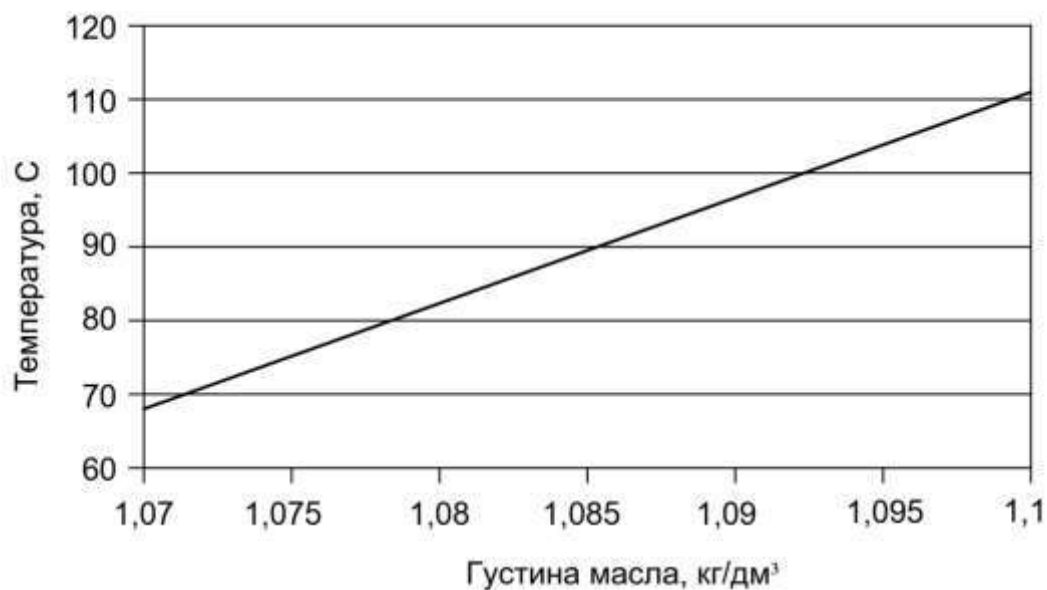


Рис.2.9. Залежність температури промивання від щільності масла

Примітка. Джерело: Розроблено з використанням [12].

2.5 Висновки до основної частини

Використання абсорбційного методу для вловлювання бензольних вуглеводнів з коксового газу дозволяє отримати сирий бензол високої якості при дотриманні усіх параметрів процесу. Кам'яновугільне масло, що використовується у якості поглинача, в процесі роботи змінює свої фізико-хімічні властивості, відбувається процес полімеризації, накопичення агресивних водорозчинних сполук у маслі, а саме сірководню, ціаністого водню, аміаку, фенолів, роданідів, солей закритого циклу кінцевого охолодження через це погіршується його поглинальна здатність, що негативно впливає на весь процес.

Для відновлення поглинальної здатності кам'яновугільного масла проводять його регенерацію паровим або вогневим методом.

Найбільшого розповсюдження набув паровий метод через менші експлуатаційні і капітальні витрати. Як альтернативний метод застосовують промивку масла, при якій з масла виводяться водорозчинні сполуки. У якості

апарату для промивки використовують колонний апарат, виконаний по аналогії з промисловими екстракторами з зарубіжної практики. У якості екстрагенту використовують конденсат пару. Після проведення процесів регенерації і промивки поглинального масла його молекулярна маса зменшується з 190-200 г/моль до 160-170 г/моль, поглинальна здатність підвищується і масло знову використовується у якості абсорбенту бензольних вуглеводнів.

В кваліфікаційній роботі запропоновано, як ефективний засіб покращення якості поглинального масла, промивка поглинального масла водою, у результаті якої відбувається:

- видалення агресивних водорозчинних сполук, які накопичуються у маслі; зниження корозії апаратури дистиляції і уловлювання бензольних вуглеводнів;
- сповільнення процесів ущільнення (полімеризації) масла, -
- зменшення кількості виведеного масла;
- зменшення питомої витрати поглинального масла;
- поєднання промивання масла із процесом охолодження масла дебензине.

Для промивання масла проведено вибір екстрагента (води). В умовах ЦУ КХВ ПАТ «АМКР» можливе промивання масла конденсатом пари або сепараторною водою бензольного відділення. Конденсат парів не містить домішок, рН конденсату пари становить 5,2 одиниці.

Пропонується як можливий ефективний екстрагент агресивних компонентів з масла конденсат пари. Порівняльна характеристика показників технологічного режиму відкритого й закритого циклів охолодження коксового газу представлена в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9

Порівняльна характеристика показників технологічного режиму відкритого й закритого циклів охолодження коксового газу

| Норми й показник | Режим відкритого циклу | Закритий цикл кінцевого охолодження коксового газу |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Вихід полімерів, т/рік | 746,150 | 854,0 |
| Витрата свіжого поглинального кам'яновугільного масла, кг/т сирого бензолу | 125-130 | 130-150 |
| Насичення бензолом масла бензине | 3 г/л | 2,5 г/л |
| Вміст бензолу у зворотному коксовому газі | 2,5-3,0 г/м ³ | 2,5-3,5 г/м ³ |
| Масова частка бензольних вуглеводнів: - у насиченому поглинальному маслі; - в обезбензоленому поглинальному маслі | 1,5-3,0 % 0,2-0,4 % | 1,5-2,5 % 0,2-0,35 % |
| Витрата поглинального масла на 1000 м ³ /год в коксовому газі | 1,5-2 м ³ /год | 1,5-2 м ³ /год |
| Витрата поглинального масла в скруберах на 1 т сирого бензолу | 150-160 м ³ /год | 155-170 м ³ /год |

Примітка. Джерело: Розроблено автором

Розрахуємо вихід полімерів.

Вихід полімерів при роботі відкритого циклу складає:

$$П = \frac{3730750 \cdot 20}{100} = 746,150m / рік \quad (2.9)$$

Вихід полімерів при роботі закритого циклу складає:

$$П = \frac{426998 \cdot 20}{100} = 854,0m / рік \quad (2.10)$$

Техніко-економічні показники роботи відділення при запропонованому технологічному рішенні промиванні масла зведені у таблицю 2.10.

Таблиця 2.10

**Техніко-економічні показники роботи відділення при
запропонованому технологічному рішенні промиванні масла**

| № п/ч | Норми і показники | Техніко-економічні показники вилучення бензольних вуглеводнів з покращенням роботи закритого циклу | |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| | | без промивки масла | З промивкою масла |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Питомі витрати поглинального масла на 1 т сирого бензолу | 150-160 м ³ /год | 125 м ³ /год |
| 2 | Кількість полімерів, т/рік | 740,50 | 854,0 |
| 3 | Витрати бензольних вуглеводнів в зворотному коксовому газі, г/м ³ | 3,0 | 2,5-2,7 |
| 4 | Кількість конденсатів пари на промивку | - | 20 м ³ на 1 м ³ масла |

Продовження таблиці 2.10

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|----------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------|
| 5 | Кількість масла на промивку, м ³ /год | - | 20 м ³ /годину |
| 6 | Виробництво сирого бензолу т/рік | 29846 | 32846 |
| 7 | Витрати свіжої технічної води на поповнення циклу, м ³ | 8 | 4 |

Примітка. Джерело: Розроблено автором

ВИСНОВКИ

Коксохімічна промисловість в Україні є головним постачальником бензольних вуглеводнів. Найбільш розповсюдженим методом вилучення їх з коксового газу є абсорбційний метод, який має ряд переваг перед іншими методами - високу ступінь вилучення бензольних вуглеводнів, простоту апаратурного оформлення, можливість відновлення властивостей абсорбенту, безперервність роботи установки.

При порівнянні властивостей можливих поглиначів, а саме кам'яновугільного і солярного масла, обране кам'яновугільне так як воно має більшу поглинальну здатність, а також в Україні є дешевою і доступною сировиною.

Для ефективного вловлювання бензольних вуглеводнів з коксового газу і досягнення кінцевого вмісту бензольних вуглеводнів у ньому - 3 г/м³ необхідно дотримуватись наступних параметрів: температура повинна бути у межах 25–30 °С, концентрація бензольних вуглеводнів у маслі, що подається на вилучення не повинна перевищувати 0,3 %, процес ведуть при атмосферному тиску.

При абсорбції масло взаємодіє з коксовим газом і поглинає не тільки бензольні вуглеводні, але і агресивні компоненти коксового газу. Вміст цих компонентів у газі приблизно такий: роданіди - 1106,0 мг/л, ціаніди - 75,1 мг/л, ферроціаніди - 500,7 мг/л, сірководень - 1425,3 мг/л.

При проведенні аналізу кам'яновугільного масла на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» встановлено, що вміст фенолів у ньому заходиться в межах 0,6-0,8 %. Також в процесі роботи відбувається зміна фізико-хімічних властивостей масла, зменшення його поглинальної здатності, внаслідок процесів полімеризації.

Для стабілізації і відновлення якості масла проводять його регенерацію паровим або вогневим методом, що дозволяє знову використовувати масло у якості абсорбенту.

Кваліфікаційною бакалаврською роботою пропонується комплексно з регенерацією проводити промивку масла водою для виведення агресивних водорозчинних компонентів з нього і покращення його якості. У схемі промивки використовують колонний апарат для промивки масла, виконаний по аналогії з промисловими екстракторами з зарубіжної практики. У якості екстрагенту використовують водяний пар.

Також в роботі визначено, що оптимальним для здійснення технології промивки масла відношенням вода/масло є 1:2. Кількість масла, що подається на промивку складає 20 м³/год.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гребенюк А.Ф., Коробчанський В.І., Власов Г.А., Кауфман С.І. Уловлювання хімічних продуктів коксування. Навчальний посібник. ч.1. Донецьк: «Східний видавничий дім», 2002. 228 с.
2. Уловлювання та переробка хімічних продуктів коксування. Довідник коксохіміка. У 6-ти томах. Т. 3. / Є.Т. Ковальов. – Харків. Видавничий Дім «ІНЖЕК», 2009. 432 с.
3. Банников Л.П., Костенко А.В., Нестеренко С.В., Панасенко А.В. Особливості спільного поглинання кислих компонентів коксового газу розчином моноетаноламіну. *Вуглехімічний журнал*. 2014. № 5. С. 34-40.
4. Яценко О.А., Саранчук В.І. Оптимізація витрат у бензольному відділенні. *Хімія та хімічна технологія: всеукраїнська науково-технічна конференція студентів та аспірантів*. Дніпропетровськ, 2002. С. 103- 104.
5. Buskies U. Economic process optimization strategies / U. Buskies // *Chemical Engineering Technology*. 1997. № 20. P. 63-70.
6. Белов К.А. Лазорін С.Н. Інтенсифікація роботи бензольних відділень на коксохімічних заводах. Харків: Металургіздат, 1959. 142 с.
7. Романюк І.В., Скрипій Ю.М., Клемін І.А., Мукіна Н.В. Аналіз та шляхи зниження витрати поглинального масла на вилучення бензольних вуглеводнів з коксового газу. *Вуглехімічний журнал*. 2016. № 3-4. С. 10-15.
8. Коробчанський І.Є., Кузнецов М.Д. Розрахунки апаратури для уловлювання хімічних продуктів коксування. М.: Металургія, 1972. 296 с.
9. Басій Ю.А., Максименко П.Є., Охріменко С.І., Банніков Л.П. Модернізація бензольно-скрубберного відділення на ПАТ «ЄВРАЗ ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКИЙ КХЗ». Заміна бензольної колони із

застосуванням тарілчастих пристроїв з нерухомими клапанами.

Вуглехімічний журнал. 2015. №. 5. С. 35-40.

- 10.Скрипченко Н.П., Єремєєв Ю.В., Казьмін В.П. Сучасні технічні рішення, впроваджені в бензольному відділенні цеху уловлювання № 1 ПАТ «АКХЗ». *Вуглехімічний журнал*. 2013. № 3-4. С. 59-69.

ДОДАТКИ

Звіт подібності

метадані

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Замовник

Павленко Лілія Володимирівна

Автор

Науковий керівник / Експерт

Павленко Лілія Володимирівна Шмельцер К.О.

Ідентифікатор

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

| | | |
|------------------------|--|----|
| Заміна букв | | 49 |
| Інтервали | | 0 |
| Мікропробіли | | 0 |
| Білі знаки | | 0 |
| Парафрази (SmartMarks) | | 52 |

Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Колір тексту

| порядковий номер | НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ) | кількість ідентичних слів (фрагментів) |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 1 | https://ci.kpi.ua/METODA/teza_18_vseua.pdf | 44 0.54 % |
| 2 | https://alldrawings.ru/spisok-kategorii/item/dn8-proekt-ustanovki-dlia-ulavtvanija-benzolnykh-uglevodorodov | 42 0.51 % |
| 3 | bitstream_a04e43de-975d-4e9f-a4bb-a8551afd7e6f 12/7/2024 National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" students papers (National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" students papers) | 33 0.40 % |

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА
про підготовку здобувача

Павленко Лілії Володимирівни
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Хімічних технологій та інженерії
Спеціальність 161 Хімічних технологій та інженерії

Назва кваліфікаційної роботи Кваліфікаційна бакалаврська робота

Тема кваліфікаційної роботи Аналіз та шляхи зменшення витрат поглинального масла для вилучення бензольних вуглеводнів

Керівник кваліфікаційної роботи: зав. каф., к.т.н., доцент Шмельцер К.О.
(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

| № з/п | Найменування розділу проекту (роботи) | Консультант | Зараховано / не зараховано | Дата | Підпис консультанта | Примітка |
|-------|---------------------------------------|---------------|----------------------------|---------|---------------------|----------|
| 1 | Аналітична частина | Шмельцер К.О. | зарах | 2.06.25 | <i>Шмельцер</i> | |
| 2 | Основна частина | Шмельцер К.О. | зарах | 2.06.25 | <i>Шмельцер</i> | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Зав. кафедри

Шмельцер
(підпис)

К.О. Шмельцер
(ініціали, прізвище)

« 2 » червня 2025 р.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
 НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
 Кафедра Хімічних технологій та інженерії

ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

бакалавра

Здобувачки Павленко Лілії Володимирівни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ХТ-22ск

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра

Аналіз та шляхи зменшення витрат поглинального масла для вилучення
 бензольних вуглеводнів

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

| | |
|------------------------------------------------------|-----|
| пояснювальна записка | 65; |
| таблиць | 14; |
| схем і рисунків | 14; |
| листів графічної частини(демонстраційного матеріалу) | . |

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра

Кваліфікаційна робота присвячена вдосконаленню технології вилучення сирого бензолу з коксового газу шляхом зменшення витрат поглинального масла. Зазначено, що при абсорбції масло взаємодіє з коксовим газом і поглинає не тільки бензольні вуглеводні, але і агресивні компоненти коксового газу. За даними аналізу кам'яновугільного масла на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» встановлено, що вміст фенолів у ньому заходиться в межах 0,6-0,8 %. Кваліфікаційною бакалаврською роботою рекомендовано комплексно з регенерацією проводити промивку масла водою для виведення агресивних водорозчинних компонентів з нього і покращення його якості. Це дасть можливість видалити агресивні водорозчинні сполуки, що накопичуються, у маслі; знизити корозію апаратури дистиляції та уловлювання бензольних вуглеводнів; сповільнити процеси ущільнення (полімеризації) масла, зменшити кількість виведеного масла, знизити питому витрату масла.

Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

Не достатньо повний літературний огляд та аналіз методів стабілізації якості абсорбентів, не наведено дані щодо досвіду реалізації промивки поглинального масла на підприємствах галузі.

В деяких місцях пояснювальної записки допущені стилістичні та орфографічні помилки та огріхи, в тексті зустрічається невдалий та некоректний переклад.

Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної роботи бакалавра, ступінь самостійності виконання роботи, уміння користуватися літературними матеріалами

Здобувачка Павленко Л.В. під час написання кваліфікаційної роботи бакалавра показала добру загальну та спеціальну підготовку, вміння працювати з літературними та нормативними джерелами. Над розділами роботи працювала самостійно, висновки та розроблені рекомендації є актуальними, ефективними та обґрунтованими.

Можливість використання кваліфікаційної роботи бакалавра

Рекомендації комплексно з регенерацією проводити промивку масла водою для виведення агресивних водорозчинних компонентів з нього і покращення його якості є практичним та економічно доцільними та можуть бути впроваджені на коксохімічному виробництві ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Оцінка кваліфікаційної роботи бакалавра добре/80/В

Керівник Шмельцер Катерина Олегівна
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Зав. кафедри, к.т.н., доцент
(посада, науковий ступінь, вчене звання)


(підпис)

« 13 » червня 2025 р.

*Примітка. Бланк друкується з обох сторін на одному аркуші.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
 НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
 Кафедра Хімічних технологій та інженерії

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

(бакалавра, магістра)

Здобувача Павленко Лілії Володимирівни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Групи ХТ-22ск |
| Тема кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> |
| (бакалавра, магістра) |
| Аналіз та шляхи зменшення витрат поглинального масла для вилучення бен-зольних вуглеводнів |
| Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> |
| (бакалавра, магістра) |
| Вибір та обґрунтування ефективного устаткування та корегування температурного режиму для зменшення втрат поглинального масла для вилучення бензольних вуглеводнів |
| Переваги кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> |
| (бакалавра, магістра) |
| Кваліфікаційна робота присвячена вдосконаленню технології вилучення сирого бензолу з коксового газу шляхом зменшення витрат поглинального масла. |
| Рекомендовано комплексно з регенерацією проводити промивку масла водою для виведення агресивних водорозчинних компонентів з нього і покращення його якості. |
| |
| Недоліки кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> |
| (бакалавра, магістра) |
| Не наведено дані щодо досвіду використання запропонованої промивки масла на підприємствах галузі. В деяких місцях пояснювальної записки допущені стилістичні помилки та неточність перекладу. |
| |
| Рекомендації: робота може бути рекомендована до захисту. |
| |
| |
| Рецензент <u>Король Марина Риталівна</u> |
| (прізвище, ім'я та по-батькові) |

К.У.Н. доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

Король

(підпис)

Д О В І Д К А
про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами

Текст (вибрати необхідне):

- кваліфікаційної роботи;
 навчальної/наукової праці;
 наукових матеріалів

*Аналіз та шляхи зменшення витрат поглинального масла для вилучення
бензольних вуглеводнів*

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

ПАВЛЕНКО Лілія Володимирівна

(ПІБ)

кафедра Хімічної технології та інженерії,

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 64 сторінки друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 6,93 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

- власними публікаціями;
 термінологією;
 посиланнями на літературу, праці вчених;
 посиланнями на законодавство;
 загальноновживаними фразами.

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до захисту в ЕК
(подальшого розгляду, друку, опублікування)

на засіданні кафедри Хімічної технології та інженерії
(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій від «13» червня 2025 р. протокол №16.

Керівник підрозділу



(підпис)

К. Шмельцер

Дата «13» червня 2025 р.

ЗГОДА здобувача(чки) освіти Державного університету економіки і технологій
про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії ДУЕТ

Я, *Павленко Лілія Володимирівна*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота («Аналіз та шляхи зменшення витрат поглинального масла для вилучення бензольних вуглеводнів») виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений(а). Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований(на), що відповідно до пункту 5.8 «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» згадана робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ) та ознайомлений(на) з умовами такого розміщення.

13.06.2025 *Лаву*

Декларація
про дотримання академічної доброчесності
під час написання курсової/кваліфікаційної роботи
здобувачем вищої освіти
Державного університету економіки і технологій

Я, *ПАВЛЕНКО Лілія Володимирівна*, здобувач(ка) Шск курсу, групи ХТ-22ск Державного університету економіки і технологій розумію і підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) заборонену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текст в інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

2.06.2025



Л. Павленко