

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Єфремова Андрія Геннадійовича

на тему Вибір та обґрунтування перспективної технології
переробки аміачної води з використанням відпрацьованого
розчину цеху сіркоочистки

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 12.06.2026 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)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Хімічних технологій та інженерії

(підпис) доцент, к.т.н.
Шмельцер К.О.
(посада, вчене звання ,
прізвище, ініціали)
« ____ » _____ 20 ____ року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Єфремова Андрія Геннадійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Вибір та обґрунтування перспективної технології переробки аміачної води з використанням відпрацьованого розчину цеху сіркоочистки

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 №227-ст від «6» квітня 2026 р.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до 01.06.2026р. кафедри

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: компонентний склад коксового газу та ресурси азоту в ньому. Вихід і компонентний склад надсмольної води. Фізико – хімічні основи переробки надсмольної води. Огляд апаратурного оформлення технологічних схем переробки надсмольної аміачної води

4.2 Основна частина: Вибір та обґрунтування перспективної технології переробки аміачної води з використанням відпрацьованого розчину цеху сіркоочистки. Конструктивні особливості аміачної колони. Обґрунтування дослідницьких рішень. Аналіз екологічних аспектів та умов праці у цеху вловлювання коксохімічного виробництва

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 «6» квітня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	12.05.2026	
2.	Основна частина	26.05.2026	
3.	Оформлення пояснювальної записки	29.05.2026	
4.	Подання роботи до кафедри	01.06.2026	
5.	Захист роботи в ЕК	16.06.2026	

Здобувач

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

[illegible]

					ННТІ. 161. КБР. ПЗ				
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата					
Розробив	Ефремов А.Г.				Відомість кваліфікаційної бакалаврської роботи	Літ.		Лист	Лист
Керівник	Шмельцер К.О.					КРБ	Т	1	
Консульт.	Шмельцер К.О.					ННТІ ДУЕТ			
Н.контр.	Шмельцер К.О.					Каф. ХТІ			
Затв.	Шмельцер К.О.					гр. ХТ-22			

АНОТАЦІЯ

Сфремов А.Г. Вибір та обґрунтування перспективної технології переробки аміачної води з використанням відпрацьованого розчину цеху сіркоочистки – Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія». Державний університет економіки і технологій. Кривий Ріг, 2026.

Кваліфікаційна робота присвячена вивченню технології переробки надлишкової аміачної води коксохімічного виробництва та розробці раціональної схеми виділення аміаку з метою підвищення ефективності роботи цеху вловлювання, повнішого використання аміачних ресурсів і зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю вдосконалення процесів очищення надсмольної води, яка характеризується значним вмістом аміаку та інших розчинених домішок, що потребують попереднього видалення перед біохімічною очисткою.

У роботі проаналізовано фізико-хімічні основи технології переробки надлишкової аміачної води, досліджено її компонентний склад та розглянуто різні варіанти апаратного оформлення процесу. Для умов коксохімічного виробництва ПАТ «АМКР» запропоновано використовувати відпрацьований лужний розчин цеху сіркоочистки для розкладання сполук зв'язаного аміаку та переведення його у летку форму.

Встановлено, що кількість надлишкової надсмольної води циклу газозбірника, яка подається до аміачної колони, становить 10600 кг/год, а загальна кількість води, що надходить на переробку разом із циркулюючою водою закритого циклу кінцевого охолодження коксового газу, складає 40 м³/год. Визначено склад аміачної води та встановлено, що відгонка леткого аміаку до залишкового вмісту не більше 0,1 г/л забезпечує ступінь вилучення близько 98 % при витраті пари на дистиляцію 200 ± 10 кг на 1 м³ води.

Показано, що перевагою запропонованої технології є диференційована переробка окремих потоків аміачної води. При переробці конденсату первинних газових холодильників відганяється переважно леткий аміак, тоді як при обробці аміачної води циклу газозбірників за участю лужного розчину цеху сіркоочистки відбувається розкладання зв'язаного аміаку. Такий підхід забезпечує більш раціональне використання реагентів та підвищує ефективність вилучення аміаку.

Для інтенсифікації процесу запропоновано використання піннових тарілок у конструкції аміачної колони. Встановлено, що їх застосування забезпечує збільшення «живого» перетину до 40 % порівняно з решітчастими тарілками та сприяє підвищенню ефективності масопередачі майже у два рази.

У результаті дослідження обґрунтовано доцільність використання відпрацьованого лужного розчину цеху сіркоочистки для переробки надлишкової аміачної води, що дозволяє скоротити витрати хімічних реагентів, раціонально утилізувати стічні води, підвищити ступінь використання аміаку та збільшити виробництво сульфату амонію.

Ключові слова: коксовий газ, аміак, надсмольна вода, відпрацьований розчин сіркоочистки, аміачна колона, стічна вода.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Вихід аміаку при коксуванні вугілля	9
1.2 Вихід і компонентний склад надсмольної води	13
1.3 Хімічна технологія переробки надсмольної води	17
1.3.1 Фізико – хімічні основи переробки надсмольної води	17
1.3.2 Огляд апаратурного оформлення технологічних схем переробки надсмольної аміачної води	20
1.4 Висновки до аналітичної частини	27
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	28
2.1 Вибір та обґрунтування технології переробки аміачної води	28
2.2 Характеристика основного технологічного устаткування	33
2.2.1 Конструктивні особливості аміачної колони	33
2.2.2 Умови ведення процесу переробки надлишкової надсмольної води	41
2.3 Розрахунок дистиляційної колони	47
2.4 Аналіз екологічних аспектів та умов праці у цеху вловлювання коксохімічного виробництва	49
2.5 Висновки до основної частини	57
ВИСНОВКИ	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61

ВСТУП

Під час коксування вугілля виділяється велика кількість водяної пари. При охолодженні коксового газу до 30 °С більша частина цієї пари (95 - 120 кг/год) конденсується з утворенням води газозбірникового циклу (надсмольної) та конденсату первинних газових холодильників. Склад надлишкової надсмольної води залежить від кількісного співвідношення потоків води, що виводиться у вигляді конденсату після первинних газових холодильників (ПГХ), а також з циклу газозбірників, так як дані потоки істотно відрізняються за вмістом характерних розчинених домішок.

Хімічний склад надсмольної води характеризується значним вмістом аміаку загального і летючого, який необхідно виділяти перед подачею аміачної води на біохімічну очистку. Знешкодження надлишкової аміачної води коксохімічного виробництва відбувається на біохімічній установці з попереднім відпаренням аміаку, ціаністого водню, частини діоксиду вуглецю, сірководню та фенолів. Але для запобігання накопичення агресивних солей в воді циклу охолодження коксового газу необхідно виводити нелеткі сполуки, а саме хлориди, сульфати, тіосульфати, ферроціаніди, форміати амонію. Раніше в аміачному відділенні для розкладання солей «зв'язаного аміаку» використовували розчин вапна. Дана операція супроводжувалась установкою додаткового устаткування - спеціальних приколонків, крім цього в процесі утворювався відхід – шлам.

Отже, розробка раціональної схеми виділення аміаку з надсмольної води, яка б забезпечувала б безвідходність, захист атмосфери від забруднення являється актуальною задачею, вирішення якої забезпечить повноту використання ресурсів аміаку, підвищить ефективність роботи цеху вловлювання.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

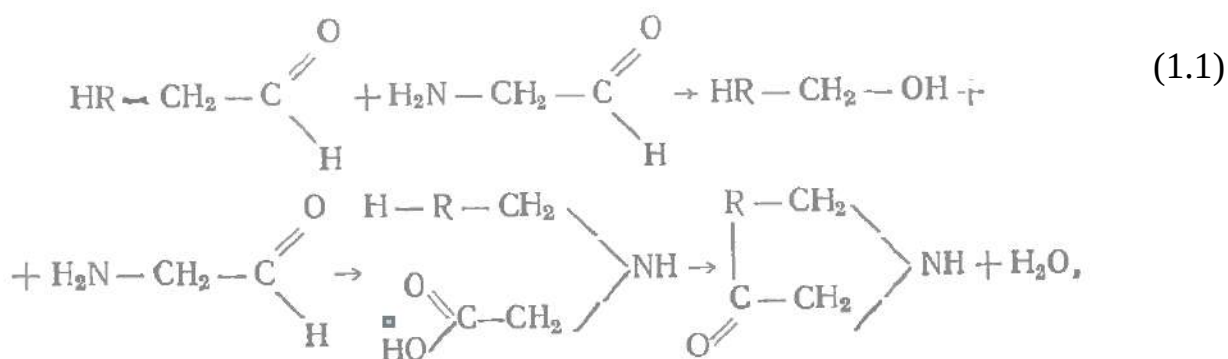
1.1 Вихід аміаку при коксуванні вугілля

Вихід і склад летких продуктів залежать від природи вихідного матеріалу (елементного складу, ступеню метаморфізму, петрографічного складу, вмісту і природи мінеральних домішок), умов термічної переробки (температури, тривалості перебування у зоні високих температур, конструкції печі, тиску, умов евакуації летких продуктів та ін.).

Аміак утворюється при термічному розкладанні кам'яного вугілля в процесі коксування. Ресурси аміаку залежать від вмісту азоту та кисню у вугіллі та від умов коксування.

Роботами низки дослідників встановлено, що джерелом походження азоту і кисню у вугіллі є переважно нижчі і вищі рослинні організми, і навіть найпростіші тваринні організми періоду утворення вугілля.

Азот- та кисневмісні органічні сполуки рослинного та тваринного походження під впливом фізико-хімічних, біологічних та геологічних факторів у процесі вуглеутворення можуть перетворюватися на амінокислоти, які, реагуючи з альдегідами, кетонами, спиртами та найпростішими вуглеводами, при розкладанні утворюють гетероциклічні кисень- та азотовмісні сполуки. Хімізм цього процесу можна простежити приблизно за такою схемою:



де R – радикал, наприклад $-\text{CH}_3-$, $-\text{C}_2\text{H}_5$ і так далі.

Подальше розкладання цих сполук призводить до реакцій конденсації та полімеризації з утворенням складних та стійких гетероциклічних сполук. Кірнер і Кревелен відмічають, що азот та кисневмісні органічні сполуки вугільної маси є або гетероциклічними сполуками, у яких азот і кисень служать сполучними атомами, або складними високомолекулярними сполуками, у яких кисень та азот особливо міцно пов'язані.

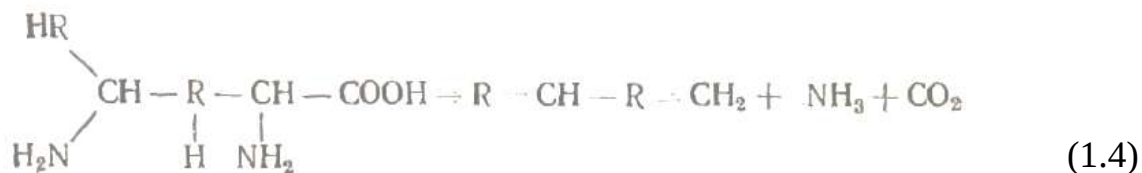
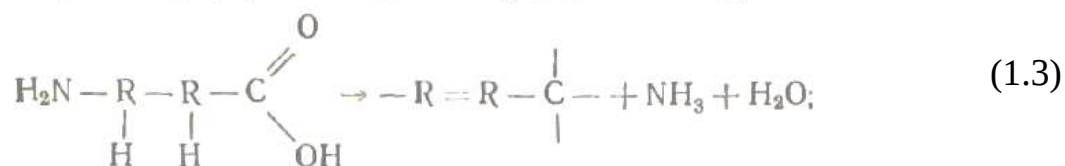
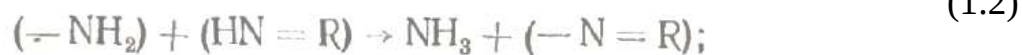
Весь азот і переважна частина кисню, що містяться в кам'яному вугіллі, входять до складу його органічної маси і знаходяться у відносно стійких формах до піролізу, хоча це більш характерне для зв'язків азоту.

Міцність зв'язку азоту у вугіллі підтверджується тим, що при нагріванні вугілля до 500-600 °C азотовмісні сполуки не розкладаються до утворення аміаку; при цих температурах утворюється лише незначна частина піридинових основ.

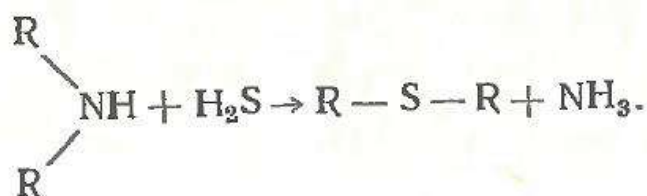
При 650-700 °C і вище вугільна речовина розкладається з утворенням значної кількості аміаку та інших азотовмісних сполук.

Макромолекула вугілля містить у собі конденсовану ароматичну систему – ядро, що складається з кількох шестичленних циклів та пов'язаних із ними периферійних бічних груп. До складу бічних груп, що оточують ядро, входять вуглеводневі радикали, кисень, азотгідроксильні та карбоксильні групи, сірка та інші. Атоми азоту та кисню утримуються в молекулі вугілля в гетероциклічних кільцях або пов'язані з іншими вуглецевими ядрами великої молекулярної маси. Сутність хімічного перетворення вугілля під впливом високих температур зводиться до відриву бічних груп від ядра макромолекули, взаємодії цих груп між собою та ядром, а також взаємодії між ядрами.

Так, сполуки, що входять в макромолекулу вугілля, що містять азот у вигляді аміногруп або похідних аміногруп, можуть утворити аміак, наприклад, за такими схемами:



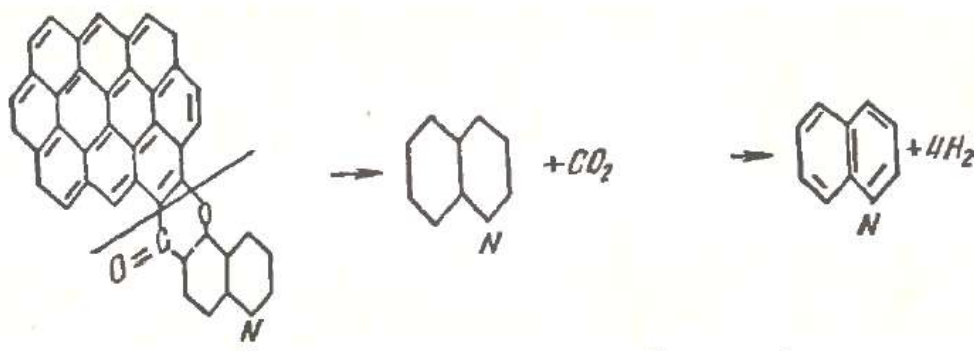
або при обміні азотистих сполук із сірководнем коксового газу за реакцією



(1.5)

Імовірно, можна сказати, що при термічній деструкції органічної маси твердого палива, азотовмісні сполуки піддаються ряду перетворень, що супроводжуються утворенням як аміаку, так і гетероциклів основного характеру.

Графічне зображення розпаду ароматичної моделі макромолекули (або її частини) із утворенням основних гетероциклів можна показати наступною схемою:



(1.6)

З викладеного робимо висновок, що здатність вугілля утворювати аміак визначається кількістю азотвмісних сполук.

На утворення та вихід аміаку при коксуванні кам'яного вугілля впливає вміст азоту у вугіллі, хімічний вік (метаморфізм) вугілля, а також температура та швидкість коксування, волога шихти, температура та час перебування летких продуктів у підсклепінному просторі коксової камери та ін.

При 800-900 °C вже 6-8% піридинових ядер переходить в ціаністий водень, а при температурі вище 900 °C піридинові основи повністю розкладаються.

Наведені дані свідчать про те, що технологія коксування та склад шихти мають вирішальний вплив на утворення та вихід аміаку та піридинових основ.

На ступінь утворення та вихід аміаку впливає ступінь метаморфізму палива.

Молодше вугілля, для якого характерна менша ступінь метаморфізму, у процесі коксування дають більший вихід хімічних продуктів, ніж старе.

В роботах Гофмана [3] показано, що, впливаючи на молоде вугілля мінеральними кислотами, можна з них витягти деяку кількість сполук, які містять азот. При цьому дістаються азотвмісні сполуки основного характеру.

З вугілля високого ступеня метаморфізму азот та його похідні не можна дістати мінеральними кислотами. Це говорить про те, що в старому вугіллі ступінь конденсації і полімеризації органічної маси настільки велика, а форми зв'язку азоту в молекулі настільки міцні, що групи азоту, що мають основний характер у молодому вугіллі, втрачають ці властивості в старому вугіллі; причому властивості застосовуються тим більше, чим вище ступінь метаморфізму вугілля.

Кірнер, Агроскін у своїх роботах [4] припускає, що в процесі вуглеутворення схильні до реакцій периферійні аміно- та іміногрупи,

присутні в молодому вугіллі, взаємодіють з іншими групами, наприклад карбонільними, гідроксильними, карбоксильними і метоксильними, перетворюючись при цьому з груп основного характеру на групи, що не мають основні властивості тобто при підвищенні ступеня метаморфізму збільшується кількість азоту неосновного характеру. Отже, при коксуванні кам'яного вугілля навіть з однаковим вмістом азоту, але різним ступенем метаморфізму вихід аміаку та інших азотовмісних продуктів коксування буде різним. Наприклад, при коксуванні газового вугілля, жирного вугілля та антрацитів в аміак переходить азоту відповідно до 30% і не більше 26%.

Причому для більшого виходу аміаку та піридинових основ із вугілля високого ступеня метаморфізму необхідні більш жорсткі умови коксування. Це пов'язано з підвищенням температури коксування, отже, і з перегріванням газоподібних продуктів і наступним розкладанням в коксовій камері.

Вміст азоту у вугіллі різних марок коливається у невеликих межах.

Азот при термічному розкладанні вугілля розподіляється у певному співвідношенні між леткими продуктами коксування та твердим залишком. У газоподібних продуктах він міститься головним чином у вигляді вільного азоту та його оксидів (30-35%), аміаку (10-15%) та легких піридинових основ (0,07-0,1%); у кам'яновугільній смолі та надсмольній воді – у вигляді піридинових й хінолінових основ та інших органічних азотовмісних речовин, ціанідів та роданідів (до 4%) та у твердому залишку (45–60%).

У вугіллі сибірських родовищ азоту міститься більше, ніж у вугіллі Донецького басейну (1,8-3,0%). У зв'язку з цим вміст аміаку та піридинових основ у прямому коксовому газі, отриманому з сибірських родовищ набагато перевищує вміст їх у газі, отриманому з Донецького вугілля.

Петренко [5] вивчав залежність виходу піридинових основ та аміаку від вмісту газового вугілля з промислових шихтах. Така залежність була отримана на одному з коксохімічних заводів і підтверджується результатами, отриманими протягом наступних років (табл. 1.1).

З табл. 1.1 видно, що при збільшенні частки участі в шихті коксування газового вугілля з 9,0 до 18,7 % вміст аміаку та піридинових основ у прямому коксовому газі відповідно підвищився з 6,34 та 0,176 до 7,31 та 0,315 г/м³, хоча вихід летких продуктів коксування практично не змінився, а температура підсклепового простору коксової камери навіть підвищилася, що, як відомо, призводить до збільшення ступеня розкладання гомологів піридину.

Таблиця 1.1

Залежність виходу аміаку та піридинових основ від вмісту газового вугілля з шихти для коксування

Вміст газового вугілля в шихті	Температура підсклепового простору коксової камери, °C	Вихід летких речовин, %	Вміст в прямому газі, г/м ³	
			аміаку	піридинових основ
9,00	763	-	6,34	0,176
10,15	700	27,60	6,40	0,181
11,58	748	26,85	6,92	0,240
11,15	777	26,62	7,20	0,246
9,75	789	26,85	7,65	0,242
10,64	786	26,21	7,55	0,300
14,80	815	26,42	8,33	0,300
17,00	817	26,49	7,75	0,290
18,70	826	26,50	7,31	0,315

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5].

Прямий коксовий газ переробляється в хімічних цехах коксохімічного підприємства. Процес переробки зводиться до охолодження коксового газу і виділенню з нього кам'яновугільної смоли, вилучення аміаку, нафталіну, піридинових основ, ароматичних вуглеводнів, сірководню і ряду інших продуктів.

Вихід окремих хімічних продуктів високотемпературного коксування з 1 т сухої шихти коливається в межах, % (табл. 1.2) [2].

Таблиця 1.2

Вихід окремих хімічних продуктів коксування

Компонент	Вихід, %
Коксовий газ (зворотний, сухий)	14 – 16
Кам'яновугільна смола	3,0 – 4,0
Пірогенетична волога	1,8 – 3,0
Сирий бензол	0,8 – 1,20
Сірководень	0,5 – 2,5
Аміак	0,26 – 0,4

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [2].

Аміак це газоподібна речовина, його щільність $0,7714 \text{ кг/м}^3$. З повітрям аміак утворює вибухонебезпечну суміш з межами вибуховості: нижній 14 %, верхній 33 % (об'єму); температура займання аміаку 780°C . Аміак дуже токсичний, має різкий запах, що відчувається при концентрації його в повітрі $0,04 \text{ г/м}^3$. Гранично допустима концентрація аміаку в робочій зоні виробничих приміщень 20 мг/м^3 .

Аміак добре розчиняється в воді при низьких температурах. Нижче наводиться розчинність аміаку в 100 мл води (по масі):

Температура, $^\circ\text{C}$	20	30	40	70	80	90
Розчинність	53,1	44,0	30,4	10,4	6,1	2,6

Здатність газоподібного аміаку розчинятися у воді навіть при $70 - 80^\circ\text{C}$ обумовлює часткове виділення його надсмольною водою в стояках і газозбірниках. При охолодженні газу в первинних холодильниках у водному конденсаті, який утворився - надсмольній воді – міститься 10 – 20 % аміаку в літній період і 20 – 50 % в зимовий час (від його ресурсів в газі). Інша частина аміаку (50 – 70 %) надходить з газом в цех уловлювання [4].

Аміак є джерелом для отримання азотних добрив (сульфат амонію) і основним реагентом для виділення піридинових основ в сульфатно-

піридиновому відділенні цеху уловлювання. Очищення коксового газу від аміаку необхідне і з наступних причин:

- в присутності кисню, водяної пари, сірководню і ціаністого водню в коксовому газі аміак визиває сильну кородуючу дію на апаратуру і газопроводи;
- ускладнює уловлювання бензольних вуглеводнів з коксового газу, так як викликає швидке псування поглинального масла, порушення технологічного режиму;
- при використанні коксового газу для побутових цілей він утворює в топках отруйні оксиди азоту.

Виділення аміаку з газу є неодмінною умовою нормальної роботи коксохімічного виробництва і обов'язково при використанні газу для побутових цілей.

Виділення аміаку з КГ може здійснюватися двома способами: 1) поглинанням холодною водою в апаратах, які отримали назву скрубєрів, заснованому на високій розчинності аміаку у воді; 2) поглинання сірчаною кислотою в апаратах барботажного типу - сатураторах (або абсорберах), заснованому на реакції нейтралізації аміаку сірчаною кислотою. У промисловості широке застосування отримав другий спосіб [4].

1.2 Вихід і компонентний склад надсмольної води

Коксовий газ, що виходить з підсклепінного простору коксових камер має температуру 650 - 750 °С і містить значну кількість парів смоли і води. Для здійснення технологічних процесів в цеху уловлювання коксовий газ повинен бути охолоджений і звільнений від парів смоли і води.

Тому першою і обов'язковою технологічною операцією, якій піддається газ по виході з печей, є процес охолодження, який зумовлює конденсацію водяної пари і смоли.

Охолодження газу здійснюється в дві стадії: а) в колінах стояків і в газозбірниках коксовий печей до 86 - 90 °С при зрошенні газу надсмольною аміачною водою, яка під напором 100 - 150 кПа (1,0 - 1,5 атм) інтенсивно розпилюється спеціальними форсунками, установленими в колінах стояків і в газозбірниках; б) в первинних газових холодильниках до 25 - 35 °С, розташованих на початку траси цеху уловлювання. Так як охолодження газу супроводжується конденсацією з нього пари води і смоли, це відділення отримало назву відділення охолодження газу і конденсації смоли. Ця температура є оптимальною, при якій відбувається уловлювання з газу бензольних вуглеводнів, сірководню і аміаку [1, 5].

При охолодженні коксового газу в первинних газових холодильниках до 30 °С більша частина цих парів (95 – 120 кг/год) конденсується з утворенням надсмольної води, а менша частина (15 кг/год) уноситься з коксовим газом. Надсмольна вода, яка утворюється при охолодженні прямого коксового газу, поглинає вміщені в ньому аміак, вуглекислий газ, сірководень, ціаністий водень, а також феноли, піридинові основи та інші сполуки. Кількість розчинених у воді речовин може змінюватись в широких межах в залежності від якості вугілля і умов коксування, а також від умов і схеми охолодження газу.

Відділення повинні забезпечити охолодження коксового газу, виділення з нього смоли, нафталіну, водяної пари; відстоювання надсмольної води від смоли і фусів, а також відстоювання, зневоднення і обеззолена смоли до встановлених технічними умовами норм; відстоювання конденсату первинних газових холодильників.

У результаті такого охолодження газу різко зменшується його об'єм, що знижує енергетичні витрати на його транспортування по газовій трасі хімічного заводу і створює умови для нормальної роботи цеху уловлювання.

У надсмольній аміачній воді, яка утворилася при охолодженні коксового газу у стояках, газозбірниках та в первинних холодильниках, більша частина аміаку знаходиться у вигляді різних солей. Їх наявність у надсмольній воді обумовлюється тим, що одночасно з аміаком з газу

поглинається сірководень, вуглекислота, хлористий водень, ціанистий водень і інші кислі гази, з якими аміак вступає в хімічну взаємодію з утворенням відповідних солей [5].

Деякі з цих солей (вуглекислий амоній, сірчистий амоній та ціанистий амоній) настільки нестійкі, що при нагріванні їх водних розчинів до температури, близької до температури кипіння, вони розкладається, виділяючи аміак і відповідні гази: H_2S , CO_2 та HCN . Зв'язаних у виді таких солей аміак називається летючим.

Хлористий амоній, роданистий амоній, сірчаноокислий амоній належать до групи стійких з'єднань, які при нагріванні не руйнуються. Для виділення з них аміаку необхідно застосувати хімічні способи обробки. Аміак, що міститься в надсмольній воді у вигляді цих солей називається зв'язаним. Його можна виділити із солей, впливаючи на них більш сильним лугом, ніж аміак, наприклад розчином гашеного вапна. Після розкладання зв'язаних солей повинна бути проведена дистиляція (як при виділенні летючого аміаку).

Крім аміаку і амонійних солей, надсмольна вода містить невелику кількість фенолів, піридинових основ, легких мастил та нафталіну [3].

Аміак, який міститься у надсмольній воді у вигляді летючого і зв'язаного, прийнято називати загальним аміаком. Хімічний склад надсмольної аміачної води характеризують вмістом в ній загального аміаку, окремо летючого, кислот, основ і нейтральних домішок.

Однією з основних функцій відділення конденсації є зрошення газозбірників надсмольною водою, ретельно очищеної від домішок (смоли, фусів і т.д.). У цьому відділенні є два різновиди надсмольної води: вода, яка циркулює між освітлювачами і газозбірниками; конденсат газових холодильників.

У газозбірнику частина надсмольної води, що зрошує випаровується і конденсується разом з вологою шихти і пірогенетичної води. Поповнення частини води циклу газозбірників, що випарувалася, здійснюється за рахунок конденсату газу циклу холодильників. Надлишок води направляється в

аміачну установку для виділення аміаку. По хімічному складу ці води не однакові. У воді циклу газозбірників переважають зв'язані солі амонію (NH_4Cl , NH_4CNS і ін.), а у воді циклу холодильників переважають солі летючого аміаку ($(\text{NH}_4)_2\text{S}$, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$), тобто солі, які при підвищенні температури розкладаються. Приблизний склад надсмольної води приведений в табл.1.3 [1, 3].

Таблиця 1.3

Склад надсмольної води, г/л

Компоненти	Вода циклу газозбірників	Конденсат після ПГХ
Аміак летючий	0,8 – 1,2	4 – 10
Аміак зв'язаний	8 – 12	0,3 – 0,6
Cl^-	14 – 18	0,4 – 0,6
CNS^-	4 – 6	0,2 – 0,3
$\text{S}_2\text{O}_3^{-2}$	0,6 – 1,2	0,2 – 0,3
SO_4^{-2}	1 – 2	0,6 – 0,8
CN^-	0,2 – 0,3	0,3 – 0,6
Діоксид вуглецю	0,3 – 0,4	3 – 4
Сірководень	0,2 – 0,3	2 – 4
Феноли	0,8 – 1,2	1,0 – 1,4
Піридинові основи	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [3].

За даними таблиці 1.3 видно, що склад надлишкової надсмольної води, яка подається на переробку в аміачну колону, залежить в значній мірі від місця її виводу. При виводі води на переробку тільки із циклу газозбірника вміст в ній летючого аміаку мінімальний, а в коксовому газі після первинних холодильників максимальний.

Практично встановлено, що ефективне розділення смоли і води в циклі газозбірника проходить при накопиченні амонійних солей до концентрації не

вище 15 г/л в перерахунку на аміак. Зазвичай концентрацію зв'язаного аміаку у воді циклу газозбірника підтримують на рівні 10 г/л, для чого із цього циклу виводять 25 – 35 кг води на 1 т сухої шихти на переробку разом з надлишковою надсмольною водою. Через високу температуру надсмольної води циклу газозбірника вміст летючого аміаку в ній не перевищує 0,5 – 0,6 г/л.

Конденсат, який утворюється при охолодженні газу в первинних холодильниках (аміачна вода), має переважно летючий аміак, концентрація якого залежить від вмісту аміаку у коксовому газі та температури конденсату. В холодильниках з горизонтальними трубами конденсат на виході має більш низьку температуру, ніж в холодильниках з вертикальними трубами, тому він більш насичений аміаком і іншими газами. При охолодженні коксового газу до 25 – 35 °С в газовий конденсат переходить 10 – 30 % загальних ресурсів аміаку. При цьому вміст зв'язаного аміаку в ньому зазвичай невеликий (0,3 – 0,6 г/л) і обумовлений головним чином відносом бризків води із газозбірника.

Аміак, що виділяється при переробці надсмольної води направляється в сатуратор (або абсорбер) – для виробництва сульфату амонію чи в нейтралізатор піридинової установки – для виділення легких піридинових основ [5].

Сумарна кількість води, яка підлягає переробці в аміачних відділеннях, визначається водним балансом відділення конденсації та первинного охолодження коксового газу.

При низькому вмісті в надлишковій надсмольній воді зв'язаного аміаку (менше 1 г/л) його вилучення стає економічно невиправданим і на багатьох заводах зазвичай не проводиться, хоча при наступному використанні отриманої стічної води для гасіння коксу хлористий амоній, який міститься у ній, розкладається з виділенням соляної кислоти, яка визиває сильну корозію гасильної установки. В залежності від того, чи використовується на підприємстві весь аміак, який міститься у воді, або тільки летючий, використовують різноманітні схеми переробки надсмольної води.

При схемі конденсації з трубчатими холодильниками змішування вод циклів газозбірника і холодильника не тільки допустиме, але і бажане, так як в результаті цього припиняється накопичення хлористих і роданистих (тобто найбільш корозійно-активних) солей амонію. В результаті змішування вод, вміст цих солей знижується в 6-8 разів [3].

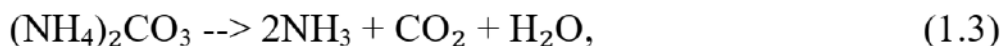
1.3 Хімічна технологія переробки надсмольної води

1.3.1 Фізико – хімічні основи переробки надсмольної води

Технологічні схеми переробки надсмольної води тісно пов'язані з роботою сульфатного та піридинового відділення. Для переробки надсмольної води застосовується процес десорбції (відгонка), тобто виділення розчиненого аміаку з надсмольної води гострою парою в дистиляційних колонах з тарілками ковпачкового типу при 100 – 102 °С.

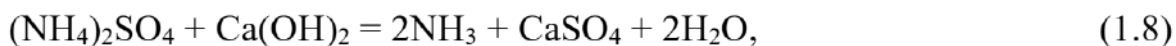
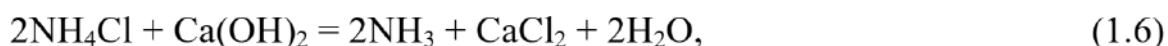
Переробка надсмольної води включає наступні технологічні операції: відгонка з надсмольної води летючого аміаку у випарній колоні; обезфенолення води паровим методом; розкладання солей зв'язаного аміаку в реакторі розчином соди; відгонка зв'язаного аміаку в приколону тарілчастого типу [1].

Процес виділення летючого аміаку з надсмольної води заснований на різкому зменшенні розчинності в воді аміаку, вуглекислоти, сірководню, ціанистого водню, при підігріві води до 98 – 100 °С. При цьому відбувається розкладання вуглекислих, сірчаних та ціанистих солей амонію і виділення аміаку і інших газів за реакціями:



Відгонка парів і газів, що утворились з надсмольної води відбувається в випарній колонії гострою парою.

Для виділення зв'язаного аміаку воду, з якої попередньо вилучений летючий аміак і феноли, обробляють розчином гашеного вапна (вапняним молоком). При цьому відбуваються такі реакції [4]:



Ці реакції протікають при інтенсивному перемішуванні надсмольної води, що має температуру 102 - 105 °С, з вапняним молоком. Відпрацьована розчином гашеного вапна надсмольна вода піддається дистиляції з застосуванням гострої пари.

Розкладання зв'язаного аміаку дозволяє більш повно використовувати його ресурси, тобто збільшити вироблення сульфату амонію і, крім того, перевести розчинені у воді хлориди, роданіди і сульфати в більш стійку до

температурного впливу форму. Використання такої води для гасіння коксу знижує корозійну активність парів, які при цьому утворюються, так як солі кальцію і лужних металів більш стійкі в порівнянні з амонійними солями, термічний розклад яких супроводжується вивільненням кислот.

Застосування гідроксиду кальцію у вигляді вапняного молока для розкладання зв'язаного аміаку пов'язане з істотним ускладненням схеми переробки надлишкової води, крім того, сульфат кальцію (гіпс), що утворюється при розкладанні сульфату амонію має низьку розчинність і виділяється у вигляді тонко дисперсної суспензії, яка відкладається на стінках технологічної апаратури та комунікацій. Застосування в якості реагенту розчину кальцинованої соди істотно спрощує схему вузла розкладання зв'язаного аміаку, а натрієві солі, що утворилися при цьому в умовах процесу переробки води не випадають в осад.

Процес розкладання зв'язаного аміаку здійснюється після виділення з надлишкової води летючого аміаку. При роздільній переробці води циклу газозбірників і конденсату ПГХ розкладанню може піддаватися лише зв'язаний аміаку, що міститься в газозбірниковій воді [3].

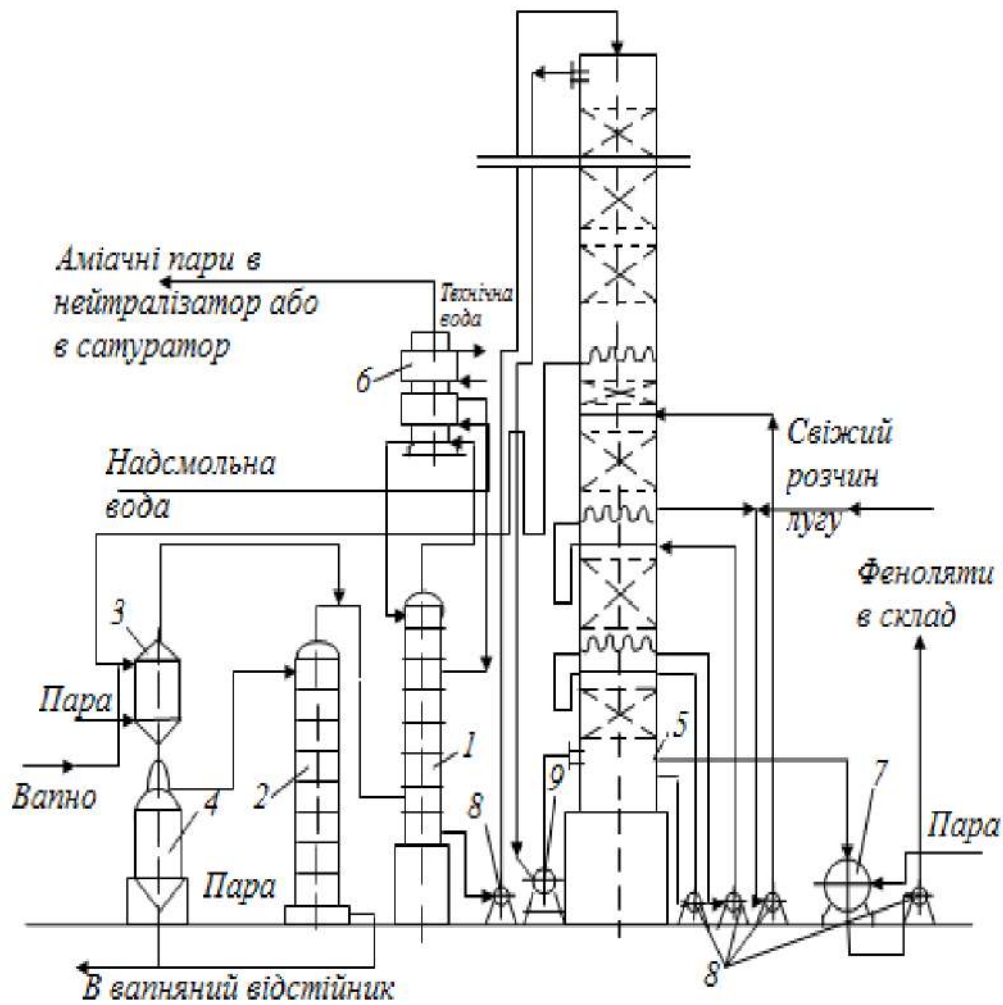
Багато коксохімічних підприємств працюють за схемою, коли на переробку направляють надсмольна вода усередненого складу в вигляді суміші водяного конденсату газу первинних газових холодильників (ПГХ) і води газозбірникового циклу. Надлишкова надсмольна вода в кількості, що відповідає технологічним розрахунками, відбирається з напірного колектора насосів, що подають надсмольну воду на зрошення газозбірників коксової батареї і направляється на відстоювання від смоли у відстійники і резервуари, які послідовно працюють.

1.3.2 Огляд апаратурного оформлення технологічних схем переробки надсмольної аміачної води

Технологічна схема переробки і очищення надсмольної води з паровим обезфеноленням і розкладанням зв'язаного аміаку вапном приведена на рис. 1.1 [3]. Надсмольна вода підігрівається аміачними парами в трубчатці нижньої секції дефлегматора 6 і поступає на живильну тарілку вичерпної частини аміачної колони 1 при температурі у межах 70 – 90 °С. При низхідному переміщенні її по тарілках вичерпної частини колони 1 і багаторазовому контакті з висхідним потоком водяної пари вода підігрівається до температури кипіння, відповідної тиску в колоні, а нестійкі амонійні солі, що містяться в ній розкладаються з вивільненням аміаку і кислих газів, які разом з іншими летючими домішками (піридинові основи, феноли та ін.) десорбують в парову фазу.

Очищена від летючого аміаку і кислих газів вода з низу колони 1 при температурі понад 100 ° С надходить в проміжний збірник (на рисунку не показаний), потім насосом 8 подається на зрошення верхньої (десорбційної) частини обезфенолюючого скрубера 5, де в результаті обробки водяною парою з неї відганяються феноли до залишкового вмісту близько 250 мг/л.

Стічна вода з верхньої частини скрубера 5 надходить самопливом в реактор 3, попередньо змішуючись з вапняним молоком, що містить 60 - 70 г/л СаО. Сюди ж подається гостра пара з метою підвищення тиску і, як наслідок, температури водовапняної суміші до рівня близько 115 °С.



- 1 – аміачна колона; 2 – вапняний приколонок; 3 – реактор;
 4 – відстійник; 5 – обезфенолюючий скруббер; 6 – дефлегматор;
 7 – збірник фенолятів; 8 – насоси; 9 – вентилятор.

Рис. 1.1. Схема переробки надсольної води з розкладанням солей зв'язаного аміаку і обезфеноленням

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [3].

Такі умови в реакторі 3 створюють з метою більш повного виділення з розчину в тверду фазу гіпсу, що утворився, розчинність якого знижується з підвищенням температури. З реактора 3 суміш надходить у відстійник 4, звідки попередньо освітлена вода, що містить аміак який вивільнився, направляється на верхню тарілку приколону 2 з метою видалення аміаку і виводиться в вапняний відстійник для остаточного освітлення [3].

Пароаміачна суміш з низьким вмістом аміаку з приколону 2 і з реактора 3 поступає під відповідну тарілку колони 1 у якості фази – носія. Аміачні пари, які виводяться з колони 1 при температурі 101 – 102 °С, віддають частину тепла вихідній, а також технічній воді, яка подається в трубчатку верхньої секції дефлегматора 6, охолоджуючись при цьому до температури 94 – 97 °С з конденсацією флегми. Концентровані аміачні пари після дефлегматора 6 використовуються по призначенню – на обезпіридинення маточного розчину чи у газопровід перед сульфатним відділенням, а флегма, яка містить 2 – 3 % аміаку, направляється на живильну тарілку зміцнювальної частини колони 1.

Виділенні з води феноли у десорбційній частині скрубера 5 виводяться з циркулюючим водяним паром і вентилятором 9 подаються в нижню абсорбційну його частину, яка споруджена ступінчатою (ярусною) системою зрошення з автономним циркуляційним контуром в кожному ярусі. У нижньому ярусі зрошення циркулює найбільш міцний фенолятний розчин, в якому не менше 50 % загального лугу пов'язано в вигляді фенолятів натрію. З нижнього ярусу феноляти у вигляді товарного продукту виводяться в збірник 7, забезпечений паровим підігрівачем, який використовується при необхідності для концентрування фенолятного розчину, при цьому його циркуляційний контур одночасно поповнюється відповідною кількістю фенолятного розчину з розташованого вище ярусу, в якому частка лугу, що не прореагувала, від загального її місту в розчині становить близько 70 – 80 %. Завдяки збільшеному надлишку лугу, що знижує ступінь гідролізу фенолятів, створюються сприятливі умови для абсорбції фенолів з парової

фази. Верхній ярус абсорбційної частини скрубера 5 зрошується розчином з мінімальним вмістом фенолятів натрію і максимальним містом вільного лугу завдяки поповненню циркуляційного контуру гарячим розчином свіжого лугу, що містить 8 – 10 % NaOH. Тут відбувається найбільш повне вилучення фенолів з циркулюючої пари, яка проходить через краплевідбійники і знову надходить у верхню (десорбційну) частину скрубера 5. Визначальними факторами оптимізації температурного режиму і тиску в обезфенолюючому скрубери є температура води, що надходить в десорбційну частину, а також підігрів фенолятів натрію в циркуляційному контурі зрошення нижнього ярусу за допомогою вбудованого або виносного парового підігрівача (на рис. не показано).

Секціонування обезфенолюючого скрубера 5 забезпечено за рахунок перегородок, проникних для пари, які поділяють апарат на десорбційну і абсорбційну частини, а яруси в абсорбційній частині - між собою. У первинному варіанті конструкції апарату десорбційна частина була заповнена дерев'яної хордовою насадкою, а яруси абсорбційної частини - металевою спіральною насадкою. Вдосконалений варіант типового апарату конструкції Гіпрококсу є обезфенолююча колонна з ґратчастими (в десорбційній частині) і сітчастими (в абсорбційній частині) тарілками.

Нижче представлені значення показників технологічного режиму процесу очищення надлишкової надсмольної води від летючого і зв'язаного аміаку і фенолів з отриманням товарних фенолятів [3, 6]:

Температура, °С:

вихідної надсмольної води	40 – 60
надсмольної води після дефлегматора	80 – 90
парів після аміачної колони	102
парів після дефлегматора	94 – 97
води після приколону	109
води в обезфенолюючому скрубери	100 – 102
циркулюючого пара	101 – 103

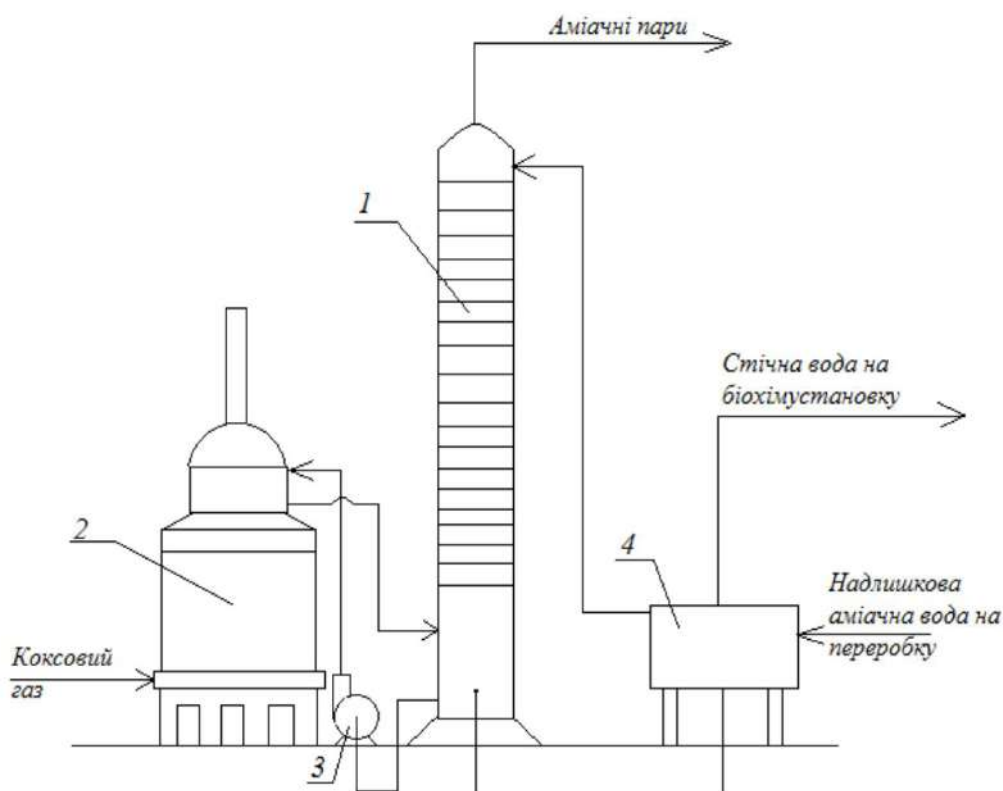
розчину лугу в скрубєрі	102 – 103
циркулюючих фенолятів	105 - 115
Тиск, кПа:	
парів на виході з колони	10 – 25
внизу колони	20 – 35
парів в скрубєрі	9 – 13
Вміст, г/л:	
аміаку в стічній воді, менше	0,15
фенолів у воді перед скрубєром	1,5 – 2,3
фенолів у воді після скрубєра	0,2 – 0,3
Концентрація, %:	
лугу в вихідному розчині	6 – 10
фенолів в фенолятах	15 – 18
вільного лугу в фенолятах	5 – 7
Кількість циркулюючого пара в	
обезфенолюючому скрубєрі, м ³ /м ³ води	1400 – 2000
Щільність зрошення циркулюючими	
фенолятами, м ³ /(м ³ ·год)	5

Процес відгону летючого аміаку з надлишковою аміачної води здійснюється при подачі пари високого тиску в аміачні дистиляційні колони. Витрата його при цьому становить 0,25 - 0,30 т/м³ води, що переробляється; відповідно для переробки 100 м³/год аміачної води потрібно 25 - 30 т/год гострої пари. При цьому кількість стічної води з колони збільшується на 25 – 30 % і становить 125 - 130 м³/год внаслідок переходу конденсату пари в стічні води. Тому питання зменшення витрати пари на одиницю аміачної води, що переробляється є актуальним і викликає інтерес з точки зору як власне економії пара, так і зменшенням стічних вод і витрат на їх переробку.

Для виключення переходу гострого пара в стічні води може бути застосований випарник, який встановлюється в кубовій частині

дистиляційної аміачної колони. Така схема виключає його перехід в стічні води, проте витрата його у вигляді глухої пари зберігається.

Гіпрококс запропонував технологічну схему, яка змінює принцип відгону аміаку з надлишкової аміачної води з виключенням застосування гострого технологічної пари. З цією метою пара, необхідна для відгону аміаку з надлишкової води, генерується в спеціально встановленій трубчастій печі. Аміачна стічна вода циркулює в системі за схемою: аміачна колона (кубова частина) - насос - трубчаста піч - аміачна колона (дивись рис 1.2) [7, 8].



1 – аміачна колона; 2 – трубчаста піч; 3 – насос; 4 – теплообмінники

Рис. 1.2. Принципова схема виділення аміаку з аміачної води в аміачних колонах із застосуванням трубчастої печі

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [8].

Така пропозиція обумовлена ще й тим, що деякі коксохімічні виробництва відчувають нестачу в теплоносіях (парі).

Для нагріву стічної води в кубовій частини аміачної колони застосовують прості і дешеві циліндричні трубчасті печі ЦС1 зі спеціальним змійовиком.

Подачу води через змійовик трубчастої печі здійснюють за допомогою насоса з продуктивністю, що забезпечує кратність циркуляції, необхідну для випаровування певної кількості води.

Прийнята примусова циркуляція в системі: «аміачна колона - насос - трубчаста піч - аміачна колона» має кратність, що дорівнює 12,5 (кратність визначається відношенням об'єму циркулюючої води до її частини, що випаровується). В системі нагріву води в трубчастої печі підтримується необхідний тиск, що забезпечує перегрів води. Температура перегріву приймається такою, що забезпечує ефективну тепло напруженість для змійовика печі і виключає його корозію. Нагрівання води відбувається без кипіння в трубах печі, що виключає розкладання солей, утворення парової фази і знижує корозійну активність потоку.

Перед колонами тиск води скидається регулюючим клапаном до тиску 1,2 ат, який відповідає надлишковому тиску в нижній частині колони. Частина перегрітої циркулюючої води при цьому випаровується, цієї кількості парів досить для відгону летючого аміаку в колоні.

Для відгону летючого аміаку із застосуванням трубчастої печі придатні аміачні колони конструкції Гіпрококсу, потрібно лише невелика реконструкція кубової частини.

Підготовка надлишкової аміачної води до переробки полягає, як зазвичай, в очищенні її від смолистих речовин. Розкладання зв'язаних солей аміаку також здійснюється за звичайною схемою. Для переробки надлишкової аміачної води в кількості 30 - 35 м³/год на аміачній колоні діаметром 1400 мм потрібно встановити: трубчасту піч корисною теплопродуктивністю 5·10⁶ ккал/год; насос для циркуляції стічної води продуктивністю 100 - 120 м³/год (тиск до 12 кг/см²). Витрата коксового газу на трубчасту піч становить ~ 1600 м³/год. Перевагами розглянутої схеми

являється економія пари низького тиску близько 8 т/год, зменшення кількості стічних вод та споживання свіжої води, забезпечення вмісту леткого аміаку 0,08 г/л в стічній воді [7, 8].

1.4 Висновки до аналітичної частини

1. Розглянуто вихід і компонентний склад надсмольної води та технологічні схеми переробки надсмольної води.

2. Встановлено, що у воді циклу газозбірників переважають зв'язані солі амонію (NH_4Cl , NH_4CNS і ін.), а у воді циклу холодильників солі летючого аміаку ($(\text{NH}_4)_2\text{S}$, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$), тобто солі, які при підвищенні температури розкладаються.

3. Визначено, що при виводі води на переробку тільки із циклу газозбірника вміст в ній летючого аміаку мінімальний, а в коксовому газі після первинних холодильників максимальний. Вміст летючого (вільного) аміаку 4-10 г/л циклу холодильників вище, чим у воді циклу газозбірників 0,8-1,2 г/л.

4. З огляду вивчення технології переробки аміачної надсмольної води доцільним є окрема переробка газового конденсату та води циклу газозбірника, що пов'язано з різним вмістом солей зв'язаного та леткого аміаку. При переробці надлишкової води газозбірникового циклу (надсмольної води) вміст леткого аміаку в ній є мінімальним, тому розкладанню буде підлягати тільки зв'язаний аміак.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

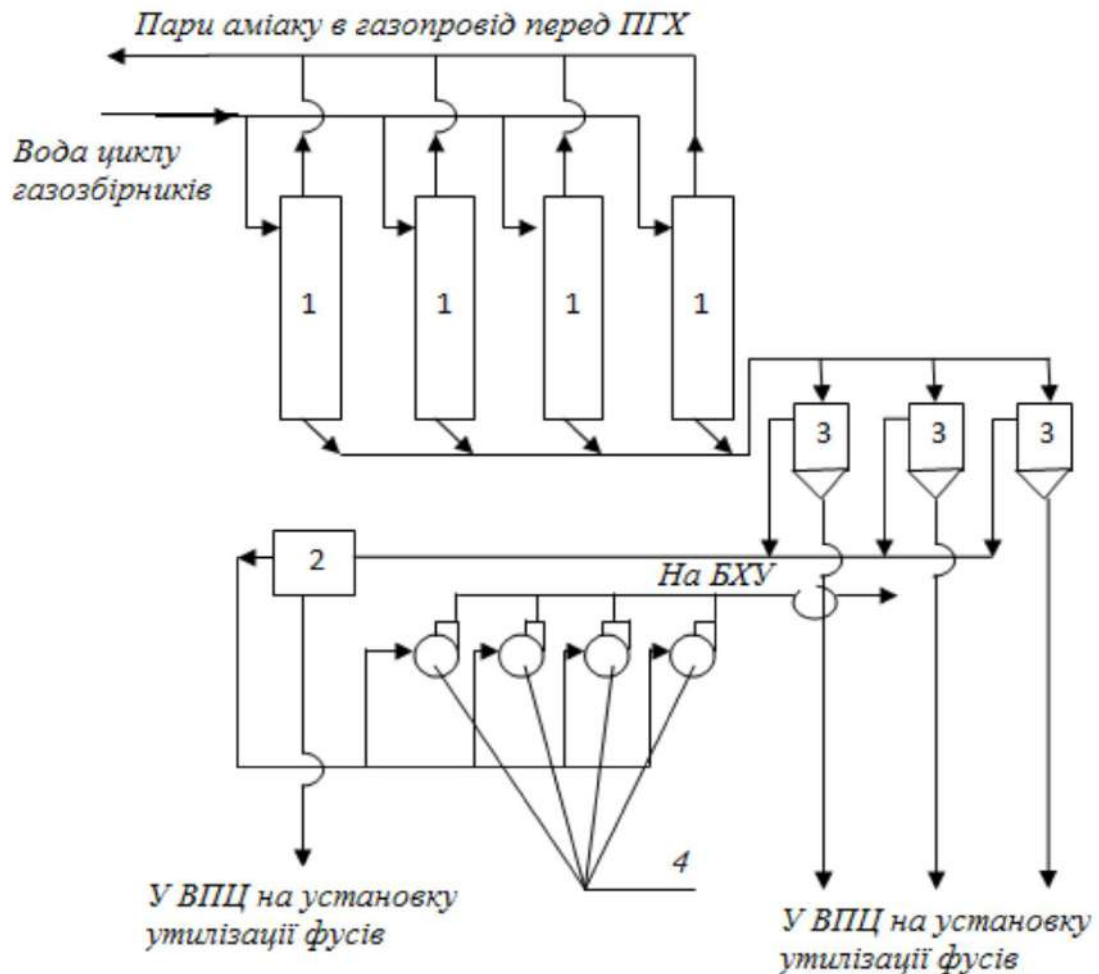
2.1 Вибір та обґрунтування технології переробки аміачної води

На підставі огляду технології переробки надлишкової аміачної води та аналізу існуючих технологічних схем, враховуючи особливості апаратурного оформлення, вимоги до складу стічних вод та екологічні аспекти, пропонується окрема переробка газового конденсату та води циклу газозбірника, що пов'язано з різним вмістом солей зв'язаного та леткого аміаку. Розкладання солей зв'язаного аміаку дозволяє більш повно використовувати його ресурси, тобто збільшити виробництво сульфату амонію, крім цього перевести хлориди, сульфати, роданіди, які розчинені у воді, в більш стійку до температурного впливу форму. Використання для гасіння коксу такої води знижує корозійну активність парів, які при цьому утворюються.

На КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» для переробки надлишкової аміачної води передбачено аміачне відділення, де здійснюється роздільна переробка газового конденсату (аміачної води на аміачній установці №1) та надлишкової надсмольної води (вода циклу газозбірника на аміачній установці №2), що пов'язано з різним вмістом леткого та зв'язаного аміаку та являється доцільним з економічної та екологічної точок зору.

При переробці окремо конденсату ПГХ (надлишкової аміачної води), що містить переважно летючий аміак, концентрація якого залежить від вмісту аміаку у коксовому газі та температури конденсату, та характеризується низьким вмістом зв'язаного аміаку (менше 1 г/л), відганяється лише летючий аміак.

При переробці надлишкової води газозбірникового циклу (надсмольної води) вміст леткого аміаку в ній є мінімальним, тому розкладанню буде підлягати тільки зв'язаний аміак. Схема переробки наведена на рисунку 2.1.



- 1 – аміачні колони, 2 – збірник аміачної води ;
 3 – відстійники аміачної води від пеку, 4 - насоси.

Рис. 2.1. Технологічна схема переробки аміачної води

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9].

Перед подачею на аміачні колони надсмольна вода проходить відстій від смолистих речовин.

Із збірника або резервуару вода, які відстоялася від смолистих речовин, насосом через теплообмінник та підігрівач подається в аміачну колону. Знизу в колону подається гостра пара. Розчин луку подається на всмоктування насосу, який подає воду на колону.

Використання, згідно традиційної технології, для розкладання солей зв'язаного аміаку розчину вапняного молока, як вже зазначалося, призводить

до певних ускладнень схеми переробки надлишкової надсмольної води, до того ж, сульфат кальцію, який утворюється має низьку розчинність та відкладається на стінках технологічної апаратури та комунікацій. Порівняння розчинності солей натрію та кальцію наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Розчинність солей натрію та кальцію

Аніони	Розчинність (г/100 г) натрієвих та кальцієвих солей	
	Na ⁺	Ca ²⁺
CO ₃ ²⁻	17,6	0,00015
S ₂ O ₃ ⁻²	76,4	49,3
SO ₄ ⁻²	16,1	0,2036
COOH ⁻	45,0	16,6
Fe(CN) ₆ ⁴⁻	15	57,4
S ²⁻	розчиняється	мало розчиняється
CL ⁻	розчиняється	розчиняється
CN ⁻	розчиняється	розчиняється

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9].

На коксохімічному підприємстві ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» для реагентного розкладання солей використовують розчин NaOH, солі якого в умовах процесу переробки води не випадають в осад (не утворюється шлам). При цьому розкладання солей відбувається безпосередньо в аміачній колонії, не виникає необхідності встановлювати приколони, додатково проводити чистку апаратів від шламу, що значно спрощує технологічну схему та умови експлуатації устаткування.

Розчин луку, який вступає в хімічну реакцію зі солями зв'язаного аміаку, переводить зв'язаний аміак в летючий, який паром видихається з води та по аміакопроводу поступає в газопровід перед первинними газовими холодильниками.

Очищена від аміаку вода після аміачних колон через теплообмінники та холодильник поступає в фенольну каналізацію. На холодильник для охолодження очищеної води подається оборотна охолоджена технічна вода.

Розчин лугу подається через ротаметр із збірника насосом. В збірника розчин потрапляє зі складу реактивів. Концентрацію лугу підтримують від 18 % до 20 %, розбавляють конденсатом пари.

Кількість розчину визначають по аналізу очищеної від аміаку надсмольної води після колони.

Температуру розчину лугу підтримують від 70 до 80 °С, подаючи в підігрівачі пару [9, 10].

З метою оптимізації процесу переробки аміачної води, економії хімічних реагентів в даній роботі пропонується використання відпрацьованого розчину цеху сіркоочистки. Позитивний досвід такого технічного рішення впроваджено на Авдіївському коксохімічному заводі. Так, для розкладання зв'язаних солей аміаку в надсмольній воді подають в аміачну колону відпрацьований содовий поглинальний розчин цеху сіркоочистки, який надходить в залізничних цистернах в цех уловлювання [11, 12].

Аналізуючи роботу двоступеневої вакуум-карбонатної сіркоочистки встановлено склад поглинального розчину (табл. 2.2) [12].

Процес здійснюється наступним чином. Відпрацьований розчин цеху сіркоочистки виводиться з циклу в резервуар ємкістю 800 м³. З нього дозувальним насосом розчин в кількості 1 м³/год подається в прямок фенольної насосної, де змішується з виробничими стоками відділення уловлювання та регенерації та відділення виробництва сірчаної кислоти. Далі з фенольної насосної відпрацьований розчин зі виробничими стоками у кількості 10-15 м³/год відкачується в в збірник об'ємом 50 м³ (смоловідділювач) аміачної установки №2 цеху вловлювання. В смоловідділювачі відбувається змішування надлишкової аміачної води з водою закритого циклу кінцевого охолодження коксового газу.

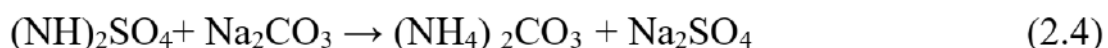
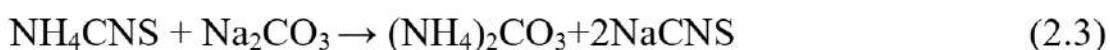
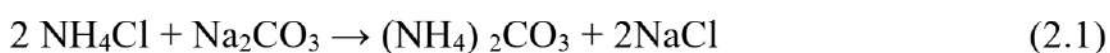
Таблиця 2.2

Склад поглинального розчину ЦСО за період 2012-2014 рр.

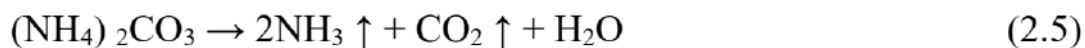
Компоненти	Вміст в розчині, г/дм ³		
	2012 р.	2013 р.	2014 р.
Na ₂ CO ₃	28,8	25,4	22,6
Na ₂ HCO ₃	23,8	23,2	23,5
NaCNS	44,5	83,5	29,9
Na ₂ S ₂ O ₃	1,5	8,9	2,6
NaCOOH	25,6	31,6	7,4
Na ₄ Fe(CN) ₆	12,4	13,2	7,6
Na ₂ SO ₄	1,4	4,2	3,6
Всього:	138	190	97,2

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [12].

Далі суміш вод послідовно поступає у відстійник (об'єм 400 м³) і збірник (об'єм 200 м³). З останнього вода потрапляє в аміачну колону, де відпрацьований розчин виступає хімічним реагентом для розкладання зв'язаних солей аміаку. В результаті змішування зв'язані солі аміаку розкладаються з утворенням «летких» солей за реакцією:



Пара, що надходить в нижню частину колони нагріває суміш до 105 °С і вивуає з води вільний аміак, що утворився при розкладанні "летких" солей.



Пари води, аміаку, сірководню, ціаністого водню і вуглекислого газу з верху колони відводяться в колектор входу коксового газу в ПГХ. З нижньої частини колони очищена вода відкачується в фенольну каналізацію цеху вловлювання та передається на БХУ [12].

2.2 Характеристика основного технологічного устаткування

2.2.1 Конструктивні особливості аміачної колони

Основним апаратом технологічної схеми переробки аміачної води являється аміачна колона, конструктивні параметри якої визначають ефективність процесу [3].

На коксохімічних заводах використовуються різноманітні конструкції аміачно-вапняних колон (діаметром 2000 мм та 13 тарілками, діаметром 2200 мм та 18 тарілками, діаметром 1400 мм та 38 тарілками), головною відмінністю яких являється відстань між тарілками, тип та кількість тарілок, матеріал для їх виготовлення.

Аміачна колона використовується для дистиляції аміаку із розчину слабкої аміачної води. Вона складається з двох частин – випарної та вапняної. В першій відбувається відгонка аміаку, в другій - розкладання зв'язаних солей та виділення звільненого аміаку.

Випарна частина колони складається з металевих царг, до яких кріпляться чавунні тарілки з ковпачками та переливними пристроями різноманітних конструкцій.

Під час роботи колони всі тарілки заповнені аміачною водою, рівень якої відповідає висоті переливної труби над тарілкою. Пари аміаку та води, які

поступають знизу колони, проходять через прорізи в тарілці, перекриваючи ковпачки, розділяються на окремі струї та барботують через шар рідин на тарілці. З тарілки на тарілку вода стікає по переливній трубі.

Вапняна частина колони складається зі змішувача і двох приколонків. Змішувач представляє собою полий циліндр, який служить основою для випарної частини колони. В нижній частині змішувача встановлено барботер для впуску гострої пари. Встановлюють два приколонка, так як один доводиться розбирати та очищувати від вапняного шламу.

На ряді коксохімічних підприємств використовується більш досконала конструкція аміачної колони конструкції Гіпрококсу, відмінність якої полягає в суттєвому збільшенні кількості тарілок, які встановлюються у колоні. Вона має наступні технічні характеристики [3]:

Діаметр	1400 мм
Кількість тарілок	38 шт
Витрата пари на 1 м ³ надсмольної води	200 – 250 кг
Продуктивність по воді	30 – 40 м ³ /Год

Вдосконалення конструкції зі збільшенням кількості тарілок до 38 штук дає можливість здійснювати розкладання солей зв'язаного аміаку в самому апараті, відмовитись від використання приколонків, що значно зменшує витрату пари та спрощує технологічну схему.

До тарілок колони висуваються певні вимоги: забезпечення оптимального контакту між рідиною і парою; малий гідравлічний опір; надійна робота при значних коливаннях витрати пари та рідини. Тарілки повинні бути прості за конструкцією та мати невелику вагу.

Найбільше поширення отримали ковпачкові, сітчасті, клапанні та провальні тарілки.

Ковпачкові тарілки кріпляться до корпусу апарата. До тарілки прикріплюються патрубки для проходження пари. Над патрубками встановлюються ковпачки, по нижньому краю яких зроблено прорізи. На тарілці знаходиться рідина, рівень якої залежить від висоти зливного порога,

яка регулюються. Пара рухається по колоні знизу вгору, проходить патрубки, барботує через прорізи ковпачків. При цьому на тарілці утворюється піна з великою поверхнею контакту та інтенсивним масообміном між рідиною та парою. Ковпачкові тарілки характеризуються складністю конструкції та металоємністю, мають великий гідравлічний опір.

Сітчаста тарілка представляє собою лист з круглими або шпарино подібними отворами діаметром (шириною) 3 – 10 мм. Пара проходить через отвори і барботує через шар рідини. Рідина стікає через переливні пороги. Перевагами сітчастих тарілок являються простота конструкції, невеликі маса та гідравлічний опір. До недоліків можна віднести чуттєвість до перекосів та прогинів, забруднень, коливанням витрати пари та рідини [3].

Клапанні тарілки володіють перевагами ковпачкових та сітчастих, тобто працюють при зміні навантаження по парі та рідині, мають невеликий гідравлічний опір. Але на тарілках великого діаметру спостерігається падіння рівня рідини по ходу її руху, що призводить до нерівномірності барботажу. Окремі ділянки тарілки можуть відключитись, тобто не приймати участь в барботажі.

В провальних тарілках відсутні спеціальні зливні пристрої. Злив здійснюється через ті ж самі отвори, через які проходить газ. Це спрощує конструкцію, площа тарілки використовується більш повно. Дана конструкція характеризується малим гідравлічним опором. Недоліком являється нестабільність роботи при зміні витрати пари та рідини.

Можливість подальшої інтенсифікації процесу відгонки аміаку із конденсату коксового газу з підвищенням ефективності цього процесу полягає у використанні контактних пристроїв, які дозволяють збільшувати пропускну здатність апарату, поверхню контакту фаз і, відповідно, ефективність роботи тарілки, що оптимізує роботу аміачного відділення в цілому.

Найбільш перспективними для інтенсифікації відгону аміаку з водних розчинів парою являються пінно-вихрові тарілки, що дозволяє збільшити пропускну здатність апарату по воді в 2 – 2,5 рази, та скоротити витрату пари.

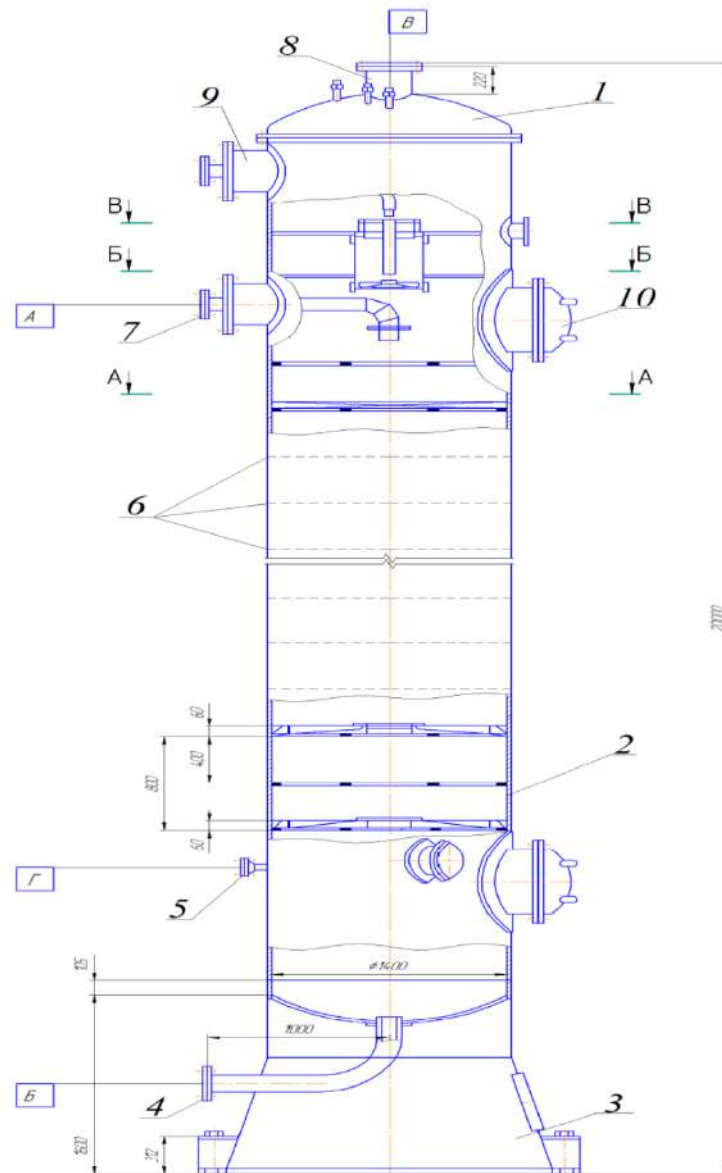
Гіпрококсом розроблена сталева аміачна колона з ґратчастими тарілками рис. 2.2 [2, 3].

Корпус апарата складається з циліндричної обичайки 2, кришки 1 стандартної опори.

Усередині апарата розташовані ґратчасті тарілки 6 в кількості 38 штук, з яких дві відносяться до зміцнювальної частини колони і розташовані вище живлячого патрубку 7 і нижче патрубка 9 (для подачі флегми), а інші відносяться до вичерпної частини колони, забезпеченою патрубком 5 для введення гострої пари і трубою 4 для виведення стічної води. На кришці 1 змонтований патрубок 8 для виведення парової фази. Колона також забезпечена люками 10.

Пари, що подаються в патрубок 5, проходячи крізь щілиноподібну перфорацію провальних тарілок 6 і контактуючи при цьому з стікаючою водою, насичуються газами, які десорбують з води і виводяться через патрубок 8 в дефлегматор (або в газопровід).

Надсмольна вода подається в патрубок 7, в вичерпній частині колони звільняється від летючого аміаку і кислих газів і виводиться через трубу 4. Флегма надходить в патрубок 9, частково звільняється від розчинених газів, підвищуючи при цьому їх вміст в парах в зміцнювальній частині колони, і стікає на верхню тарілку вичерпної частини. Частина водяних парів, що подаються в патрубок 5 конденсується в колоні з виділенням тепла, яке витрачається на підігрів води до температури кипіння і компенсацію тепловтрат корпусом апарата [3].



1 – кришка; 2 – циліндрична обичайка; 3 – стандартна опора; 4, 7 – патрубки для води; 5, 8 – патрубки відповідно для гострого пару і аміачних парів; 6 – тарілки; 9 – патрубок для флегми; 10 – люк – лаз; А – подача аміачної води; Б – вихід аміачної води; В – вихід аміачних парів; Г – подача пари

Рис. 2.2. Аміачна колона

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [2,3].

Технічні характеристики аміачної колони:

Продуктивність по воді, що переробляється, м ³ /год	30 – 40
Питома витрата гострої пари, кг/м ³ води	200 - 250
Діаметр, мм	1 400
Висота, мм	21 920

Тип масообмінних тарілок:

в зміцнювальній частині	ТР 1400 – 32 – 10X17Н13М2Т – ПОН ОСТ 26 – 2055 – 79
в вичерпній частині	ТР 1400 – 16 – 10X17Н13М2Т ПОН ОСТ 26 – 2055 – 799

Число масообмінних тарілок, шт:

в зміцнювальній частині	2
в вичерпній частині	36

Відстань між тарілками, мм	400
Площа вільного перетину апарата, м ²	1,53
Розмір щілини (ширина, довжина), мм	6 x 60

Крок між щілинами, мм:

в зміцнювальній частині	32
в вичерпній частині	16

Відносна площа вільного перетину тарілки, м²/м²:

в зміцнювальній частині	0,09
в вичерпній частині	0,20

Тиск робочий, МПа	0,05
-------------------	------

Матеріал (основний)	сталь 10X17Н13М2Т
---------------------	-------------------

Маса, т	9,8
---------	-----

Для відгону летючого аміаку передбачається технологічне поєднання аміачної колони і трубчастої печі ЦС 1 (зі спеціальним змійовиком), призначеної для генерування парової фази (замість гострої пари) шляхом

перегріву води, що стікає з колони. При цьому витрата циркулюючої води в контурі колона - піч має становити 100 - 120 м³/год, тиск - до 12 кг/см². Витрата коксового газу в піч приблизно 1600 м³/год [3].

Практично встановлена можливість заміни в типовій колоні діаметром 1400 мм щілиноподібних ґратчастих тарілок на пінно-вихрові, що забезпечують підвищення продуктивності апарату по воді в 2 - 2,5 рази і скорочення витрати пари не менше ніж на 15 % при наявності 12 пінно - вихрових тарілок з живим перетином 20 %.

На підставі огляду конструктивних особливостей колон, даних досліджень та виробничих випробувань і промислової експлуатації барботажних тарілок (решітчастих, провальних, пінно-вихрових), встановлено, що найбільш перспективними для інтенсифікації відгону аміаку з водних розчинів (зокрема, з надсмольної води та конденсату коксового газу) парою являються пінно-вихрові тарілки (ПВТ), живий переріз яких досягає 40 – 45%, що дозволяє збільшити пропускну здатність та швидкість пари вдвічі в порівнянні з колонами з решітчастими тарілками провального типу.

Внаслідок цього в 3-5 разів збільшується висота газорідинного шару на барботажній тарілці і підвищується його газонасиченість, забезпечуючи питому поверхню міжфазного масообміну на рівні 1100 ± 200 м² в 1 м³ шару, що в 3 рази вище, ніж на типових решітчастих тарілках, приблизно при такому ж співвідношенні ефективності тарілок, що зіставляються.

Таким чином, застосування більш ефективних пінно-вихрових тарілок в вичерпній частині аміачної колони замість решітчастих тарілок дозволяє в 3 рази зменшити кількість тарілок (і, відповідно, висоту реакційної зони) і в 1,5 рази - діаметр апарата. Завдяки цьому у аміачному відділенні використання однієї реконструйованої колони для очистки >50 м³/год аміачної води дозволить замінити три типові аміачні колони, обладнані решітчастими тарілками [3].

На підставі зроблених висновків даною роботою пропонується реконструкція аміачної колони діаметром 1400 мм, яка полягає в заміні решітчастих тарілок на більш ефективні пінно - вихрові.

Нова реконструйована аміачна колона обладнана 12 пінно-вихровими тарілками, які змонтовані з окремих секцій на опорах решітчастих тарілок після їх демонтажу. ПВТ набрані з нахильних пластин, які приварені до циліндрової обичайки на відстані приблизно 70 мм одна від іншої так, щоб кожна пластина частково перекриває суміжну в світлі, утворюючи з нею канал для проходження пари та рідини шириною від 15 мм в центральній частині тарілки до 30 мм по її периметру. Така ширина каналів значно більше ніж щілини решітчастих тарілок, в результаті знижується схильність до забивання смолистими речовинами.

Крім дванадцяти ПВТ, розміщених внизу вичерпної частини реконструйованої колони, пропонується встановити центральну форсунку для диспергування води, яка подається на очищення, та перерозподільний пакет, який перетворює конічний факел розпилу в дисперсний потік циліндричної форми, який рівномірно заповнює об'єм зони між перерозподільником та верхньою тарілкою.

В зміцнювальній частині колони пропонується встановлення сепараційно-контактного пристрою (СКП) для обробки паро аміачної суміші флегмою або рефлексом з метою збагачення її аміаком. Пристрій ефективно працює практично без обмеження витрат газової фази (пари) як сепаратор, що запобігає втраті крапель рідини, а також в якості контактного пристрою, якщо співвідношення масових витрат рідини і газу не перевищує 2:1. Це пояснюється наявністю кільцевих каналів для виходу рідини знизу і зверху СКП, що забезпечує її вільний стік з СКП при швидкості пари в його нормальному перерізі до 7-10 м/с і примусову евакуацію рідини через верхній кільцевий канал вихровим потоком газу (пари) при його наведеній швидкості більше ніж 10 - 14 м/с.

Запропоновані конструктивні зміни разом зі збільшенням пропускної здатності та продуктивності апарата забезпечать підвищення ефективності та необхідний ступінь відгонки аміаку при меншій витраті пари. За даними виробничої експлуатації вода, яка подається в реконструйовану колону нагрівається до температури кипіння вже на перерозподільному пакеті, таким чином відгонка аміаку з диспергованого потоку аміачної води між перерозподільним пакетом та верхньою тарілкою забезпечує додаткову ефективність колони.

Отже, можна зробити висновок, що експлуатація реконструйованої аміачної колони діаметром 1400 мм з пінно-вихровими тарілками на коксохімічному виробництві ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» дасть можливість збільшити продуктивність апарата в 2 – 2,5 рази, скоротити витрату пари на переробку аміачної води приблизно на 15 % при використанні 12 тарілок з живим перетином 20 %. Запропонована реконструкція сприяє скороченню витрат на обслуговування апаратів, спрощенню технологічної схеми переробки надсмольної води, підвищенню ступеню вилучення аміаку та покращенню техніко - економічних показників роботи цеху уловлювання.

2.2.2 Умови ведення процесу переробки надлишкової надсмольної води

Умови ведення технологічного процесу, характеристики устаткування наведено в таблиці 2.2 [9].

Таблиця 2.2

Умови ведення технологічного процесу

№ п/п	Устаткування, апаратура	Найменування показників та умов процесу, одиниці	Номінальне значення та допустимі межі їх відхилень
1	Аміачна колона – 2 шт.: D = 1400 мм; тарілок піно – вихрових 15 шт.	Температура наверху колони, °C, не менше; Тиск у колоні, кгс/см ² , не більше; Витрата води на колону, м ³ /год	96 0,5 30 – 50
2	Відстійник аміачної води від пеку – 3 шт.: D = 4000 мм; V = 58 м ³	Температура у відстійнику, °C; Час відстоювання, години	97 – 100 1 – 3
3	Проміжний збірник V = 12 м ³	Температура у проміжному збірнику, °C	96 – 98

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9].

Параметри аміачної установки №2, які контролюються, наведено в таблиці 2.3 [9].

Таблиця 2.3

Контрольовані параметри аміачної установки №2

№ п/п	Контрольовані параметри	Одиниці вимірювання	Значення фізичної величини
1	Тиск парів в нижній частині аміачної колони, не більше	кгс/см ²	0,5

2	Тиск пару в паропроводі на аміачні колони	кгс/см ²	4 – 6
3	Температура парів наверху колони, не менше	°С	98
4	Масова частка летючого аміаку в аміачній воді після колон, не більше	г/дм ³	0,1

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [9].

2.3 Розрахунок дистиляційної колони

Для оцінки кількості надлишкової води, що виводиться на переробку, можна використати формулу:

$$V = \frac{K \cdot G_{\text{сш}}}{P_{\text{нв}}} \left[100 \left(\frac{W_{\text{ш}}}{100 - W_{\text{ш}}} + \frac{W_{\text{пг}}}{100} + \Pi \right) - V_{\text{сг}} \cdot g_{\text{в}} \right] \quad (2.1)$$

де V - кількість води, яка виводиться на переробку, м³/год;
 $G_{\text{сш}}$ - кількість шихти, яка коксується, в перерахунку на суху масу, т/год;
 $P_{\text{нв}}$ - щільність води, яка виводиться на переробку, кг/м³; $W_{\text{пг}}$ - вихід пірогенетичної вологи від сухої шихти, %; $W_{\text{ш}}$ – робоча волога шихти, %;
 $V_{\text{сг}}$ – питомий вихід сухого коксового газу з сухої шихти, нм³/год; $g_{\text{в}}$ - вміст водяної парів об'ємі парогазової суміші, кг/м³; K – коефіцієнт, який враховує збільшення об'єму надлишкової води при подачі парів після аміачної колони в газопровід перед первинними холодильниками.

Згідно наведеної формули та матеріального балансу коксування ($V_{\text{ш}}^d = 26,6 \%$, $A_{\text{ш}}^d = 10,9 \%$,) загальна кількість надлишкової води (газовий конденсат та надлишкова надсмольна вода), що виводиться на переробку становить 73 м³/год (74,2 т/год).

Згідно регламенту цеху вловлювання та матеріального балансу відділення конденсації при виробництві 2,7 млн. т коксу з загальної кількості води на переробку – 74,2 т/год, на аміачну установку №2 поступає 92825 т (10,6

т/год) надлишкової надсмольної води, на аміачну установку №1 поступає газового конденсату 557261 т (63,6 т/год).

Кількість надлишкової надсмольної води циклу газозбірника, що поступає в аміачну колону складає 10600 кг/год або 10 м³/год. На аміачну колону також подається циркулююча вода закритого циклу кінцевого охолодження коксового газу в кількості 30 м³/год для вилучення леткого та зв'язаного аміаку. Таким чином загальна кількість води, яка потрапляє на переробку складе 40 м³/год.

Вода має наступний склад:

аміак зв'язаний – 5 г/л (204 кг/год)

аміак леткий – 2 г/л (81,6 кг/год)

вода – 40514,4 кг/год

разом – 40800 кг/год

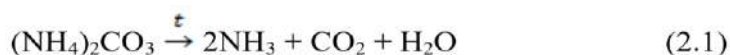
Концентрація аміаку в загальній масі надсмольної води

$$X_{\text{ам}} = \frac{285,6}{40800} 1000 = 7 \text{ г/л або } 0,7 \% \quad (2.2)$$

Відгонка леткого аміаку здійснюється до остаточного його вмісту $\leq 0,1$ г/л, що складає 98 %, при витраті пари на дистиляцію $\geq 200 \pm 10$ кг на 1 м³ води.

Концентрація аміаку, який залишається в води у кількості 2 %, становить:

Слабка аміачна вода, що містить летючий аміак, нагрівається гострою парою до $t = 96 - 98$ °С. При цьому протікають реакції дисоціації карбонату та сульфату амонію:



а також ціанистого амонію



Приймаємо ступінь відгону леткого NH_3 у дистиляційній колоні $\varphi = 0,98$, тоді з колони піде в дистилят:

$$G_{\text{NH}_3, D} = 0,98 \cdot G_{\text{NH}_3}^P \quad (2.4)$$

$$G_{\text{NH}_3} = 0,98 \cdot 81,6 = 80 \text{ кг/год}$$

Приймаємо, що в стічній воді після переробки залишається 2 г/л зв'язаного аміаку, що становить 81,6 кг/год, тоді в парову фазу переходить $204 - 81,6 = 122,4$ кг/год.

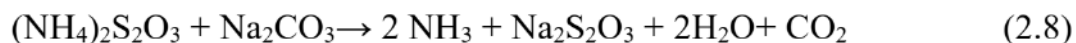
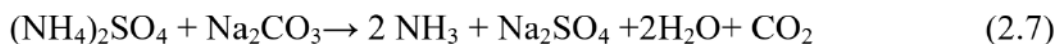
Таким чином, загальна кількість аміаку в парах $80 + 122,4 = 202,4$ кг/год.

Приймаємо, що аміаку міститься в дистиляті 16 %. Тоді, загальна кількість дистиляту, що містить NH_3 , H_2O , CO_2 і H_2S становить

$$D_{\text{заг}} = \frac{202,4}{0,16} = 1265 \text{ кг/год}$$

Зв'язаний аміак у надсмольній воді присутній у вигляді NH_4Cl , NH_4CNS , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$. При взаємодії з розчином соди протікають наступні реакції:





Таким чином, на 1 кг зв'язаного NH_3 необхідно витратити $\text{Na}_2\text{CO}_3 \frac{40}{17} = 2,35$ кг/год, а на 204 кг/год знадобиться $204 \cdot 2,35 = 480$ кг/год.

У відділенні використовується розчин лугу 18 – 20 %, таким чином кількість розчину Na_2CO_3 складе 2397 кг/год.

Матеріальний баланс аміачної колони наступний, кг/год табл.2.3.

Таблиця 2.3

Матеріальний баланс аміачної колони

Прибуткова частина		Витратна частина	
Аміак зв'язаний	204	Аміак зв'язаний	122,4
Аміак леткий	81,6	Аміак леткий	80
Вода	40514,14	Водяна пара	1063
Розчин лугу	2397	Стічна вода	41913,6
Разом	43197	Разом	43197

Вміст зв'язаного аміаку в стічній воді буде 2 г/л або 0,2%.

Мінімальне флегмове число визначається рівнянням:

$$v_{min} = \frac{X_{\partial} - X_p}{X_p - X_m} \quad (2.5)$$

де X_D – вміст аміаку в дистилляті, 16 %; X_M – вміст аміаку в аміачній воді, яка поступає в колону, 0,7 %; X_p – рівноважний вміст аміаку в парах над водою, 0,66 %.

Тоді, $v_{min} = 1,57$ %. Приймаємо дійсне флегмове відношення рівним

$$v = 1,2 \cdot v_{min} = 1,2 \cdot 1,57 = 1,88$$

Кількість флегми складе $g = 1,88 \cdot 1265 = 2378$ кг/год

Загальна кількість пари та аміаку складе $1265 + 2378 = 3643$ кг/год.

Розрахунок числа тарілок зміцнювальної частини колони

В колоні є зміцнювальна та вичерпна частини.

Число тарілок у зміцнювальній частині колони визначаємо за рівнянням її робочої лінії

$$X = \frac{v \cdot X}{v+1} + \frac{X_D}{v+1} \quad (2.6)$$

Починаємо від вмісту аміаку в парах, що виходять, який складає 2,83 %, до вмісту в рідинній фазі 7 г/л (0,7 %). Склад парової фази на першій тарілці зверху $X_1 = 6,8$ %, $X_p = 6,6$ г/л або 0,66 %.

Цей вміст NH_3 у рідкій фазі на першій тарілці менше, ніж вміст аміаку у воді, що дорівнює 7 г/л (0,7 %). Тому в зміцнювальній частині колони досить мати одну теоретичну тарілку.

Приймаючи к. п. д. тарілки $\eta = 0,5$, дійсне число тарілок

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

$$n_q = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ тарілки}$$

Розрахунок числа тарілок вичерпної частини колони ведемо, враховуючи зниження вмісту аміаку від 0,7 % до 0,2 %.

Рівняння робочої лінії вичерпної частини колони

$$X_P = X \cdot \frac{v+H}{v+1} - X_R \cdot \frac{H-1}{v+1} \quad (2.8)$$

$$u = \frac{M}{D} = \frac{40514,4 + 285,6}{1265} = 32,2$$

Склад першої фази на першій тарілці

$$X_1 = 11,83 \cdot 0,7 - 1,8 = 6,48 \%$$

$$X_2 = 11,83 \cdot 0,648 - 1,8 = 5,87 \%$$

$$X_3 = 11,83 \cdot 0,587 - 1,8 = 5,14 \%$$

$$X_4 = 11,83 \cdot 0,514 - 1,8 = 4,28 \%$$

$$X_5 = 11,83 \cdot 0,428 - 1,8 = 3,26 \%$$

$$X_6 = 11,83 \cdot 0,326 - 1,8 = 0,63 \%$$

Так як для X_6 рівноважне $X_p = 0,063 \%$ менше, ніж рівноважне $X_p = 0,2 \%$, то приймаємо 6 теоретичних тарілок і при к. п. д. = 0,5 дійсне число тарілок

$$n_q = \frac{6}{0,5} = 12 \text{ тарілок}$$

У вичерпній частині колони 12 дійсних тарілок.

Усього в колоні $2 + 12 = 14$ дійсних тарілок

Діаметр колони визначаємо, виходячи зі швидкості потоку парів у вільному перетині колони. Швидкість парів в колоні з решітчастими тарілками дорівнює $W = 0,3 \div 0,7$ м/с. Приймаємо $W = 1$ м/с.

$$V_n = \left(\frac{3441}{18} + \frac{285,6}{17} \right) \cdot 22,4 \cdot \frac{374,8}{273} \cdot \frac{760}{900} = 5396 \text{ м}^3/\text{ГОД}$$

Необхідний вільний перетин колони

$$S = \frac{V_n}{3600 \cdot w} \quad (2.9)$$

$$S = \frac{5396}{3600 \cdot 1} = 1,5 \text{ м}^2$$

Внутрішній діаметр колони

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \quad (2.10)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,5}{3,14}} = 1,4 \text{ м}$$

24 Аналіз екологічних аспектів та умов праці у цеху вловлювання коксохімічного виробництва

Сульфатно-аміачне відділення відзначається складністю технологічних процесів, наявністю розгалужених комунікацій та технологічно складного обладнання, а також можливістю використання токсичних і пожежонебезпечних речовин (зокрема аміаку та смоли). Це зумовлює підвищений рівень газо-, вибухо- та пожежної безпеки. У процесі функціонування відділення формуються специфічні виробничі фактори, що впливають на персонал. Різноманітність небезпечних і шкідливих чинників, а також особливості їх виникнення та дії на працівників потребують систематичного врахування, аналізу та комплексної оцінки при розробленні організаційних заходів і виборі засобів захисту [13].

Важливим чинником, що впливає на функціональний стан організму працівника та його працездатність, є мікроклімат виробничих приміщень, під яким розуміють параметри внутрішнього повітряного середовища. Його характеристики визначаються сукупністю фізичних показників, зокрема температурою, відносною вологістю та швидкістю руху повітря.

Згідно з ДСТ 4.3 ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» робота у цеху уловлювання хімічних продуктів коксування належить до середньої категорії важкості робіт групи II а.

Санітарні норми та фактичні дані параметрів мікроклімату наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

**Санітарні норми та фактичні дані параметрів мікроклімату
цеху уловлювання**

Найменування чинника	ГДК, ГДУ	Фактичне значення
Температура повітря влітку, °С	15-27	32-37
Температура повітря взимку, °С	17-21	до 15
Вологість повітря, %	75	75
Швидкість руху повітря, м/с	0,3-0,4	0,6

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [11].

Токсичні речовини і шкідливі гази, що виділяються в обсягах, які перевищують санітарні норми, їхній вплив на організм людини спричиняє захворюванням нервової системи.

Потрапивши в середину організму викликає захворювання шлунково-кишкового тракту, нирок, печінки. Задуха, отруєння, опіки хімічними речовинами, вдихання отрутних газів, може викликати безповоротні зміни внутрішніх органів і крові з важкими наслідками.

Отруєння токсичними речовинами, що перебувають у газоподібному або пароподібному стані, або у вигляді пилу, можливо тільки при їхній концентрації в повітрі робочої зони, що перевищує певну межу.

У таблиці 2.5 наведені шкідливі і небезпечні речовини найбільш характерні для цеху вловлювання.

Таблиця 2.5

**Шкідливі і небезпечні фактори найбільш характерні для
цеху уловлювання**

Найменування речовини	У повітрі робочої зони, мг/м ³		Клас небезпеки
	фактично	ГДК	
Аміак	11,702	5	4
Фенол	4,905	0,3	2
Ціанистий водень	7,092	0,3	2
Їдкі луги натрію, кальцію	5,084	0,5	2

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [11].

Формування небезпечних і шкідливих виробничих чинників у сульфатно-аміачному відділенні зумовлюється як технологічними особливостями процесів, так і характеристиками використовуваного обладнання. Вплив підвищених рівнів шуму та вібрації може призводити до негативних змін у функціональному стані працівників, зокрема до зниження слухової чутливості, погіршення самопочуття та зменшення працездатності.

Акустичне навантаження формується переважно роботою компресорів, вентиляційних систем та іншого технологічного устаткування. За результатами вимірювань рівень шуму на робочих місцях перебуває в межах 70–75 дБ, що узгоджується з нормативними вимогами ДСН 3.3.6.037-99.

З огляду на значну кількість електрообладнання у цеху, питання електробезпеки є одним із визначальних. Електроустановки функціонують у діапазоні напруг до 1000 В та мають глухозаземлену нейтраль. Ураження електричним струмом може супроводжуватися термічними пошкодженнями тканин, змінами фізіологічних показників крові та становити загрозу життю.

Забезпечення сприятливих умов повітряного середовища досягається впровадженням комплексу технічних і організаційних рішень, серед яких ключову роль відіграють вентиляційні системи. Для підтримання нормативного повітрообміну приміщення оснащуються аварійною витяжною вентиляцією відповідно до вимог СНіП 12.04.021-75. Ефективність її роботи повинна гарантувати, що концентрації шкідливих домішок не перевищують гранично допустимі значення. У приміщеннях із такими системами передбачається встановлення автоматичних приладів контролю газового середовища.

Зниження ймовірності аварійних ситуацій забезпечується суворим дотриманням вимог безпеки, встановлених для коксохімічного виробництва. Доцільним є впровадження комплексу захисних заходів, що включає використання засобів індивідуального захисту від шуму та вібрації, застосування технологічного обладнання з матеріалів, стійких до дії агресивних середовищ, організацію ефективного видалення шкідливих газів із робочої зони, а також використання систем сигналізації, блокування і попереджувальних засобів щодо небезпечної напруги. Окрему увагу слід приділяти екрануванню джерел випромінювання для зменшення їх впливу на персонал.

Працівники, задіяні в роботі аміачної установки, повинні бути забезпечені необхідними засобами індивідуального захисту, зокрема захисними касками та спеціальним одягом, відповідно до встановлених норм, які зазначені в таблиці 2.6.

Для захисту від пилу застосовують противоаерозольні респіратори «сафатко». Вони можуть бути безклапанними і клапанними. Найбільш простим респіратором безклапанної дії є «Пелюсток» одноразового використання, виготовлений з спеціальної фільтруючої тканини, укріпленої на каркасі з пластмаси [13].

Таблиця 2.6

**Засоби індивідуального захисту для робітників
аміачного відділення**

№ п/п	Професія або посада	Каска, шт.	Строк зносу, міс	Костюм х/б	Строк зносу, міс	черевики	Строк зносу, міс	рукавички	Строк зносу	Захисні окуляри	Строк зносу, міс
1	Апаратник	1	36	1	12	1	12	1	1	1	2
2	Слюсар-Ремонтник	1	36	1	12	1	12	1	1	1	2
3	Лаборант	1	36	1	12	1	12	1	1	1	2
4	Майстер	1	36	1	12	1	12	1	1	1	2

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [13].

2.5 Висновки до основної частини

1. Запропонована раціональна схема переробки надлишкової аміачної води газозбірникового циклу, окремо від газового конденсату ПГХ, з використанням в якості хімічного реагенту відпрацьованого розчину сіркоочистки, що дозволяє економити лужні реагенти та більш повно використовувати ресурси аміаку, тобто збільшити виробництво сульфату амонію. Розчин соди, переводить зв'язаний аміак в леткий, який парою видувається з води та по аміакопроводу поступає в газопровід перед первинними газовими холодильниками. Перевагами схеми є наступне:

- розкладання солей відбувається безпосередньо в аміачній колоні, що значно спрощує технологічну схему;
- виключаються відкладається солей на стінках технологічної апаратури та комунікацій.

2. Запропонована модернізація аміачної колони, яка полягає у заміні решітчастих тарілок на більш ефективні пінно-вихрові тарілки, що

дозволяють збільшити пропускну здатність апарату по воді в 2-2,5 рази, та скоротити витрату пари, не менше ніж на 15 % при наявності 12 пінно - вихрових тарілок. Живий переріз яких досягає 40-45 %, що дозволяє збільшити пропускну здатність та швидкість пари вдвічі в порівнянні з колонами з решітчастими тарілками провального типу.

3. Встановлено, що застосування більш ефективних пінно - вихрових тарілок в вичерпній частині аміачної колони замість решітчастих тарілок дозволяє в 3 рази зменшити кількість тарілок (і, відповідно, висоту реакційної зони) і в 1,5 рази - діаметр апарата.

ВИСНОВКИ

У роботі виконано аналіз фізико-хімічних основ переробки надлишкової аміачної води коксохімічного виробництва та розглянуто особливості її компонентного складу. Показано, що ефективність вилучення аміаку значною мірою визначається складом окремих потоків надсмольної води та умовами їх подальшої переробки.

Для умов КХВ ПАТ «АМКР» запропоновано технологічну схему переробки надлишкової аміачної води із використанням відпрацьованого лужного розчину цеху сіркоочистки. Такий підхід забезпечує переведення зв'язаного аміаку у летку форму та створює умови для більш повного його вилучення в аміачній колоні.

Встановлено, що кількість надлишкової надсмольної води циклу газозбірника, яка надходить на переробку, становить 10600 кг/год, а загальна витрата води разом із циркулюючою водою циклу кінцевого охолодження коксового газу досягає 40 м³/год. Визначено склад аміачної води за вмістом зв'язаного та леткого аміаку, що дозволило оцінити ефективність процесу дистиляції.

Показано, що відгонка леткого аміаку до залишкового вмісту не більше 0,1 г/л забезпечує ступінь його вилучення близько 98 % при витраті пари 200 ± 10 кг на 1 м³ води. Отримані результати підтверджують можливість ефективної переробки аміачної води із забезпеченням високого ступеня очищення.

Встановлено доцільність роздільної переробки окремих потоків аміачної води. При обробці конденсату первинних газових холодильників, який містить переважно леткий аміак, здійснюється його безпосередня відгонка. Для аміачної води циклу газозбірників, що характеризується підвищеним вмістом зв'язаного аміаку, запропоновано використання лужного відпрацьованого розчину цеху сіркоочистки, який забезпечує розкладання зв'язаних сполук аміаку та інтенсифікує процес його вилучення.

Для підвищення ефективності масообмінних процесів у роботі запропоновано використання пінно-вихрових тарілок у конструкції аміачної колони. Встановлено, що їх застосування забезпечує збільшення «живого» перетину до 40 % порівняно з решітчастими тарілками, для яких цей показник становить близько 18 %. Завдяки цьому інтенсифікується процес масопередачі та майже у два рази підвищується ефективність роботи колони.

Показано, що використання відпрацьованого лужного розчину цеху сіркоочистки дозволяє знизити витрати хімічних реагентів, раціонально утилізувати виробничі стоки та більш повно використовувати аміак, який міститься в надсмольній воді. Реалізація запропонованих рішень сприяє підвищенню ефективності роботи цеху вловлювання та створює передумови для збільшення виробництва сульфату амонію.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гребенюк А. Ф., Коробчанський В. І., Власов Г. А., Кауфман С. І. Уловлювання хімічних продуктів коксування: навчальний посібник / А. Ф. Гребенюк. – Донецьк: «Східний видавничий дім», 2002. – 456 с.
2. Lyalyuk, V.P, Shmeltser, E.O., Kassim, D.A. Improving the technology production of coke for blast furnace smelting. Octan Print, Praga: 2022. – 197 p. <https://doi.org/10.46489/ITTPROC-229>
3. Довідник коксохіміка: у 6 т. Т. 3. Уловлювання та переробка хімічних продуктів коксування / за заг. ред. Є. Т. Ковальова. – Харків: Видавничий Дім «ІНЖЕК», 2009. – 432 с.
4. ПАТ «Авдіївський коксохімічний завод». Постійний технологічний регламент цеху уловлювання №1. ТР – УП 1 – 080 – 01 - 2012, 69 с.
5. Ivanov V. M., Wang J.-Y., Stabnikova E., Tay S. T. L., Tay J.-H. Iron-mediated removal of ammonia from strong nitrogenous wastewater. *Water Science and Technology*. 2004. Vol. 49, № 5–6. P. 421–431.
6. Catalytic wet air oxidation of coke-plant wastewater. *Water Research*. 2007. Vol. 41, № 10. P. 2305–2311.
7. A feasibility study of ammonia recovery from coking wastewater by membrane distillation. *Desalination*. 2010. Vol. 250, № 2. P. 665–669.
8. Nitrogen removal from coke-making wastewater in a pre-denitrification activated sludge system. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 651. – P. 2520–2529.
9. ТР 228-КХ-06-2007 Постійний технологічний регламент цеху уловлювання хімічних продуктів коксування КХВ, 2007.123 с.
10. Правила технічної експлуатації коксохімічних підприємств. – Харків: ДП «ГИПРОКОКС», 2017. 273 с.
11. Клемін І.А., Мукіна Н.В., Жадан С.І., Мохната І.В. Метод утилізації відпрацьованого розчину цеху сіркоочищення на КХП ПАТ

«АрселорМіттал Кривий Ріг». *Вуглехімічний журнал*. 2011. № 3-4. С.31-35.

- 12.Скрипій Ю.М., Каренов Р.В., Мукіна Н.В. Використання відпрацьованого розчину вакуумно-карбонатної сіркоочистки для розкладання солей амонію у надлишковій надсмольній воді. *Вуглехімічний журнал*. 2016. № 3–4. С. 30–35.
- 13.Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. та ін. Практикум із охорони праці. Л.: Афіша, 2000. 348 с.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

161-03д-д

Автор

161-03д-д

Науковий керівник / Експерт

Шмельцер К.О.

ІД документу

334137250

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту

6/2/2026

Дата редагування

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.

21.1%

21.1%

КП 1

8946

Кількість слів

0.35%

0.35%

КЦ

66522

Кількість символів

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		0
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		155

Джерела

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

#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
---	--	--

Д О В І Д К А

про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами

Текст (вибрати необхідне):

- ☒ кваліфікаційної роботи;
- ☐ навчальної/наукової праці;
- ☐ наукових матеріалів

Вибір та обґрунтування перспективної технології переробки аміачної води з використанням відпрацьованого розчину цеху сіркоочистки

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

ЄФРЕМОВ Андрій Геннадійович

(ПІБ)

кафедра Хімічних технологій та інженерії,

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 62 сторінки друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «StrakePlagiarism».

Рівень оригінальності становить 21,1 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

- ☐ власними публікаціями;
- ☒ термінологією;
- ☒ посиланнями на літературу, праці вчених;
- ☐ посиланнями на законодавство;
- ☒ загальноживаними фразами.

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до захисту в ЕК

(подальшого розгляду, друку, опублікування)

на засіданні кафедри Хімічних технологій та інженерії

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій від «12» червня 2026 р. протокол №16.

Керівник підрозділу _____

(підпис)

К. Шмельцер

Дата «12» червня 2026 р.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА
про підготовку здобувача

Єфремов Андрій Геннадійович
(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 Вибір та обґрунтування перспективної технології переробки аміачної води з використанням відпрацьованого розчину цеху сіркоочистки

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.	зараховано			
2	Основна частина	Шмельцер К.О.	зараховано			

Зав. кафедри _____

(підпис)

К.О. Шмельцер
(ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

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

ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

бакалавра

Здобувача Єфремова Андрія Геннадійовича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ХТ-22

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра

Вибір та обґрунтування перспективної технології переробки аміачної води з використанням відпрацьованого розчину цеху сіркоочистки

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	62;
таблиць	;
схем і рисунків	;
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	.

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра

Кваліфікаційна робота присвячена вирішенню важливої виробничої та екологічної проблеми переробки надлишкових аміачних вод коксохімічного виробництва та підвищення ефективності використання аміачних ресурсів. Запропоновані технічні рішення орієнтовані на впровадження в реальних умовах коксохімічного виробництва та враховують особливості роботи підприємства. У роботі розглянуто фізико-хімічні основи процесу, склад аміачної води, технологічні схеми переробки та апаратурне оформлення процесу. Обґрунтовано доцільність використання відпрацьованого лужного розчину цеху сіркоочистки для розкладання зв'язаного аміаку, що сприяє зниженню витрат реагентів та підвищенню ресурсоефективності виробництва. У роботі наведено кількісні показники витрат води, ступеня вилучення аміаку та витрат пари, що підвищує обґрунтованість запропонованих рішень.

Недоліки кваліфікаційної роботи _____ **бакалавра**
(бакалавра, магістра)

Недостатньо розглянуто можливий вплив домішок відпрацьованого розчину сіркоочистки на подальші стадії переробки аміачної води та якість кінцевих продуктів. 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

Здобувач Єфремов А. Г. під час написання кваліфікаційної роботи бакалавра показав добру загальну та спеціальну підготовку, вміння працювати з літературними та нормативними джерелами. Над розділами роботи працював самостійно, висновки та розроблені рекомендації є актуальними, ефективними та обґрунтованими.

Можливість використання кваліфікаційної роботи _____ **бакалавра**

Кваліфікаційна робота виконана на актуальну тему, характеризується практичною спрямованістю, містить обґрунтовані технологічні рішення та має наукову і прикладну цінність.

Оцінка кваліфікаційної роботи _____ **бакалавра** добре/78/С

Керівник _____ Шмельцер Катерина Олегівна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Зав.кафедри, к.т.н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

« 12 » _____ червня 2026 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 Єфремова Андрія Геннадійовича
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи ХТ-22	
Тема кваліфікаційної роботи	<u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Вибір та обґрунтування перспективної технології переробки аміачної води з використанням відпрацьованого розчину цеху сіркоочистки	
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи	<u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Розробка технології переробки аміачної води з використанням відпрацьованого розчину цеху сіркоочистки	
Переваги кваліфікаційної роботи	<u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Кваліфікаційна робота спрямована на вирішення важливої виробничої та екологічної проблеми переробки надлишкових аміачних вод коксохімічного виробництва та підвищення ефективності використання аміачних ресурсів.	
У роботі наведено кількісні показники витрат води, ступеня вилучення аміаку та витрат пари, що підвищує обґрунтованість запропонованих рішень. Обґрунтовано застосування пінно-вихрових тарілок для інтенсифікації масообмінних процесів та підвищення ефективності роботи аміачної колони.	
Недоліки кваліфікаційної роботи	<u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Недостатньо висвітлено питання промислової апробації результатів, а також можливі обмеження при впровадженні технології в умовах діючого виробництва.	
Екологічні переваги запропонованого рішення не підкріплені кількісною оцінкою зниження екологічного навантаження, що могло б посилити практичну значущість роботи. В деяких місцях пояснювальної записки допущені помилки та в оформленні та неточність перекладу.	
Рекомендації: робота виконана на актуальну тему, має практичну цінність, містить обґрунтовані результати і рекомендації, а зазначені недоліки не мають принципового характеру та не впливають на загальну позитивну оцінку.	
Робота може бути рекомендована до захисту.	
Рецензент (прізвище, ім'я та по-батькові)	

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

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

Я, *Єфремов Андрій Геннадійович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота («Вибір та обґрунтування перспективної технології переробки аміачної води з використанням відпрацьованого розчину цеху сіркоочистки») 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.

12.06.2026