

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

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

## КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Улітич Наталя Михайлівна

на тему Вибір та обґрунтування методу вогневого знефенювання стічних вод коксохімічних виробництв

за матеріалами КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

науковий керівник к.х.н. \_\_\_\_\_ Кормер М.В.  
(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  
доцент, к.т.н.  
Шмельцер К.О.  
(підпис) (посада, вчене звання ,  
прізвище, ініціали)  
 « 06 » \_\_\_\_\_ квітня \_\_\_\_\_ 2026 \_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Улітич Наталя Михайлівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Вибір та обґрунтування методу вогневого знефенолювання стічних вод коксохімічних виробництв

керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Кормер Марина Віталіївна, к.х.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу №228-ст від «6» квітня 2026 р.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2026

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: джерела виникнення та характеристика стічних вод коксохімічного виробництва, формування складу стічних вод, аналіз методів та схем очищення стічних вод, методи механічного і фізико-хімічного очищення стічних вод і їхня сутність, метод біологічного очищення, вплив на біохімічну очистку вмісту амонійного азоту у стічних водах

4.2 Основна частина: обґрунтування доцільності застосування методу вогневого знефенолювання стічних вод, дослідження впливу добавки фенольної води к пінному паливу на процес горіння та покращення роботи теплообмінних пристроїв; принципиальна схема теплогенераторної установки; розрахунок технологічного устаткування

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	Кормер М.В., доцент		
2 Основна частина	Кормер М.В., доцент		

7. Дата видачі завдання «06» 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	30.05.2026	
4.	Подання роботи до кафедри	01.06.2026	
5.	Захист роботи в ЕК	17.06.2026	

Здобувач

\_\_\_\_\_

(підпис)

Улітич Н.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Кормер М.В.

(прізвище та ініціали)

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



## АНОТАЦІЯ

Улітич Н.М. Вибір та обґрунтування методу вогневого знефенолювання стічних вод коксохімічних виробництв. – Рукопис.

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

Кваліфікаційна робота присвячена вивченню технології вогневого знефенолювання стічних вод коксохімічних виробництв.

Об'єкт розробки – технологія утилізації фенольних стоків.

Мета випускної роботи – вивчення вогневого методу для утилізації фенольних стоків.

Метод дослідження та апаратура – літературний огляд існуючих технологічних схем біохімічного очищення стічних вод коксохімічного виробництва, особливостей апаратурного оформлення, аналіз нормативної та технічної документації.

У випускній роботі досліджено вогневий метод утилізації фенольних стоків, основним устаткуванням якого є теплогенераторна установка з гідрокавітаційним пристроєм ГКС-50 для отримання водопаливної емульсії для подальшого спалювання. Досліджена нова технологія дозволяє знизити вміст фенолу у стічних водах з 1,5 г/л до 0,027 мг/м<sup>3</sup>, що свідчить про згоряння фенолів на 99,6 %. Це дозволить вирішити дві проблеми: підвищення ефективності теплогенеруючих установок і утилізації фенольних стічних вод..

Результати роботи можуть бути використані в коксохімічній промисловості, зокрема при очищенні стічних вод.

*Ключові слова:* біохімічне очищення, фенольні стоки, вогневий метод, утилізація, процес горіння, теплогенераторна установка, гідрокавітаційний пристрій, водопаливна емульсія.

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Джерела виникнення та характеристика стічних вод коксохімічного виробництва	10
1.2 Формування складу стічних вод	15
1.2.1 Фенольні стічні води	17
1.2.2 Аміачні води	18
1.2.3 Сепараторні стічні води	20
1.2.4 Зливові та поливально-мийні води	23
1.3 Вибір методу та схеми очищення стічних вод	24
1.3.1 Методи механічного і фізико-хімічного очищення стічних вод і їхня сутність	25
1.3.2 Метод біологічного очищення	27
1.3.3 Чинники, що впливають на ефективність біохімічного очищення	30
1.3.4 Вплив на біохімічну очистку вмісту амонійного азоту у стічних водах	32
1.4 Висновки до аналітичної частини	38
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	
2.1 Обґунтування доцільності застосування методу вогневого знефенолювання стічних вод	39
2.2 Дослідження впливу добавки фенольної води к пiчному паливу на процес горіння та покращення роботи теплообмінних присторів	39
2.3 Принципіальна схема теплогенераторної установки	48
2.4 Розрахунок технологічного устаткування	49
2.5 Заходи із охорони праці та безпеки життєдіяльності	51
2.5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників	51
2.5.2 Заходи щодо зниження впливу шкідливих і небезпечних чинників в умовах технологічного цеху	55
2.5.3 Пожежна безпека на біохімічній установці (БХУ)	58

2.6 Висновки до основної частини	60
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63
ДОДАТКИ	65

## ВСТУП

Очищення стічних вод промислових підприємств має велике народногосподарське значення. Це одна зі складних технічних проблем, у вирішенні якої зацікавлені багато галузей промисловості. В даний час інтенсивний розвиток енергозберігаючих технологій та залучення в енергетику широкого спектра різноманітних вуглеводневих палив, які вигідно відрізняються імпортований природний газ, є актуальною проблемою. У коксохімічній промисловості утворюється велика кількість стічних вод, забруднених різними відходами виробництва, головним чином, фенолами, які становлять велику небезпеку для навколишнього середовища і здоров'я людини. Концентрація фенолів у стічних водах становить приблизно 1,5 г / л [1]. Розвиток хімічних галузей промисловості, утворення значних кількостей стічних вод, забруднених різними хімічними речовинами, підвищення вимог до якості очищених стічних вод обумовлюють широке застосування різноманітних методів їх очищення. В даний час на більшості коксохімічних підприємств очищення фенольних вод проводиться біохімічним методом. Цей метод дуже ефективний, але має ряд недоліків. Зокрема, установки біохімічного очищення дуже чутливі до різких змін режимів роботи: різкі скачки температури, рН, концентрації забруднювачів можуть привести до загибелі мікроорганізмів. Крім того, БХУ займають значні площі. Існує технологія додавання води в палива для теплоагрегатів (мазут, коксовий газ і ін.). Вже встигла добре зарекомендувати себе на практиці технологія спалювання мазуту у вигляді водомазутних емульсій (ВМЕ), де використання емульгування мазуту дозволяє підвищити ефективність спалювання палива і досягти приросту ККД котлоагрегату [1]. Звідси і виникла ідея використання фенольної води як добавки в вуглеводневі палива при приготуванні водопаливних емульсій для вирішення двох проблем: підвищення ефективності теплогенеруючих установок і утилізації фенольних стічних вод. Метою даного дослідження є перевірка можливості вогневої утилізації фенольних

стоків, а також визначення теплофізичних властивостей складів на основі вуглеводневих палив з добавками води для обґрунтування можливості їх подальшого застосування в якості композитних суспензійний горючих (КСГ) на промислових теплогенеруючих установках, формулювання практичних рекомендацій щодо організації процесу горіння. В випускній роботі будуть розглянуті та вивчені теплофізичні властивості складів з метою вогневої утилізації фенольних стоків.

Дане дослідження обумовлено необхідністю ефективного використання фактичних вугільних ресурсів як сировини для виробництва коксу в умовах вичерпання запасів добре спікливого вугілля.

## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Джерела виникнення та характеристика стічних вод коксохімічного виробництва

Основним джерелом утворення токсичних стічних вод в процесі коксування є волога палива або шихти і пірогенетична вода, що утворюється при термічному розкладанні палива, а також конденсат гострої пари, що вводиться в процесах переробки палив. Під час коксування вугілля поряд з леткими продуктами виділяється велика кількість водяної пари як у результаті випаровування вологи шихти, так і у результаті термічного розкладання сполук вугілля, що містять кисень та водень. При охолодженні коксового газу у первинних холодильниках та газозбірниках до 30 °С велика частина цієї пари (95-120 кг/год) конденсується з утворенням надсмольної води та конденсату ПГХ, а менша частина (15 кг/год) уноситься з коксовим газом [2]. Надсмольна вода, що утворюється при охолодженні прямого коксового газу, поглинає аміак, вуглекислий газ, сірководень, ціаністий водень, а також феноли, піридинові основи та інші сполуки, що містяться в ньому [2]. Більшість сполук кислого характеру у воді утворює з аміаком солі. Хімічний склад надсмольної води характеризується вмістом у ній аміаку загального і леткого, кислот, основ і нейтральних домішок (легких масел, нафталіну і інших). Зв'язаний аміак накопичується переважно у надсмольній воді циклу газозбірників, що пояснюється переходом частини сірководню в окислені форми - елементарну сірку і її двоокис, які у присутності аміаку і ціаністого водню утворюють тіосульфат, сульфат, сульфід, роданід амонію. Конденсат, що утворюється при охолодженні газу у первинних холодильниках, містить переважно леткий аміак, концентрація якого залежить від вмісту аміаку у коксовому газі і температури конденсату. При охолодженні коксового газу до 25-35 °С у газовий конденсат переходить 10-30 % загальних ресурсів аміаку. При цьому вміст зв'язаного аміаку у ньому невеликий (0,3-0,6 г/л) і обумовлений головним чином віднесенням бризок

води з газозбірника. Кінцеве охолодження коксового газу призначене для зниження температури коксового газу після сульфатного відділення до температури, сприятливої для вловлювання бензольних вуглеводнів. Під час охолодження коксового газу відбувається конденсація частини водяної пари, а також нафталіну. При контакті газу з водою вона насичується компонентами, що містяться в ньому, - ціаністим воднем, сірководнем, аміаком, бензольними вуглеводнями, фенолами та ін. При виділенні сирого бензолу з поглинального масла дистиляцією та ректифікацією використовується гостра пара, що призводить до утворення сепараторних стічних вод. Сепараторні стічні води утворюються також в процесі фракційної розгонки смоли. При виділенні сирого бензолу з поглинального масла дистиляцією та ректифікацією використовується гостра пара, що призводить до утворення сепараторних стічних вод. Сепараторні стічні води утворюються також в процесі фракційної розгонки смоли. У таблиці 1.1 наведені фізико-хімічні властивості стічних вод коксохімічного виробництва [3]. Кількість і склад стічних вод залежать від якості коксованого вугілля, технологічних параметрів процесу коксування, конструкції коксових печей, і тому для різних коксохімічних підприємств різні. По суті, розглянуті стічні води, представляють собою розбавлені емульсії, в яких органічні речовини дисперговані у водній фазі. На сучасному коксохімічному заводі з печами великих об'ємів кількість стічних вод на 1 т коксу складає 0,2-0,3 м<sup>3</sup> або близько 150 м<sup>3</sup>/год [3]. На коксохімічному заводі основними стічними водами є фенольні. Крім того, в процесі очищення коксового газу від сірководню миш'яково-содовим методом утворюється 4-6 м<sup>3</sup>/год стічних вод. Уявлення про склад стоку коксохімічного заводу і його окремих складових дає таблиця 1.2, складена за матеріалами спеціальних обстежень коксохімічних заводів України (мг/л) [4]. Як відомо, стічні води коксохімічного виробництва, у тому числі конденсат первинних газових холодильників (ПГХ) та газозбірникові води, містять значну кількість смол та масел, переважно у вигляді емульсій. Всі стічні води коксохімічного виробництва можна об'єднати в наступну схему (рис. 1.1).

Таблиця 1.1

## Фізико-хімічні властивості стічних вод коксохімічного виробництва

Найменування стічних вод	Джерела виникнення	Фізико-хімічні властивості з граничними відхиленнями	
		Величини показників обов'язкових для перевірки (найменування та одиниця виміру)	Показники
Фенольні води	Утворюються за рахунок: - фізичної та пірогенетичної вологи коксованої шихти; - конденсату коксового газу з конденсатовідвідників газопроводів; - конденсату парів, які використовуються в технологічних процесах; - забрудненої технічної води, що контактує з коксівним газом або іншими продуктами коксування; - продукції барельєтного циклу і циклу кінцевого охолодження коксового газу, очищення коксового газу від сірководню.	Температура води на очищення, °С	≤ 45
		Вміст фенолів, мг / дм <sup>3</sup>	≤ 600
		Вміст роданидів, мг / дм <sup>3</sup>	≤ 600
		Вміст ціанідів, мг / дм <sup>3</sup>	≤ 100
		Вміст аміаку летючого, мг / дм <sup>3</sup>	≤ 200
		Вміст аміаку загального, мг / дм <sup>3</sup>	≤ 2200
		Вміст смол і масел, мг / дм <sup>3</sup>	≤ 500
		pH	6,5 – 8,0
Аміачні води	Утворюються в результаті очищення первинного конденсату коксового газу від аміаку в аміачному відділенні цеху уловлювання.	Температура води на очищення, °С	≤ 95
		Вміст фенолів, мг / дм <sup>3</sup>	≤ 1200
		Вміст роданидів, мг / дм <sup>3</sup>	≤ 150
		Вміст ціанідів, мг / дм <sup>3</sup>	≤ 6
		Вміст аміаку летючого, мг / дм <sup>3</sup>	≤ 100
		Вміст аміаку загального, мг / дм <sup>3</sup>	≤ 600
		pH	7,8 – 8,8
		Хімічна потреба в кисні (ХПК), мг / дм <sup>3</sup>	≤ 3200
Дошові води	Дошові води поступають з огорожених майданчиків хімічних цехів	pH	7,8 – 8,8
		Масова концентрація фенолів, мг / дм <sup>3</sup>	≤ 1,0
		Масова концентрація роданидів, мг / дм <sup>3</sup>	≤ 15
		Масова концентрація амоній-іонів, мг / дм <sup>3</sup>	≤ 20
		Вміст смол і масел, мг/дм <sup>3</sup>	≤ 5,0
Дренажні води	З підвалів кабельних трас; з дренажних насосних КХВ. Шламові стічні води утворюються при мокрій очистці повітря, що містить пил від аспіраційних систем і гідроуборки приміщень вуглепідготовчого цеху	pH	8,0 – 8,5
		Масова концентрація фенолів, мг / дм <sup>3</sup>	≤ 1,5
		Масова концентрація роданидів, мг / дм <sup>3</sup>	≤ 85
		Масова концентрація амоній-іонів, мг / дм <sup>3</sup>	≤ 50

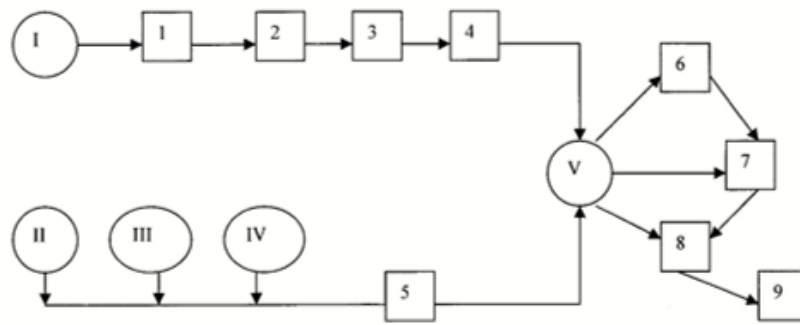
Примітка. Джерело: розроблено з використанням [3]

Таблиця 1.2

## Склад стоку коксохімічного заводу

Склад	Над- смо- льна вода після скрубе- ра	Сепаратор- на вода бенз. відді- лення	Вода циклу КТХ	Загаль- ний стік цеху улов- лю- вання	Загаль- ний стік цеху ректи- фікації	Сепаратор- ні води	Загаль- ний стік	Типов ий загаль ний стік заводу
Феноли, мг/дм <sup>3</sup> :								
летючі	228	-	680	260	-	3460	800	290
многоатомні	190	-	-	200	-	380	42	125
Аміак, мг/дм <sup>3</sup> :								
летючий	379	-	-	-	-	-	-	-
загальний	2100	232	436	490	-	2320	835	980
Роданіди, мг/дм <sup>3</sup> :	464	104	265	360	-	-	-	400
Цианіди, мг/дм <sup>3</sup> :	14	103	78	56	11	80	25	28
Сульфіді, мг/дм <sup>3</sup> :	28	251	82	15	-	-	-	12
Хлоріди, мг/дм <sup>3</sup> :	3620	-	270	2450	-	-	262	1640
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup> :	920	-	400	2140	660	-	-	1480
Тіосульфати, мг/дм <sup>3</sup> :	300	300	265	430	-	-	-	290
Смоли і масла	58	-	77	117	85	145	175	110
Піридинові основи	200	140	130	115	110	400	250	150
pH	8,8	7,1	7,1	7,1	7,8	8,4	8,7	7,7
t, °C	92	45	30	44	34	50	46	36
Окислюваність	2020	1260	1620	1430	1550	7800	3560	2030

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [3]



I – надлишкова надсмольна аміачна вода; II – конденсат газопроводів; III – вода після газового холодильника; IV – сепараторні води; V - усереднювач; 1 – освітлювачі, відстійники води; 2 – фільтри для обезфенолювання; 3 – аміачна колона; 4- обезфенолюючий скрублер; 5 – механічне очищення; 6 – вода на гасіння коксу; 7 – вода на БХУ; 8 – вода на міські очисні споруди; 9 – вода у водойми

**Рис.1.1. Схема стічних вод КХВ**

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [3]

Емульсії - це дисперсні системи двох рідин, що не розчинні чи мало розчинні одна в одній, одна з яких диспергована в іншій у вигляді мілких крапель (глобул). За характером дисперсної фази та дисперсійного середовища розрізняють емульсії двох типів:

- емульсії прямого типу - емульсії неполярної рідини в полярній (М/В);
- емульсії зворотного типу - емульсії полярної рідини в неполярній (В/М).

Тип емульсії звичайно встановлюють при визначенні властивостей її дисперсійного середовища. Емульсії М/В змішуються з водою, не змочують гідрофобну поверхню та мають високу електропровідність. Емульсії В/М змішуються з маслом або нафтою, змочують гідрофобну поверхню та не мають помітної електропровідності. Аміачні води є ліофобними кам'яновугільними емульсіями прямого типу.

Дисперсність є одним з основних технологічних параметрів речовин та матеріалів у багатьох виробничих процесах. Під час вибору апаратів в хімічній технології обов'язково враховуються дисперсійні характеристики реакційної

суміші. Це пояснюється тим, що при подрібненні речовин не тільки збільшується поверхня між фазами, але й змінюються властивості системи [2]. Наприклад, зростає розчинність, підвищується реакційна здатність речовин, знижуються температури фазових переходів та інше. У зв'язку з цим виникає необхідність знаходження кількісних дисперсійних характеристик різних систем.

Таким чином, стічні води КХП утворюються:

- від хімічних цехів за рахунок вологи шихти та пірогенетичної вологи;
- при конденсації водяної пари, що використовуються при завантаженні коксових печей вугільною шихтою;
- в процесі охолодження та очищення коксового газу та переробки хімічних продуктів, що містяться в коксовому газі;
- кількість стічних вод і концентрація в них забруднень залежать від якості вугілля, умов експлуатації та стану хімічної апаратури.

## 1.2 Формування складу стічних вод

Під стічними водами прийнято розуміти водні маси, які були використані на виробництві, у сільському господарстві чи комунально-побутовій сфері, а також ті, що протікали антропогенно забрудненою територією. Через різноманітність компонентів властивості таких вод можуть сильно відрізнятися. Виходячи з природи забруднюючих агентів, їх прийнято ділити на три категорії: органічні; мінеральні; біологічні.

Під органічними забруднювачами мають на увазі компоненти, що мають тварина або рослинне походження. Біологічну і бактеріальну групу формують різноманітні мікроорганізми: пліснява, дріжджі, мікроскопічні водорості, а також бактеріальні культури, включаючи патогенні види - джерела поширення дизентерії, черевного тифу, паратифів та інших інфекцій. Незалежно від етіології, всі забруднюючі елементи класифікують на чотири категорії. До першої категорії домішок зараховують нерозчинні грубодисперсні елементи, які можуть мати як органічну, так і неорганічну основу. Цей клас включає

мікроорганізми (грибкові культури, водорості, найпростіші), бактеріальні форми та яйця паразитичних хробаків (гельмінтів). У водяному середовищі вони створюють нестабільні дисперсні системи. За певних обставин ці речовини здатні формувати осад або підніматися на поверхню рідкої фази. Основний обсяг таких компонентів може вилучатися зі стоків за допомогою седиментації (гравітаційного відстоювання).

Другу категорію забруднень формують сполуки, що знаходяться в колоїдному стані, лінійний розмір яких не перевищує  $10^{-6}$  см. Сюди ж зараховують високомолекулярні полімери, оскільки їхня поведінка ідентична колоїдним розчинам. Виходячи із зовнішніх фізичних факторів, речовини цієї групи здатні трансформувати агрегатний стан. Мікроскопічний розмір ускладнює процес їхнього осадження під впливом сили тяжіння. При порушенні фазової стійкості системи ці сполуки випадають в осад.

До третьої категорії зараховують компоненти з габаритами менше  $10^{-7}$  см. При розчиненні у водному середовищі вони утворюють справжні розчини. Для виділення зі стоків забруднювачів третьої категорії залучають методи фізико-хімічного та біологічного впливу.

До четвертої категорії домішок відносяться речовини з лінійним розміром елементів нижче  $10^{-8}$  см, що еквівалентно іонному рівню подрібнення. Дану групу формують розчинені солі, основи та кислоти. Окремі сполуки (наприклад, фосфати та солі амонію) частково вловлюються під час проходження біологічних очисних споруд. Проте стандартний цикл обробки комунально-побутових стоків (що включає комплексну біологічну деструкцію) не здатний скоригувати загальний рівень мінералізації водного середовища. Щоб зменшити вміст сольових компонентів, вдаються до таких фізико-хімічних технологій, як електродіаліз, іонний обмін та аналогічні процеси. Виходячи з умов утворення та джерела походження, виділяють три ключові класи стічних вод: комунально-побутові (господарські).

### 1.2.1 Фенольні стічні води

До фенольних стічних вод відносять: надмірну надсмольну воду, що утворюється за рахунок фізичної та пірогенетичної вологи шихти. Оскільки надсмольна вода попередньо очищується від летких фенолів і леткого аміаку, обсяг її збільшується за рахунок конденсації гострої пари (використовується для віддувки аміаку на аміачних колонах) на 20-25 %.

Води, що утворюються за рахунок контакту гострої пари та технічної води хімічними продуктами коксування при їх уловлюванні та переробці (сепараторні води, віджимні води зі сховищ, надлишкова вода циклу кінцевого охолодження коксового газу при оновленні циклу технічною водою).

Забруднений конденсат енергетичного пару, використовують для пропарок трубопроводів, апаратури, залізничних цистерн; для парової інжекції газів при завантаженні коксових печей та ін.

Фенолсодержащие (фенольні) стічні води є однією з найбільш небезпечних і токсичних видів промислових стоків. Вони відносяться до категорії органічних забруднень і вимагають суворого контролю та багатоступінчастої очистки перед скиданням у водойми або міську каналізацію.

Залежно від вмісту фенолу стічні води ділять на два основні типи: концентровані (маткові розчини): вміст фенолів перевищує 1000-2000 мг/л (у коксохімічних стоках може досягати 10 000 мг/л). Такі стоки зазвичай спрямовують на локальну регенерацію для отримання цінної сировини. Висока токсичність: Фенол ( $C_6H_5OH$ ) - це сильна нервово-паралітична і протоплазматична отрута, яка легко розчиняється у воді. інтерес. Специфічний запах: навіть при мізерно малих концентраціях (на рівні часток міліграма) фенол надає воді стійкого неприємного «карболового» запаху. При хлоруванні такої води утворюються хлорфеноли, запах яких посилюється в сотні разів (аптечний запах). Зазвичай вони містять супутні токсини: аміак, ціаніди, сірководень, смоли та нафтопродукти.

Методи очищення фенольних стоків: через високу стійкість і токсичність фенолу класична схема очищення не завжди справляється, тому застосовують комплекс локальних методів:

- екстракція та сорбція (для концентрованих стоків): вилучення фенолу за допомогою органічних розчинників або поглинання активованим вугіллям/іонообмінними смолами, з метою його повторного використання;
- окислювальні методи: руйнування молекул фенолу сильними окислювачами (озон, перекис водню, хлор) або за допомогою систем глибокого окислення (процес Фентону);
- біологічний метод: розведені стоки (після попереднього очищення від смол і масел) направляють в аеротенки, де спеціальні штами бактерій (наприклад, роду *Pseudomonas*) використовують фенол як джерело вуглецю та енергії, розкладаючи його до безпечних  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$ .

### 1.2.2 Аміачні води

Аміачні (надсмольні) води коксохімічного виробництва (КХП) - це один з найбільш об'ємних, токсичних та складних у утилізації видів рідких відходів важкої промисловості. Вони утворюються в процесі охолодження та конденсації коксового газу, що виділяється під час термічної переробки (коксування) кам'яного вугілля без доступу повітря при температурах близько 1000–1100 °С. Аміачна вода - це конденсат ПГХ, що пройшов стадію очищення шляхом відстоювання, але й вона містить значну кількість смол та масел.

Надсмольна аміачна вода складається:

- конденсату газозбірника зі смолою й фусами;
- конденсату первинних газових холодильників, та іншого устаткування відділення конденсації.

Під час коксування вугілля виділяється велика кількість водяної пари, як у результаті випарювання вологи шихти, так і в результаті термічного

розкладення кисне- і водневмісних сполук вугілля. При робочій вологості шихти 8-10 % вихід водяних парів складає 110-135 кг на 1 т сухої шихти [4].

При охолодженні коксового газу до 30 °С більша частина цієї пари (95 - 120 кг/год) конденсується з утворенням надсмольної води та конденсату первинних газових холодильників (ПГХ).

Води коксохімічного виробництва, у тому числі конденсат ПГХ та надсмольна вода газозбірникового циклу, містять смоли та масла в диспергованому стані (розмір часток 1-50 мкм) [4]. Ці води відносяться до ліофобних низькоконцентрованих емульсій прямого типу М/В (концентрація смол та масел - 0,01 - 0,2 %) [4].

Хімічний склад дисперсійного середовища (водної фази) визначається вмістом аміаку загального і леткого, кислот, основ - приблизний солевміст складає 35 - 45 г/л [1]. Дисперсна (смолиста) фаза містить смоли, легкі масла, нафталін (вміст смол та масел - 300 - 2200 мг/л) [1].

Воду, яку використовують для зрошення, називають аміачною або надсмольною водою, оскільки вона містить поглинений з газу аміак. Друга назва пов'язана з тим, що щільність смоли більше одиниці і вода при розділенні завжди знаходиться над смолою. Витрата надсмольної води складає 5-6 м<sup>3</sup> на 1 т шихти, 2-3 % цієї води випаровується.

Хімічний склад і ступінь небезпеки.

Аміачна вода КХП - це багатокомпонентний розчин, що володіє різким задушливим запахом, темно-бурим кольором і лужною реакцією (рН зазвичай в межах 8,5-9,5).

Усі забруднювачі у складі цього відходу поділяють на дві основні групи:

1. Летючі сполуки (руйнуються при кип'ятінні):

- а). вільний аміак ( $\text{NH}_3$  або  $\text{NH}_4\text{OH}$ ): основний компонент (до 2-5 г/л).
- б). сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ): надає розчину запах тухлих яєць,;
- в). летючі феноли: надають стокам екстремально високої токсичності.
- г). діоксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) та синильна кислота ( $\text{HCN}$ ).

2. Фіксовані (пов'язані) з'єднання (не розкладаються простим нагріванням):

- а) солі амонію: хлорид амонію ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), сульфат амонію ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), тіоціанат (роданід) амонію ( $\text{NH}_4\text{SCN}$ ) і тіосульфат амонію ( $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2$ ).
- б) нелеткі феноли, піридинові основи та важкі смолисті речовини.

### 1.2.3 Сепараторні стічні води

Сепараторні стічні води смолопереробних цехів (СПЦ) коксохімічного виробництва належать до категорії екстремально забруднених локальних стоків. Саме в СПЦ, де відбувається фракційна розгін кам'яновугільної смоли, уловлювання сирого бензолу та виробництво пеку, сепараторні води мають найвищу концентрацію токсичних речовин. Концентрація летких і нелетких фенолів у цих стоках може досягати величезних значень - до 8-10 г/л (8000-10000 мг/л), що робить їх найтоксичнішими на всьому КХП. Через присутність залишкових масел, емульгованих смол та ПАР їх пряме біологічне очищення неможливе: смоли обволікають активний мул, блокують доступ кисню та знищують мікрофлору. Сепараторні води смолопереробних цехів відрізняються високим вмістом фенолів, піридинових основ і масел. У зв'язку з цим подача їх на спорудження біохімічної очистки без попередньої обробки небажана. Частина сепараторних вод виходить при зневодненні смоли з 4 до 0,2 %. Для цього вона нагрівається в трубчастій печі до 120 °С і подається в евапоратор, де пари води і легкого масла виділяються і надходять у конденсатор, а зневоднена смола стікає в збірник; конденсат з конденсатора розділяється в сепараторі на легке масло і сепараторну воду. Інша частина сепараторних вод виходить при ректифікації безводної смоли на фракції. При цьому виділяється залишкова вода (0,2 %) з смоли і, крім того, в сепараторні води надходить конденсат пари, який вводиться в колону ректифікації для регулювання складу поглинаючої фракції. Кількість введеного пара на різних заводах неоднакова, в результаті чого мають місце значні коливання у виході і складі сепараторних вод [4]. Характеристика сепараторних вод смолопереробних цехів з даними заводів наведена в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

## Характеристика сепараторних вод смолопереробних цехів

Склад сепараторних вод:	Вміст, мг/л
Летких фенолів	1000-6000
Багатоатомних фенолів	230-480
Леткого аміаку	1400-2400
Зв'язаного аміаку	200-400
Ціанідів	40-200
Смол і масел	100-400
Органічних основ	200-500
Окислюваність, мг O <sub>2</sub> /л	1500-8000
pH	7,7-9,0

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [3]

Очищення таких вод будується строго по ступінчастому технологічному процесу.

#### Ступінь 1. Первинне механічне очищення (Локальне)

Мета етапу - максимально витягти нерозчинні кам'яновугільні смоли, олії та механічні домішки (вугільний пил, кокс), щоб підготувати стік до хімічного вилучення фенолу.

а). Статичне відстоювання у смоловідділювачах та відстійниках: стік розділяється під дією сили тяжіння. Смола (як важча фаза) осідає на дно, а олії спливають.

б). Напірна або механічна флотація: воду насичують повітрям за допомогою відцентрових аераторів. Пухирці газу підхоплюють мікрокраплі емульгованих смол і масел, виносячи їх на поверхню у вигляді флотопени (шламу), яка безперервно зрізається скребками.

в). Фільтрування: пропуск стоків через механічні фільтри, заповнені кварцовим піском, антрацитом або коксовою дрібницею для уловлювання залишкових слідів суспензії.

Ступінь 2. Фізико-хімічне очищення (дефеноляція). Оскільки сепараторні води СПЦ містять економічно цінні, хоч і токсичні компоненти, їх направляють на регенераційне очищення з метою отримання сирого фенолу.

Екстракційний метод (найпоширеніший): стічну воду змішують із спеціальним органічним розчинником (екстрагентом), у якому фенол розчиняється значно краще, ніж у воді. Зазвичай використовують сирий бензол або ефективніший бутилацетат. Феноли переходять із води в екстрагент. Отриманий фенолятний розчин відокремлюють, а бензол/бутилацетат регенерують (відганяють пором) та повертають у цикл. Вилучений фенол йде на склад готової продукції. Ефективність методу сягає 92-95 %.

Сорбційний метод: застосовується при середніх концентраціях. Стік пропускають через колони з активованим вугіллям або спеціальними макропористими смолами іонообмінними. Метод забезпечує глибоке очищення, але вимагає регулярної та складної регенерації сорбенту гострим паром або розчинами лугів.

#### Ступінь 3. Термічне знешкодження.

У випадках, коли витягувати фенол з конкретного потоку економічно недоцільно або емульсія занадто стійка, застосовують радикальний метод повного знищення:

1. Вогневе (термічне) окислення: сепараторні стоки розпорошують через спеціальні форсунки в температурі 900–1000 °С. Органіка, смоли та феноли повністю згорають, перетворюючись на безпечні  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ . Головний недолік методу - високі енерговитрати.

2. Парогазовий каталітичний метод: стічні води переводять у пароподібний стан, після чого парогазову суміш пропускають через шар розжареного коксу або каталізатори (оксиди міді та алюмінію) при температурах 400-500 °С у присутності повітря, руйнуючи феноли.

#### Ступінь 4. Біохімічне очищення.

Після локальної дефеноляції або екстракції концентрація фенолів у сепараторній воді знижується з 8000 мг/л до прийнятних 50-150 мг/л. У такому вигляді стік об'єднують з іншими, більш розбавленими водами коксохімічного заводу і направляють на загальну біохімічну установку (БХУ).

1. Розбавлення: перед подачею в аеротенки стоки розбавляють технічною або умовно-чистою водою, щоб знизити концентрацію фенолу до безпечного для бактерій рівня 10–15 мг/л.

2. Аеробне окислення в аеротенках: у реактори безперервно подається повітря. Спеціально адаптований активний мул (бактерії родів *Pseudomonas* і *Flavobacterium*) використовує феноли, роданіди та ціаніди як джерело живлення (вуглецю), повністю руйнуючи їхню структуру.

3. Нітри-денітрифікація: на сучасних БХУ паралельно видаляють амонійний азот, послідовно перетворюючи його мікробіологічним шляхом на нітрити/нітрати, а потім на газоподібний азот ( $N_2$ ). Після відстоювання у вторинних відстійниках від активного мулу очищена вода або повертається в технологічний цикл заводу (наприклад, для гасіння коксу), або скидається у водойму (якщо досягнуто суворих норм ГДК).

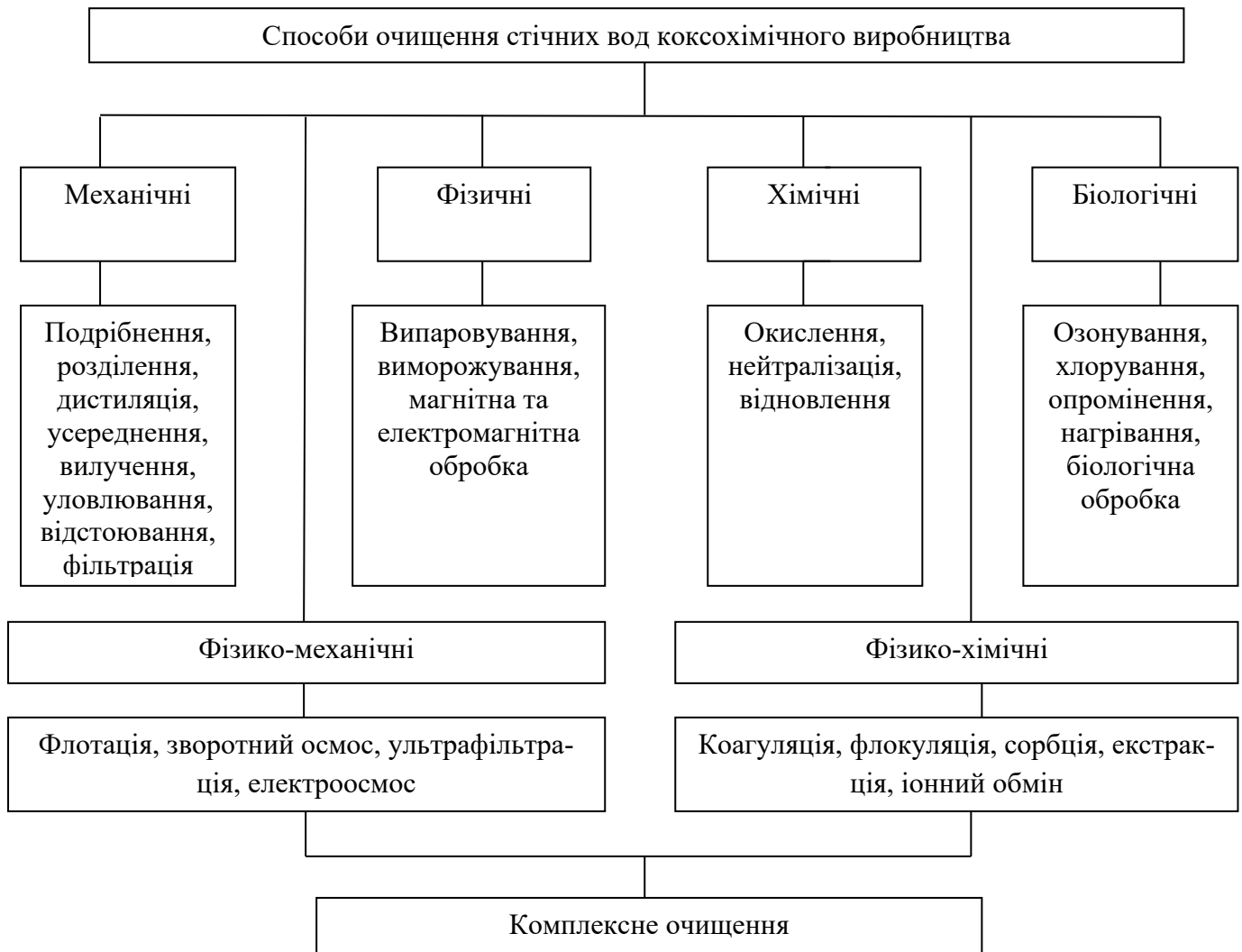
#### **1.2.4 Зливові та поливально-мийні води**

Утворений в результаті випадання опадів, поливання і миття території поверхневий стік змиває і виносить з потоком розчинні і нерозчинні домішки. Крім того, атмосферна вода в результаті сорбування на поверхні гідроаерозолей частинок пилу, газу та інших домішок, що знаходяться в повітрі, починає забруднюватися ще в приземних шарах. Внаслідок цього зливові стоки підприємства відносяться до категорії стічних вод. Надходження поверхневого стоку в зливову каналізацію нерівномірне за часом - залежить від пори року та інтенсивності опадів. Поверхневий стік з території коксохімічного заводу умовно можна розділити на 2 групи за основними забрудненнями: I - грубодисперсні домішки (вугільний і коксовий пил); II - хімічні домішки (аналогічно фенольній стічній воді); вміст їх коливається в дуже широких межах. Для зменшення кількості утворення стічних вод необхідно знижувати вологість шихти, зробити заміну пароінжекторних установок на газоінжекторні, удосконалити технологічні процеси переробки продуктів з метою зменшення кількості витрачання гострої пари і води, а також застосування апаратів повітряного

охолодження замість водяного для первинного охолодження коксового газу, пари бензолу, масел та інших продуктів. Таким чином, в коксохімічній промисловості об'єм стічних вод становить близько 38 % від кількості коксованої сухої шихти. Стічні води КХВ використовують в основному для гасіння коксу. Тому висувуються жорсткі вимоги до складу стічних вод.

### 1.3 Вибір методу та схеми очищення стічних вод

Способи очищення забруднених промислових вод можна об'єднати в такі групи: механічні, фізичні, фізико-механічні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні, комплексні (рис. 1.2).



**Рис.1.2.Способи очищення стічних вод коксохімічного виробництва**

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [3]

### 1.3.1 Методи механічного і фізико-хімічного очищення стічних вод і їхня сутність

Сутність методу полягає в механічному видаленні зі стічних вод нерозчинених домішок. Схема очищення від суспендованих і емульгованих домішок представлена на рисунку 1.3.



**Рис.1.3. Схема очищення від суспензійних і емульгованих домішок**

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [3]

Основними методами механічного очищення є: проціджування; відстоювання; фільтрування; виділення твердої суспензії і згущення шламів за допомогою центрифуг або гідроциклонів.

Той чи інший спосіб механічного очищення застосовують залежно від властивостей домішок і необхідної повноти їх виділення.

Застосовуються споруди:

1. Решітки - для затримки великих отбросів, >5 мм.
2. Сита - затримка домішок розміром менш 5 мм.
3. Пісковловлювачі - відбувається осадження часток мінерального походження, головним чином піску.
4. Жировловлювачі, нафтовловлювачі, масловловлювачі, золувловлювачі - призначені для затримки забруднень більш легких, ніж вода.
5. Відстійники - призначені для відстоювання зважених речовин з питомою вагою  $\gamma > 1 \text{ Н/м}^3$  речовини осаджуються, а за  $\gamma < 1 \text{ Н/м}^3$  спливають. Для очищення стічних вод від дуже дрібної суспензії застосовується фільтрування (виробничі стічні води). Механічним очищенням можна досягти видалення зі стічних вод 60 % зважених речовин і зниження БПК на 20 %.

Механічне очищення є попередньою й обов'язковою стадією перед біологічним очищенням. Сутність методів фізико-хімічного очищення полягає в додаванні до стічних вод хімічних реагентів (флокулянтів і коагулянтів), що вступають у реакцію зі забрудненими стічними водами і сприяють випадінню нерозчинених колоїдів і частини розчинених речовин. Деякі нерозчинені речовини перетворюють на нешкідливі розчинені. Фізико-хімічне очищення інтенсифікує механічну, а у деяких випадках можуть замінити біологічну очистку. Хімічним очищенням досягається зменшення нерозчинних домішок до 95 % і розчинних до 25 %.

При фізико-хімічному методі обробки із стічних вод видаляються тонко дисперсні і розчинені неорганічні домішки і руйнуються органічні речовини, найчастіше з фізико-хімічних методів застосовується коагуляція, окислення, сорбція, екстракція і т.д. Широке застосування знаходить також електроліз. Він полягає в руйнуванні органічних речовин у стічних водах і витяганні металів, кислот та інших неорганічних речовин.

Електролітичне очищення здійснюється в особливих спорудах - електролізерах. Очищення стічних вод за допомогою електролізу ефективно на свинцевих і мідних підприємствах, в лакофарбовій і деяких інших областях промисловості.

Забруднені стічні води очищають також за допомогою ультразвуку, озону, іонообмінних смол і високого тиску, добре зарекомендувало себе очищення шляхом хлорування.

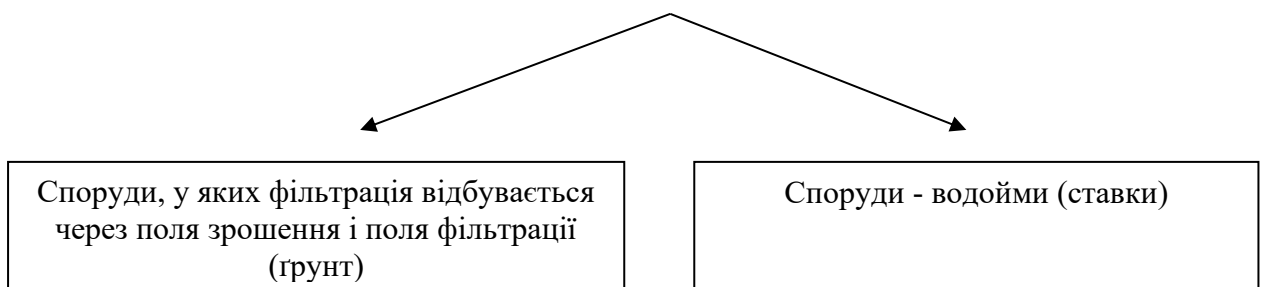
### 1.3.2 Метод біологічного очищення

Його сутність полягає в мінералізації органічних забруднень, що знаходяться у стічних водах у розчиненому стані або у вигляді колоїдних речовин і не піддаються механічному очищенню. Засновано цей метод на життєдіяльності мікроорганізмів, для яких органічні забруднення є джерелом харчування.

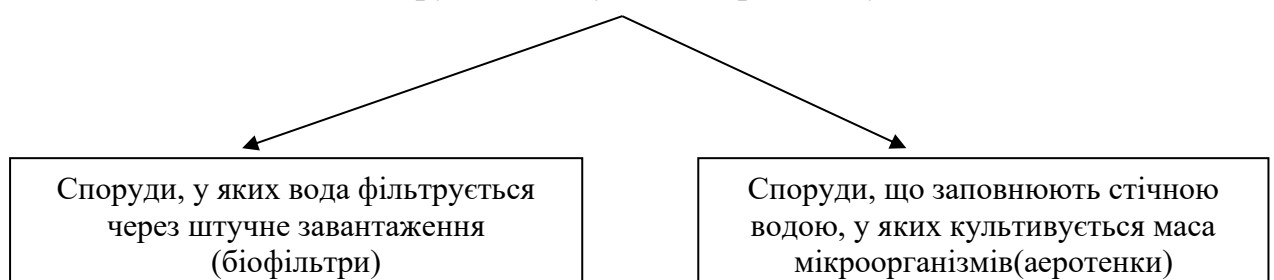
У біофільтрах стічні води пропускаються через шар крупнозернистого матеріалу, покритого тонкою бактеріальною плівкою. Завдяки цій плівці інтенсивно протікають процеси біологічного окислення. Саме вона служить діючим початком в біофільтрах.

Існує 2-а типу споруджень біологічного очищення:

#### 1. Споруди, у яких очищення відбувається природно



#### 2. Споруди зі штучноствореними умовами



У біологічних ставках в очищенні стічних вод беруть участь всі організми, що населяють водойму.

Аеротенки - величезні резервуари із залізобетону. Тут очищає початок - активний мул з бактерій і мікроскопічних тварин. Всі ці живі істоти бурхливо розвиваються в аеротенках, чому сприяють органічні речовини стічних вод і надлишок кисню, що надходить у спорудження потоком подаваного повітря. Бактерії склеюються в пластівці і виділяють ферменти, мінералізують органічні забруднення. Іл з пластівцями швидко осідає, відділяючись від очищеної води. Інфузорії, джгутикові, амеби, коловертки й інші дрібні тварини, пожираючи бактерії, несліпаючіся в пластівці, омолоджують бактеріальну масу мулу.

#### Обробка осаду

У процесі очищення стічних вод утворюється осад. У первинних, вторинних відстійниках і в контактних резервуарах. Осад має високу вологість (93 -99 %), неприємний запах, здатність до загнивання і велику кількість бактерій і яєць і гельмінтів (глистів). Для запобігання загниванню осад піддають дії анаеробних мікроорганізмів або аеробних у спеціальних спорудах:

1.Септики - горизонтальні відстійники, у яких осад випадає на дно і зброджується під товщею води без доступу повітря і кисню .

2.Двохярустні відстійники – комбіновані споруди, що складаються з відстійника у верхній частині і септика у нижній.

3.Метантенки - герметично закриті споруди, у яких в анаеробних умовах зброджується осад.

4.В аеробних умовах використовують аеробні стабілізатори. Осад піддається тривалому впливову аеробних мікроорганізмів.

Для зневоднювання зброджуваного осаду використовують:

1.Мулові площадки, де осад піддається сушінню у природних умовах.

2.Споруди для штучного зневоднення: вакуум-фільтри, вакуум-преси, центрифуги

Після висушування осад може використовуватися (утилізований) як добрива.

#### Дезінфекція очищених стічних вод

Стічні води перед біологічним очищенням піддають механічному очищенню, а після нього для видалення хвороботворних бактерій і хімічному очищенню, хлоруванню рідким хлором або хлорним вапном.

Для дезінфекції використовують також інші фізико-хімічні прийоми (ультразвук, електроліз, озонування та ін.).

Головним діючим початком при біохімічній очистці є мікроорганізми, що використовують як поживні речовини і джерела енергії, розчинені органічні і неорганічні сполуки. З них мікроорганізми беруть все необхідне для розмноження, збільшуючи при цьому активну біомасу.

Забруднюючі стічну воду речовини при їх аеробно-біохімічній очистці окислюються активним мулом, що представляє собою біоценоз, рясно заселений мікроорганізмами.

Активний мул руйнує органічні і неорганічні сполуки в спеціальних спорудах - аеротенках в умовах аерації повітрям стічної води та мулу, що знаходиться завдяки аерації в підвішеному стані. У процесі очищення мікроорганізми активного мулу, контактуючи з органічними і неорганічними речовинами стічних вод, руйнують їх за допомогою різних ферментів.

Для створення протоплазми, клітки мікроорганізмів потрібні біогенні елементи: вуглець, азот, кисень, водень, фосфор, калій, залізо, магній і різні мікроелементи. Багато з цих елементів бактеріальна клітина може зачерпнути з забруднень стічних вод коксохімічного виробництва. Відсутні елементи, найчастіше фосфор і рідше калій, доводиться додавати в очищувану стічну воду у вигляді ортофосфornoї кислоти і солі марганцевокислого калію.

Для нормального процесу синтезу клітинної речовини, а отже, і для ефективного процесу очищення стічної води в середовищі повинна бути достатня концентрація всіх основних біогенних елементів, яка для стічних вод коксохімічного виробництва визначається співвідношенням [4]:

$$\text{БПК}_{\text{повн.}} : \text{N} : \text{P} = 100:5 : 1, \quad (1.1)$$

де БПК - повна біологічна потреба в кисні, мгО/л;

N - концентрація азоту, мг/л;

P - концентрація фосфору, мг/л.

Спосіб біохімічної очистки зазвичай застосовується для очищення промислових стічних вод після обробки їх фізико-хімічними методами, за допомогою яких із вод видаляються речовини, що не піддаються біологічному руйнуванню токсичних речовин і знижується концентрація забруднень.

Можливість біохімічної очистки стічних вод визначається співвідношенням БПК повного до ХПК, який має бути менше 0,4.

До числа переваг методу біохімічного очищення відноситься здатність руйнувати різні класи органічних сполук, проте, ряд органічних сполук не піддаються біохімічному окисленню.

Окремі органічні сполуки розпадаються, але продукти розпаду не окислюються до вуглекислого газу і води, ці продукти розпаду можуть бути іноді навіть більш токсичні, чим вихідні речовини. Іноді біохімічне окислення неможливе через високу концентрацію забруднень в стічній воді, що має токсичний вплив на мікроорганізми.

### **1.3.3 Чинники, що впливають на ефективність біохімічного очищення**

Ефективність біохімічного очищення залежить від ряду чинників, основними з яких є: температура, реакція середовища (рН), кисневий режим, наявність біогенних елементів і токсичних речовин, рівень живлення мікроорганізмів. Оптимальною температурою, при якій добре розвивається фенол- і роданруйнуючі мікроорганізми є 30-35 °С. Активна життєдіяльність даних мікроорганізмів зберігається при 20-40 °С. Якщо температурний режим не відповідає оптимальному, то зростання культури, а також швидкість обмінних

процесів в клітині помітно нижче за розрахункові значення. Найбільш несприятливий вплив на розвиток культури надає різка зміна температури. При аеробному очищенні негативний вплив підвищеної температури посилюється ще внаслідок відповідного зменшення розчинності кисню.

Концентрація водневих іонів (рН) істотно впливає на розвиток мікроорганізмів. Фенол- і роданруйнуючі мікроорганізми краще розвиваються в середовищі з рН 6,5-8,0. Відхилення рН за межі 6-9 одиниць спричиняє за собою зменшення швидкості окиснення внаслідок уповільнення обмінних процесів в клітині, порушення проникності її цитоплазматичної мембрани і інше, що приводить до погіршення біохімічного очищення. При рН нижче 5 і вище 10 одиниць відбувається загибель мікроорганізмів.

Якщо значення температури і рН виходять за межі оптимальних і, особливо, допустимих величин, необхідно коректувати ці параметри в стічних водах, що поступають на біохімічне очищення.

В процесі споживання мікроорганізмами живильних речовин, які містяться в стічних водах, в мікробній клітині протікають два взаємозв'язаних і таких, що одночасно відбувається, процеси – синтез протоплазми і окиснення органічних речовин. В процесі окислення клітини споживають кисень, розчинений в стічній воді. Тому подача кисню в аератори є необхідною умовою для процесу очищення.

У аеробних системах подача повітря (а також чистого кисню або повітря, збагаченого киснем) повинна забезпечувати постійну наявність у воді розчиненого кисню не нижче 2 мг/л. Система аерації забезпечує також перемішування води і постійну підтримку мулу в звішаному стані. Біохімічний розпад тієї чи іншої речовини залежить від ряду хімічних і фізичних факторів, наявність функціональних груп в молекулі, величини молекули і її структури, розчинності речовини, утворення проміжних продуктів та їх взаємодії та інших. Виникнення проміжних продуктів обумовлюється також біологічними факторами - складністю обмінних процесів в клітинах мікроорганізмів,

варіабельністю штамів бактерій, впливом середовища і тривалістю адаптації мікроорганізмів.

Токсичну дію на біохімічне окиснення можуть чинити як органічні, так і неорганічні сполуки, а також метали. В результаті токсичної дії речовин затримується зростання і розвиток мікроорганізмів або вони гинуть. У стічних водах коксохімічного підприємства міститься велика кількість речовин, які гальмують розвиток мікроорганізмів, а деякі можуть привести до їх загибелі.

Негативну дію на процес біохімічного очищення стічних вод надає підвищена мінералізація стоку. Верхньою межею мінералізації виробничих стічних вод, що поступають в аеротенки, вважається вміст солей в кількості 10 г/л. Різкі коливання в ступені мінералізації несприятливо відбиваються на якості очищеного стоку.

Найважливішими чинниками формування біоценозу БХУ є склад стічних вод, що очищаються, і величина навантаження на активний мул. Дія інших чинників – температури, перемішування, концентрації розчиненого кисню – практично не змінює якісного складу мулів, але впливає на кількісне співвідношення різних груп мікроорганізмів.

Основними чинниками, які впливають на тривалість процесу біохімічного очищення, є концентрація забруднень, необхідний ступінь очищення, хімічна природа забруднення і концентрація активного мулу.

#### **1.3.4 Вплив на біохімічну очистку вмісту амонійного азоту у стічних водах**

У фенольних стічних водах коксохімічного виробництва міститься значна кількість аміаку і солей амонію; незначна кількість амонійного азоту споживається в процесі життєдіяльності фенол- і роданідруйнуючих мікробів, але одночасно при окисленні роданідів з азоту, роданід - іонів утворюється додаткова кількість амонійного азоту.

За існуючими нормами скидання стічних вод у міську каналізацію для доочистки на міських очисних спорудах вміст амонійного азоту в очищених фенольних водах на два і більше порядків вище допустимого.

Повна біохімічна очистка стічних вод від амонійного азоту включає дві стадії: нітрифікацію - окислення амонійного азоту під дією нітрифікуючих бактерій в присутності кисню повітря спочатку до нітритів, а потім до нітратів; денітрифікацію - відновлення нітритів і нітратів під дією комплексу денітрифікуючих бактерій у присутності необхідної кількості органічних сполук.

Процес нітрифікації успішно протікає при рН 7-9; при окисленні амонійного азоту до нітритів відбувається утворення кислоти, яку необхідно нейтралізувати для нормального протікання процесу нітрифікації.

При денітрифікації відбувається утворення гідроксильного іона (по реакції при відновленні двох молей нітратів до атомарного азоту виділяється два гідроксильних іона  $\text{OH}^-$ ), то є деяка компенсація втраченої при нітрифікації лужності води.

Тому для зменшення витрати лужних агентів на стадії нітрифікації необхідно організувати процес очищення таким чином, щоб максимально використовувати лужність, що утворюється на стадії денітрифікації.

При денітрифікації можна виключити подачу кисню повітря або залишити її в незначній кількості, оскільки денітрифікуючі бактерії використовують кисень, пов'язані в нітрити та нітрати.

За даними ВУХІНу при денітрифікації вміст кисню в воді не повинен перевищувати 0,1 мг/л. В якості органічного харчування на стадії денітрифікації запропоновано ряд легкоокислюваних органічних сполук, а також надлишковий активний мул або частина неочищеної фенольної води.

Для проектування біохімічних установок коксохімічних підприємств зазвичай приймається наступний склад стічних вод, що надходять в аеротенки (в мг/л): феноли 400, роданіди 400, ціаніди 20, загальні масла 35, аміак леткий до 250, аміак загальний 500, ХПК 3000 [4].

Склад очищеної води за основними забрудненнями при проектуванні сучасних біохімічних установок (в мг/л): феноли 0,5-2, роданіди 1-3, ціаніди до 5, загальні масла 10-20, ХПК 300-500 [4].

Загальна забрудненість стічних вод до і після очищення досить повно характеризується аналітично визначається величиною ХПК (хімічна потреба в кисні для окислення).

Для біохімічного окислення речовин узагальнюючим показником зазвичай є величина БПК (біологічна потреби в кисні), яка визначається експериментально при біохімічному окисленні речовин протягом п'яти діб - БПК<sub>5</sub>, двадцяти діб - БПК<sub>20</sub> або БПК) [4].

У фенольних стоках коксохімічного виробництва велика частина забруднень біохімічно важко окислюється, тому для цих вод більш показова величина ХПК. Певне уявлення про деякі речовини в стічних водах коксохімічного виробництва дають літературні дані про питомі значення ХПК окремих речовин ( в мгО/мг речовини), а також про співвідношення БПК і ХПК - чим воно нижче, тим більш легко відбувається біохімічне окислення речовини.

Оптимальна доза активного мулу рекомендується 3 г/л (при 2-х годинному часі відстоювання очищеної води у вторинному відстійнику) [4].

Підвищуючи дозу активного мулу в аеротенках, слід мати на увазі, що при високій концентрації біомаси (в практиці можна підтримувати 5-6 г/л) не зберігається пряма пропорція між концентрацією мулу і швидкістю окислення забруднень [4].

Швидкість біохімічного окислення зменшується при підвищенні початкової дози мулу через погіршення харчування окремих клітин.

Стічні води різних підприємств можуть сильно відрізнятися за змістом окремих забруднень, необхідно експериментально визначати оптимальну концентрацію активного мулу для кожної біохімічної установки.

При двоступеневому очищенні стічних вод на першому ступені (знефенолювання) активний мул (точніше - біомаса) зазвичай дрібнодисперсна, погано відстоюються, тому для підтримки необхідної концентрації біомаси в

аеротенку в них здійснюється повернення очищеної води (до 50 % і більше) з збірника знефенолених вод.

На другому ступені очищення (знероданюванні) утворюються добре осідаючі пластівці активного мулу (за рахунок збагачення біомаси найпростішими мікроорганізмами, які є індикатором досить глибокого очищення).

Повернення згущеного активного мулу з вторинних відстійників технічно повинен бути організований таким чином, щоб не руйнувати пластівці активного мулу (тому переважно повернення робити за допомогою ерліфтного, а не центробіжного насоса). Доцільно перед подачею повернення мулу в аеротенку направляти його через спеціальну ємність з аерацією стисненим повітрям (регенератор мулу).

Підвищення концентрації активної біомаси в аеротенках можна здійснювати переобладнанням їх у біотенках, тобто заповненням частини обсягу аеротенках нерухомо закріпленим пористим матеріалом (на якому наростає і закріплюється біоплівка), або використанням плаваючим в обсязі аеротенках твердим сорбентом (біосорбційне очищення).

Різкі коливання концентрації надходячи зі стічною водою забруднень призводять до порушення біохімічного очищення.

Щоб компенсувати ці коливання біохімічні установки обладнуються усереднювачами.

Те, що відбувається в предаеротенці невелике розбавлення вихідної води очищеною водою також сприятливо впливає на подальшу біохімічну очистку. Досвід експлуатації показав, що в предаеротенці окислюється 25-30 % поступаючих фенолів, істотно зменшується негативний вплив залпових скидів на життєдіяльність активного мулу в аеротенках.

Ефективність біохімічної очистки в чому визначається конструкцією аераційних систем. На вітчизняних біохімічних установках випробувані різні аераційні системи: пневматична, пневмомеханічна, механічна. Вибір аераційної системи повинен ґрунтуватися на порівнянні їх ефективності, виробничої

діяльності по кисню, ступеня використання кисню повітря, а також на оцінці експлуатаційних переваг і недоліків.

Крім того, для забезпечення достатньо повної біохімічної очистки аераційна система повинна забезпечувати також гарне перемішування порівняно великих кількостей активного мулу, а при значному обсязі аераційних споруд не викликати переохолодження стічної води (це має особливе значення при окисленні роданідів).

Пневматична аерація через перфоровані металеві або пластмасові труби (середньобульбашкові системи аерації) дає дуже низький коефіцієнт використання кисню повітря близько 2 %, крім того підтримання активного мулу в підвішеному стані недостатньо задовільний.

Досить високі окисні здатності (тобто кількість кисню, що вноситься в одиницю часу) і ступінь використання кисню повітря відзначені при застосуванні пневмомеханічної системи аерації і механічних поверхневих аераторів.

Однак складність експлуатації цих систем (пов'язана, з важкими умовами роботи електродвигунів і редукторів в парах води і хімбабруднень над аеротенками) була основною причиною того, що вони не набули поширення.

Крім того, застосування механічного поверхневого аератора викликає істотне зниження температури води, що очищається, що неприпустимо в зимовий час, особливо на заводах України

Сучасні біохімічні установки на коксохімічних заводах - досить потужні споруди. З урахуванням кліматичних умов, експлуатаційних витрат на обслуговування і ремонт, можливостей управління процесом біохімічної очистки найбільш доцільно споруджувати центральну повітродувну станцію, а в якості аераційної системи використовувати ерліфтні аератори, які одночасно забезпечують якісне перемішування рідини в аеротенку.

Перші випробування ерліфтної системи аерації, проведені в 70 -х роках на Криворізькому коксохімічному заводі, показали безумовні переваги цієї системи аерації. У наступні роки була створена оптимальна система ерліфтної аерації, яка забезпечує ефективну аерацію при високих навантаженнях по

стічній воді і повітря, інтенсивне перемішування рідини і необхідні придонні швидкості рідини в ємностях великого обсягу.

Ступінь використання кисню повітря залежно від навантаження по повітря на аератор і рівня рідини в ємності складає 10-25 %.

На більшості діючих біохімічних установок найбільш поширена в даний час ерліфтна система аерації з коефіцієнтом використання кисню 12 %. Практичний досвід роботи показав, що висота аератора повинна бути на 0,3 м нижче рівня води в аеротенках, щоб запобігти утворенню хвилі [4].

Інженерне оформлення схеми біохімічної очистки принципово змінилося за два останні десятиліття: подача води в аеротенки проводиться насосами, а не самопливом, це полегшує регулювання гідравлічних навантажень, контроль витрат, дозволяє в процесі експлуатації змінювати напрямки потоків з найменшими витратами; з'явилися і добре зарекомендували себе металеві аеротенки у надземному виконанні це, зокрема, виключає забруднення навколишньої території за рахунок нещільності споруд, характерних при спорудженні аеротенків із збірного залізобетону [4].

Біологічним очищенням не можна домогтися повного видалення всіх бактерій зі стічних вод. Тому вже очищені стічні води знезаражують (дезінфікують) рідким хлором або хлорним вапном. Для цього процесу устатковують: хлораторну для готування розчину, змішувач для перемішування хлору з водою і контактний резервуар, де суміш стічної води із хлором знаходиться не менше 30 хв. для знищення бактерій. Для очищення стічних вод від домішок дисперсних часток смоли використовують різні методи: відстоювання, центрифугування, флотацію, фільтрування, адсорбцію та ін. Для вод з високим вмістом смол та масел різного ступеня дисперсності незалежно від їх складу першою стадією очищення є відстоювання, для чого використовують найбільш прості апарати: різного типу відстійники та маслопастки. Даний спосіб очищення дозволяє видаляти частки розміром більше 80-100 мкм [4]. Напорну флотацію звичайно використовують для очищення вод з вихідним вмістом

смола та масел порядку  $250 \text{ г/м}^3$  [2]. Електрофлотація ефективна для очищення невеликих локальних стоків.

Широко розповсюдженим способом очищення стічних вод та конденсатів від смол та масел є фільтрація. Для глибокого очищення маслоемільсійних стоків використовують мембранні та адсорбційні методи, оскільки вони характеризуються високим ступенем та ефектом очищення [2].

Можливість використання тієї чи іншої схеми очищення, напевно, в кожному конкретному випадку необхідно оцінювати з технологічної та економічної точок зору. На даний момент жоден зі способів доочищення не має досить високої ефективності, тому доцільність проведення досліджень у цьому напрямку не викликає сумнівів.

Вибір методу очищення стічних вод є актуальним питанням.

На наш погляд найбільш перспективним напрямком очищення стічних вод є метод вогневого знефенолювання стічних вод.

#### **1.4 Висновки до аналітичної частини**

Визначено, що концентрація фенолів у стічних водах становить приблизно  $1,5 \text{ г/л}$ . На КХВ ПАТ «АМКР» доцільніше використовувати біохімічне очищення стічних вод від фенолів та роданідів, тому що метод ефективний, але є недоліки. Зокрема, установки біохімічного очищення дуже чутливі до різких змін режимів роботи: різкі скачки температури, рН, концентрації забруднювачів можуть привести до загибелі мікроорганізмів. Крім того, БХУ займають значні площі. Тому роботою пропонується дослідити в якості альтернативи біохімічного очищення - процес вогневого знефенолювання стічних вод. Даний спосіб передбачає використання фенольної води як добавки в вуглеводневі палива при приготуванні водопаливних емульсій для вирішення двох проблем: підвищення ефективності теплогенеруючих установок і утилізації фенольних стічних вод.

## **2 ОСНОВНА ЧАСТИНА**

### **2.1 Обґрунтування доцільності застосування методу вогневого знефенолювання стічних вод**

Існує технологія додавання води в палива для теплоагрегатів (мазут, коксовий газ і ін.). Вже встигла добре зарекомендувати себе на практиці технологія спалювання мазуту у вигляді водомазутних емульсій (ВМЕ), де використання емульгування мазуту дозволяє підвищити ефективність спалювання палива і досягти приросту ККД котлоагрегату [1]. Звідси і виникла ідея використання фенольної води як добавки до вуглеводневих палив при приготуванні водопаливних емульсій для вирішення двох проблем: підвищення ефективності теплогенеруючих установок і утилізації фенольних стічних вод.

Об'єктом розробки випускної роботи є технологія огневої утилізації фенольних стоків. Суть цієї технології полягає у процесі горіння в теплогенераторної установці, що працює на емульсії (пічне паливо – 90 %, фенольна вода – 10 %), приготовленої з використанням гідрокавітаційної технології.

Метою даного дослідження є перевірка можливості вогневої утилізації фенольних стоків, а також визначення теплофізичних властивостей складів на основі вуглеводневих палив з добавками води для обґрунтування можливості їх подальшого застосування в якості композитних суспензійний горючих (КСГ) на промислових теплогенеруючих установках, формулювання практичних рекомендацій щодо організації процесу горіння.

### **2.2 Дослідження впливу добавки фенольної води к пічному паливу на процес горіння та покращення роботи теплообмінних присторів**

У даній роботі пропонується відома і попередньо апробована технологія обробки важких нафтопродуктів і продуктів нафтопереробки з водою в емульгаторах. Використання емульгованих палив сприяє як поліпшенню процесу

горіння, так і теплообміну продуктів згоряння з теплообмінними пристроями в сучасних котлоагрегатах і технологічних установках. При цьому спостерігається поліпшення екологічних показників продуктів згоряння.

Вода у вигляді добавок до вуглеводневодного пального може розглядатися в якості речовини-активатора. Як добавку пропонується використовувати фенольну стічну воду [1].

У процесі горіння водопаливної емульсії феноли, що містяться в стічній воді, згоряють, завдяки чому відбувається знешкодження фенольних стоків. Для доказу цього твердження було проведено розрахунок рівноважного складу продуктів згоряння, а також проводилися експерименти на теплогенеруючій установці потужністю 30 кВт з подальшим аналізом присутності фенолів в продуктах згоряння [1]. Розрахунок виконаний з використанням програмних продуктів ASTRA-4 і PLASMA [1]. Результати розрахунків за програмою для різних складів композиційного палива представлені в таблиці 2.1 і графіках (рис. 2.1 і 2.2).

Проведені розрахункові дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

- добавки води до пічного палива (ПТ) і в ДТ знижують теплотворну здатність і рівноважну температуру, при цьому в продуктах згоряння знижується вміст NO і CO, що означає збільшення повноти згоряння;
- теплотворна здатність і рівноважна температура водомазутних емульсії значно знижується з підвищенням кількості води.

Таким чином, розрахунок рівноважного складу продуктів горіння фенолу в повітрі показав можливість його спалювання.

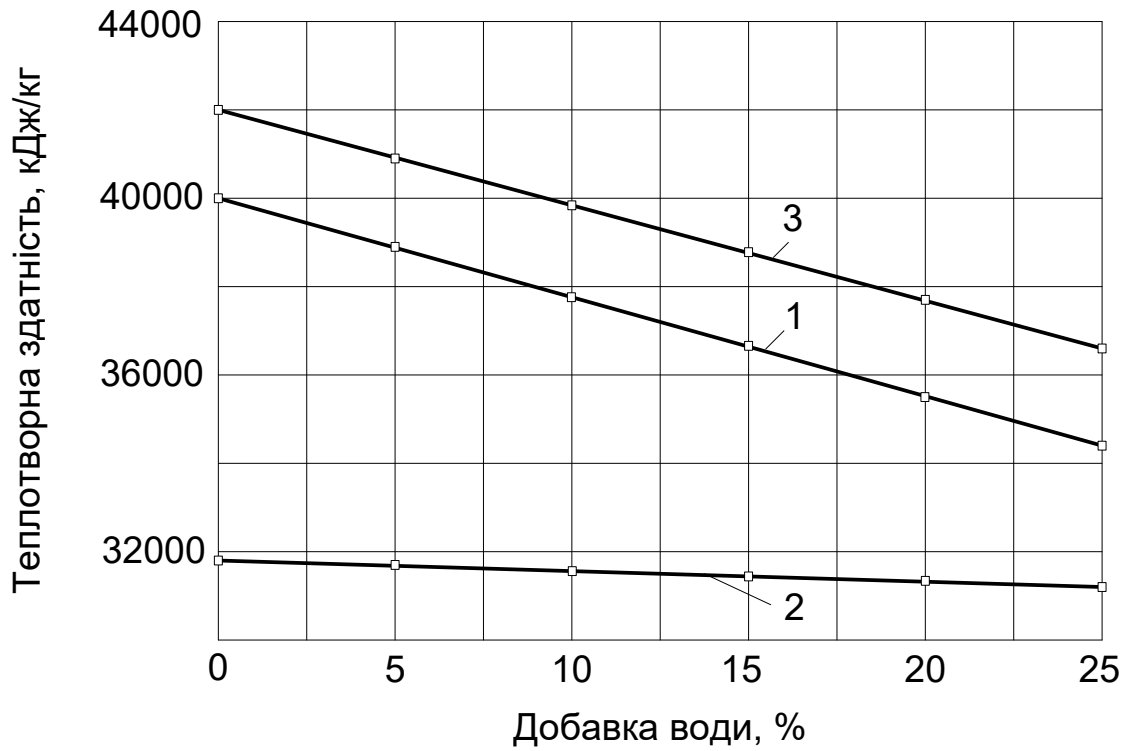
Для отримання водопаливної емульсії для подальшого спалювання в теплогенеруючій установці було використано гідрокавіаційний пристрій ГКС-50 [1]. Налагодження та регулювання режимів роботи генератора кавітації, а також проведення експериментів стосовно обводнення палива, здійснювалося на випробувальному стенді (рис. 2.3).

Таблиця 2.1

## Розрахунок рівноважного складу продуктів згоряння

Склад		Теплотворна здатність, кДж/кг	Рівноважна температура згоряння, К	Вміст NO, моль/кг	Вміст CO, моль/кг
Пічне паливо (ПТ)					
ПТ	Вміст води, %				
	0	40132	2293,2	$9,52 \cdot 10^{-2}$	0,597
	5	38874	2267,4	$8,54 \cdot 10^{-2}$	0,535
	10	37529	2224,8	$7,58 \cdot 10^{-2}$	0,474
	15	36485	2187	$6,53 \cdot 10^{-2}$	0,412
	20	35428	2145	$5,56 \cdot 10^{-2}$	0,346
	25	34256	2098,1	$4,48 \cdot 10^{-2}$	0,278
Мазут (М)					
М	0	31907	2433,3	0,167	1,11
	5	31782	2442,2	0,171	1,14
	10	31657	2454,3	0,178	1,18
	15	31532	2467,4	0,186	1,22
	20	31407	2481,6	0,194	1,28
	25	31282	2497	0,203	1,33
Дизельне паливо (ДЗ)					
ДЗ	0	42026	2451	0,188	1,15
	5	41020	2426	0,207	0,86
	10	40016	2393	0,22	0,63
	15	38890	2371	0,227	0,502
	20	37678	2333	0,23	0,355
	25	36563	2307	0,234	0,232

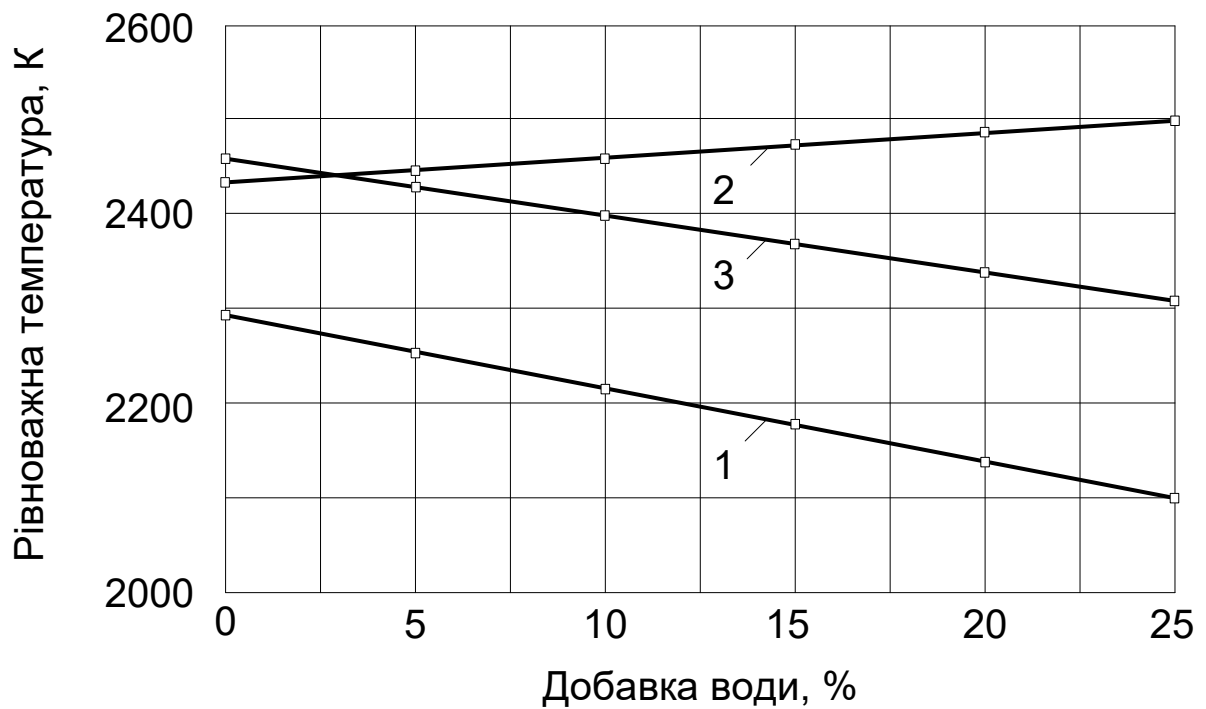
Примітка. Джерело: розроблено з використанням [1]



1 – пічне паливо; 2 – мазут; 3 – дизельне паливо

**Рис.2.1. Залежність теплотворної здатності палива від добавок води**

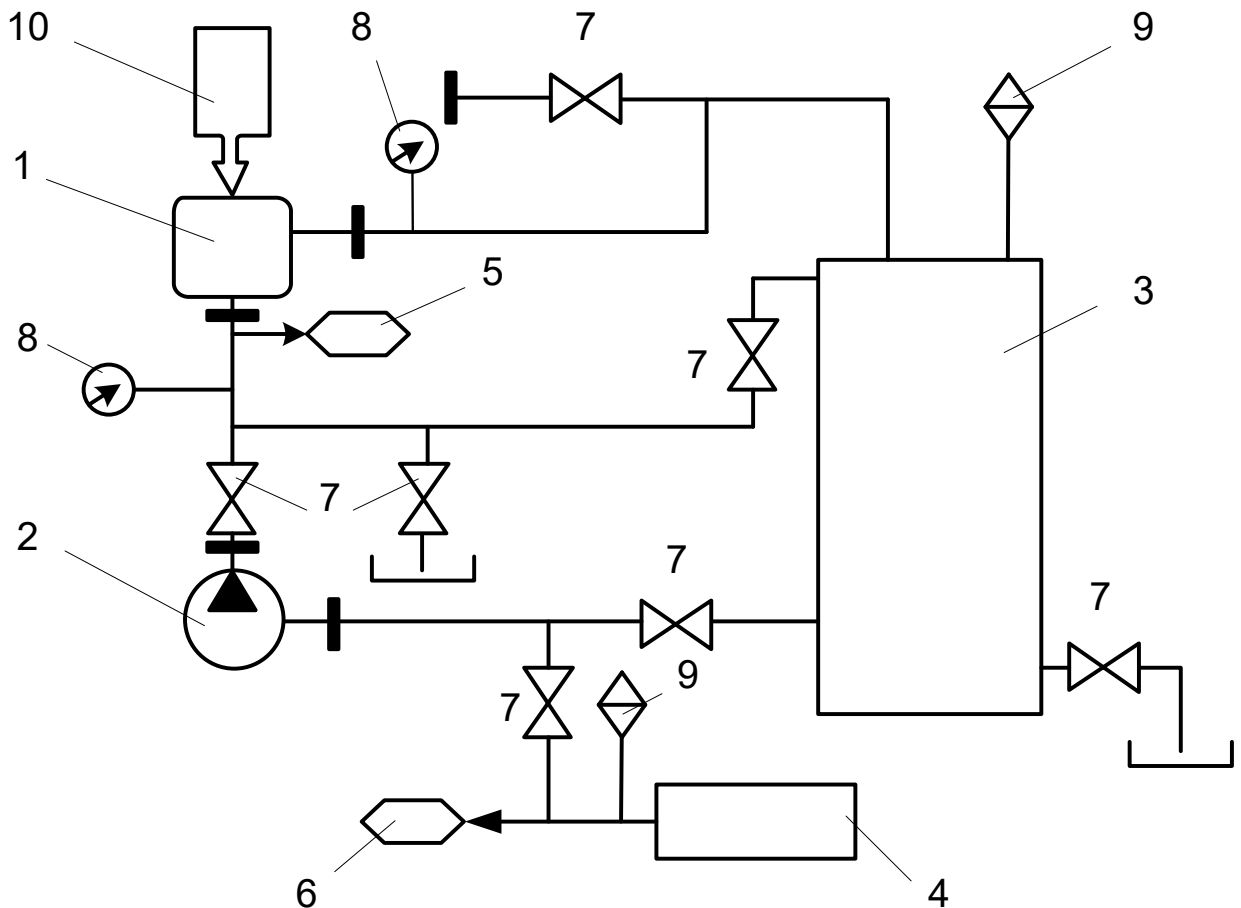
Примітка. Джерело: розроблено з використанням [10]



1 – пічне паливо; 2 – мазут; 3 – дизельне паливо

**Рис. 2.2. Залежність рівноважної температури палива від добавок води**

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [10]



1 - гідрокавітатор; 2 - насос; 3 - бак для палива; 4 - бак для води; 5 - витратомір водо-паливної емульсії; 6 - витратомір води; 7 - клапани; 8 - манометр; 9 - термометр; 10 - регулятор кавітатора

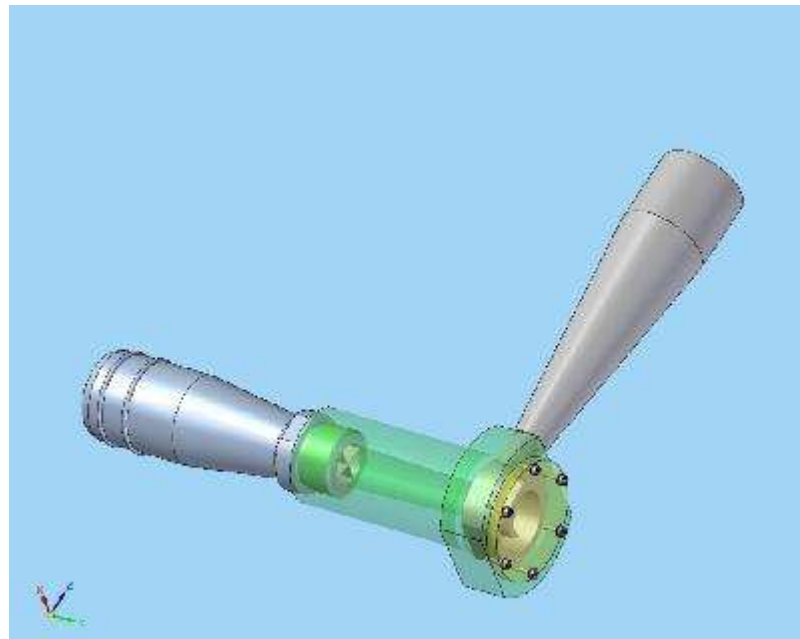
**Рис. 2.3. Принципова схема гідрокавітаційної установки**

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Добавка фенольної води в паливо становила 10 %. Вміст у воді фенолу дорівнює 1,5 г/л, що відповідає концентрації фенолів в стоках коксохімічних заводів. Розмір крапель води в паливі склав 1-5 мкм. Авторами в роботі [1] були проведені термометричні та термогравіметричні дослідження палива на основі дизельного палива, мазуту, пічного палива. Дослідження показали, що емульгування КСГ призводить до гомогенізації палива, що в свою чергу, призводить до невеликого підвищення температури полум'я і більш спокійного горіння. У мазутному паливі при закипінні води спостерігається вибуховий характер горіння. Використання спеціальної термогравіметричної установки

дозволило спостерігати процес горіння краплі і візуально встановити, що емульгування впливає на хід предпламенних процесів. На першій стадії еволюції краплі палива відбувається її фрагментація, причому швидкість масообміну залежить від інтенсивності емульгування і відсотка добавки води. Крім цього встановлено, що добавка води збільшує коефіцієнт тепловіддачі від продуктів згоряння до теплообмінника, а це означає, що підвищується інтенсивність енергообміну потоку продуктів згоряння з поверхнею теплообмінного апарату теплогенераторної установки (ТГУ).

При розробці технологій отримання комбінованого активованого палива (композиційного палива - водопаливної емульсії) на основі високо-молекулярних нафтових фракцій (дизпалива, гасу, мазуту і т.д.) і води, використовувалися вихрові гідрокавітаційні пристрої, прикладом є гідрокавітатор представлений на рисунку 2.4.



**Рис. 2.4. Вихровий гідрокавітатор**

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [1]

Принцип роботи гідрокавітатора заснований на інтенсивному перемішуванні різних видів вуглеводнів і води на молекулярному рівні за рахунок

вихрового руху і кавітації. Відомо, що при впливі на тверді речовини в рідкому середовищі потужними імпульсами, вони не тільки піддаються подрібненню, а й набувають фізико-хімічні та технологічні властивості, що відрізняються від тих, що набувають при диспергуванні до тієї ж тонини на інших подрібнювачах. До явищ, при яких можна досягти такого ефекту, як раз і відноситься гідродинамічна кавітація. До недавнього часу вона вважалася вкрай негативним явищем, так як супроводжувалася зривом роботи гідравлічних систем і ерозійним руйнуванням гідравлічного обладнання. Однак, дослідження останніх років показали, що при певних умовах можна викликати гідродинамічну кавітацію «зривного типу», при якій кавітаційні бульбашки схлопуються в рідині, а не на стінках каналів, що дозволяє використовувати руйнівний ефект кавітації для інтенсивної обробки рідких складів без руйнування робочих органів обладнання. У порівнянні з кавітацією створюваної в ультразвукових апаратах, гідродинамічна кавітація має ряд переваг: менші питомі витрати, більш низька вартість апаратів, простота їх конструкції і експлуатації, можливість поєднання з іншими впливами.

Композиційне паливо - вуглеводневе паливо + вода, з'єднані на молекулярному рівні - принципово новий вид рідкого палива, що відрізняється від вуглеводневого палива особливостями вигорання і теплообміну. В процесі з'єднання води і вуглеводневого палива, вода стає своєрідним каталізатором, який поліпшує процес горіння палива.

Використання установок підготовки композиційного палива дає наступні переваги споживачеві на його об'єктах:

- збільшення вихідного палива після обробки до 50 %;
- теплота згорання композиційного палива не поступається вихідного палива;
- в'язкість композиційного палива нижче в'язкості вихідного палива;
- не вимагає зміни системи введення палива і не призводить до погіршення його розпилення на існуючих системах введення, по відношенню до

вихідного палива в усьому діапазоні температур палива і тисків на системах введення палива;

- зменшення витрат композиційного палива не менше ніж на 15 %, в порівнянні з витратою вихідного палива, і не призводить до погіршення роботи котлів;

- зберігання композитного палива при температурі 60 ... 90 °С в тих же ємностях, що і вихідне паливо;

- композиційне паливо зберігає свої властивості і якості до 1 року;

- кількість структурно зміненої води вводиться в паливо, може доходити до 60 % ... 70 %;

- утилізація обводнених мазутів і стічних вод, забруднених мазутом;

- виключити витрати на зневоднення вихідного палива;

- зменшується кількість шкідливих викидів в атмосферу (сажі на 30-50 %, CO і NO<sub>x</sub> в 2-3 рази).

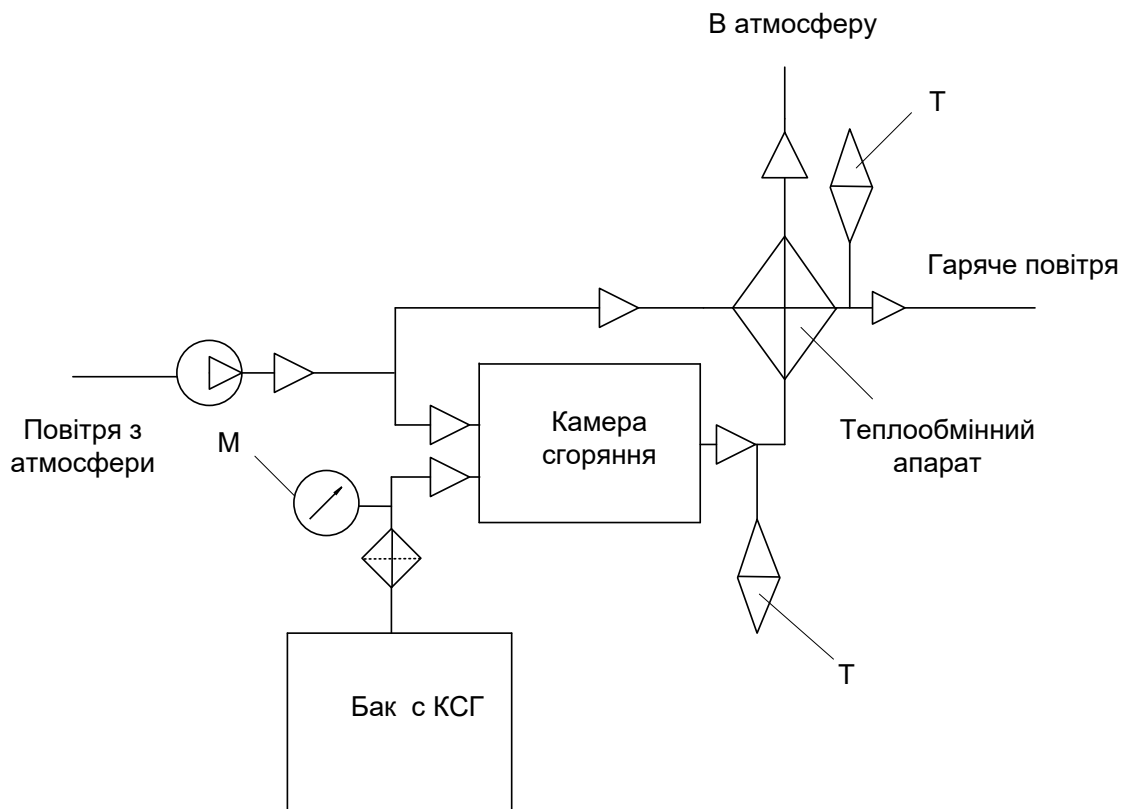
### **2.3 Принципіальна схема теплогенераторної установки**

Теплогенераторна установка (ТГУ) працює наступним чином.

Вентилятор нагнітає повітря в установку, де повітря ділиться на два потоки. Один потік надходить в камеру згоряння, щоб забезпечити нормальний процес згоряння палива. Другий потік йде в теплообмінний апарат в якості нагріваемого теплоносія. У камеру згоряння (КС) під визначеним тиском через фільтр подається комбіноване паливо. Там відбувається процес горіння палива з утворенням димових газів і виділенням тепла. Димові гази надходять в теплообмінний апарат (ТОВА) рекуперативного типу, де передають свою теплову енергію повітрю. Далі нагріте повітря йде на виробничі потреби.

Принципова схема установки представлена на рисунку 2.5.

Результати проведених експериментів представлені на рисунку 2.6.

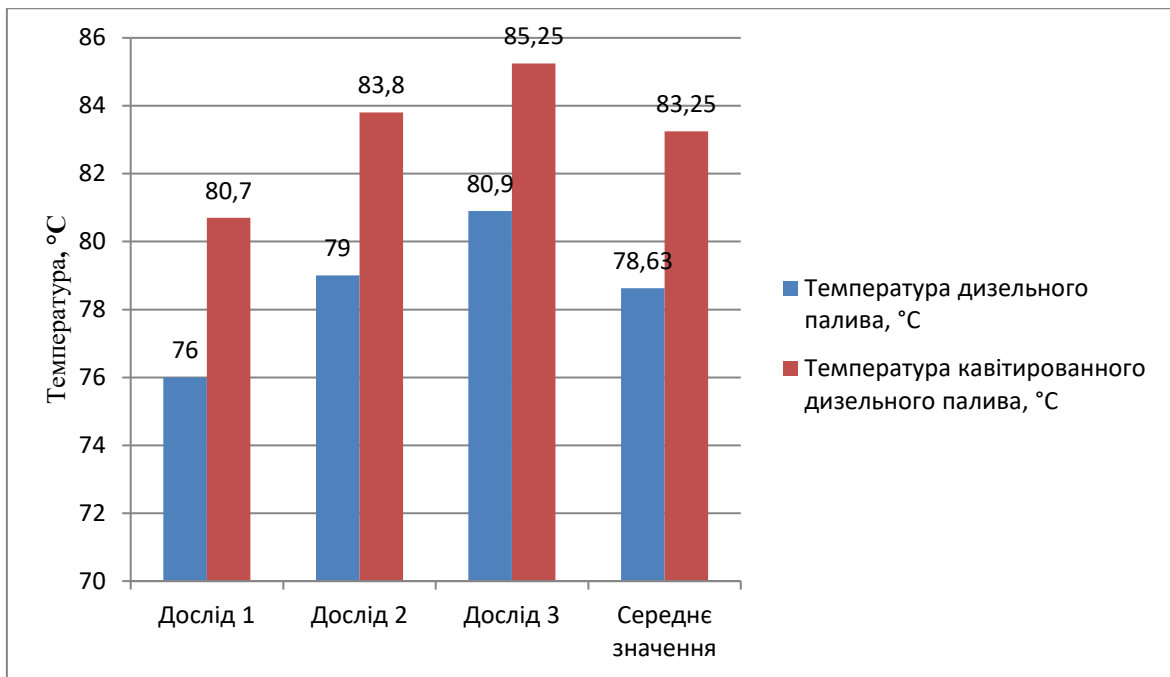


М – манометр; ТП – термопара ХК

**Рис. 2.5. Принципова схема теплогенераторної установки**

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [14]

Температура на виході з камери згоряння зберігалася постійною для чистого пічного палива і для кавітірованого пічного палива і становила  $340 \pm 1$  °С [1]. На виході з теплообмінного апарату рекуперативного типу температура гарячого повітря зросла в середньому на  $5 \pm 1$  °С при використанні кавітірованого пічного палива (КавПТ) з добавкою 10 % води. Встановлено, що при додаванні 10 % води до пічного палива, теплотворна здатність палива падає також на 10 %. При цьому температура повітря на виході з теплообмінного апарату рекуперативного типу підвищується.



**Рис.2.6. Оцінка температур на виході з теплообмінного апарату рекуперативного типу (ТОА)**

Даний встановлений експериментальний факт може бути пояснений збільшенням коефіцієнта тепловіддачі продуктів згоряння.

Для визначення економічної доцільності запропонованої технології був проведений відбір і аналіз проб продуктів згоряння на утримання в них фенолу. Середнє значення вмісту фенолу -  $0,027 \text{ мг/м}^3$ . За час трьох дослідів (1 година) було витрачено 3,5 кг палива. З урахуванням вихідної концентрації фенолів у воді (1,5 г/л) у використаній кількості води (10 % від палива) містилося 0,42 г фенолу. Вихід продуктів згоряння з урахуванням повітря склав 55,87 кг/год. Таким чином, при відсутності згоряння фенолу його вміст у продуктах згоряння мало б скласти близько 7,5 мг/кг або  $5,8 \text{ мг/м}^3$ . Аналіз проб продуктів згоряння показав, що вміст фенолу становить  $0,027 \text{ мг/м}^3$ , що свідчить про згоряння фенолів на 99,6 % [1].

Метод вогневої утилізації фенольних стоків має ряд переваг перед біохімічним методом, використовуваним в даний час на більшості коксохімічних підприємств. Він більш надійний і простий в експлуатації і вимагає значно

меншою виробничої площі в порівнянні з БХУ. При цьому запропонований метод утилізації фенольних вод дозволяє попутно збільшити ефективність теплогенеруючих установок.

Таким чином, була підтверджена можливість утилізації фенольних стічних вод в камері згоряння теплогенератора. Також в результаті проведених робіт було підтверджено вплив добавок води на хід предпламенних процесів.

## 2.4 Розрахунок технологічного устаткування

Розрахуємо середню кількість стічних вод і надлишкового мулу коксохімічного виробництва за рік.

Розрахуємо середню кількість фенольних вод ( $Q_{\phi}$ ) за формулою:

$$Q_{\phi} = (Q_k \cdot K) / 24, \quad (2.1)$$

де  $Q_k$  - кількість сухого коксу виготовленого за добу (6000 тон);

$K$  - коефіцієнт утворення фенольних вод по відділенням цеху уловлювання

$$K = 0,007 + 0,058 + 0,073 + 0,042 = 0,180$$

де 0,007 - коефіцієнт стічних вод сульфатного відділення;

0,058 - коефіцієнт сепараторної води бензольного відділення;

0,073 - коефіцієнт продувочної води циклу кінцевого охолодження коксового газу;

0,042 - коефіцієнт конденсату газопроводів

$$Q_{\phi} = 6000 \cdot 0,180 / 24 = 45 \text{ м}^3/\text{год}$$

Середню кількість аміачної води ( $Q_A$ ) розраховуємо за формулою:

$$Q_A = A(a_1 + a_2 + b) - 0,0475 \cdot B / 1000, \quad (2.2)$$

де  $A$  – кількість сухої коксуємої шихти (т/час);

$$A = A_{\text{міс}} / 24 \cdot 30, \quad (2.3)$$

де  $A_{\text{міс}} = 265,010$  (середнє значення за рік)(т/міс);

$a_1$  - вміст фізичної вологи в шихті (г/1т шихти),

$$a_1 = \frac{a_{\text{сеп}}}{A_{\text{міс}}} = 0,1236 \text{ г/1т} \quad (2.4)$$

$$a_2 = \frac{A_{\text{міс}} \cdot 11\%}{89\%} = 32754, \quad (2.5)$$

де 11 % - середньо місячна вологість;

$a_2$  - вміст пірогенетичної вологи в шихті ( $a_2 = 0,0581$  г/1т шихти),

$v$  - волога за рахунок пароконденсації (г/1т шихти),

$V$  - вихід газу (м<sup>3</sup>/год),

0,0475 - вміст водяних парів в коксовому газі при температурі 35 °С

$$A = \frac{265,010}{24 \cdot 30} = 368,069 \quad (2.6)$$

$$Q_A = 368,069 \cdot (0,1236 + 0,0581 + 0,016) - 0,0475 \cdot 108957 / 1000 = 67,59 \text{ м}^3/\text{год}$$

Знаходимо сумарну кількість стічних вод, які утворюються при виробництві коксу

$$\Sigma Q = Q_{\text{ф}} + Q_A = 45 + 67,59 = 112,59 \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.7)$$

Тоді за рік:

$$Q_{\text{рік}} = 112,59 \cdot 365 \cdot 24 = 986288,4 \text{ м}^3/\text{рік}$$

При біохімічному очищенні в реакторах відбувається постійний приріст активного мулу за рахунок розмноження мікроорганізмів приблизно 25 % від загальної кількості води.

Звідси знаходимо середню кількість надлишкового мулу в стічних водах після очищення:

$$Q_M = Q_{\text{рік}} \cdot 25\%, \quad (2.8)$$

$$Q_M = 986288,4 \cdot 25\% = 246572,1 \text{ м}^3/\text{рік}$$

## **2.5 Заходи із охорони праці та безпеки життєдіяльності**

Дана випускна робота бакалавра передбачає дослідження вогневого методу для утилізації фенольних стоків коксохімічного виробництва. Тому в даному розділі обрано робоче місце для аналізу умов праці - це технологічний цех ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Розглянуті основні шкідливі та небезпечні чинники технологічного цеху та безпосередньо на БХУ, запропоновані заходи щодо зниження та усунення виявлених шкідливих небезпечних чинників, узагальнені питання пожежної профілактики.

### **2.5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників**

Біохімічна установка (БХУ) технологічного цеху призначена для очищення стічних вод (фенольних, аміачних, дренажних, дощових) коксохімічного виробництва від смол, масел, фенолів, роданідів з метою використання очищених стічних вод для мокрого гасіння коксу з дотриманням вимог охорони навколишнього середовища.

Усі технологічні операції повинні виконуватися з дотриманням чинного законодавства та інших нормативно-правових актів з екології, що стосуються виробничої діяльності підприємства.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Небезпечні виробничі фактори – це фактори, вплив яких на працівника в певних умовах призведе до травм або інших професійних захворювань.

Шкідливі виробничі фактори - це фактори, вплив яких на працівника в певних умовах призведе до захворювання або зниження працездатності.

У технологічному цеху присутні такі шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- відкриті рухомі частини обертових машин і механізмів (насоси дільниці № 1, 2 БХУ, повітродувки);

- ураження електричною, пневматичною, гідравлічною енергією (насоси, повітродувки, кран-балки, КВП-прилади, обігрів реакторів, смоловідстійників тощо);

- падіння з висоти, у колодязі, напрямку, на нерівних місцях та під час ожеледиці (з реакторів, збірників, смоловідстійників, відстійників мулу, у напрямках насосної солоних вод);

- травмування предметами, що падають, уламками.;

- робота з небезпечними розчинами (під час очищення металевих ємностей, смоловідстійників, муловідстійників);

- виникнення пожеж та самозаймання (насоси для смол та олив);

- виробничий шум, вібрації (повітродувки, вібраційні механізми);

- освітленість.

Токсикологічна характеристика шкідливих речовин

Шкідливі виробничі фактори, що діють у відділенні біохімії, за своєю природою належать до хімічних. За характером дії на організм людини вони є загальнотоксичними, за шляхом проникнення - такими, що діють через дихальну систему.

Отруйними називаються речовини, що мають здатність у відносно малих кількостях порушувати нормальну життєдіяльність організму та призводити до перехідних або стійких патологічних змін. Результатом їх дії є отруєння. Отруєння, що виникають у виробничих умовах виключно або переважно в результаті впливу отруйних речовин, вважаються виробничими (професійними).

Гостре отруєння: дія отруйних речовин призводить до втрати працездатності людини протягом короткого часу (не більше 8 годин). Гострих отруєнь, як правило, не спостерігається; вони найчастіше трапляються під час роботи в закритих, невентильованих і погано провітрюваних приміщеннях.

Хронічне отруєння: втрата працездатності настає після тривалого впливу шкідливих речовин (місяці, роки).

Отруєння середньої та легкої тяжкості: можуть мати місце у разі, якщо у стічних водах спостерігається перевищення гранично допустимих концентрацій декількох речовин.

У складі стічних вод коксохімічного виробництва містяться ароматичні вуглеводні (феноли та азотовмісні сполуки), неорганічні домішки (солі кальцію, магнію, натрію та ін.), розчинені похідні вугільної кислоти, ціаніди, роданіди, піридинові основи, диспергуючі смоли, бензол, нафталін. При перевищенні допустимих концентрацій зазначених речовин можливі отруєння обслуговуючого персоналу.

Характеристики основних отруйних речовин.

Сірководень ( $H_2S$ ): сильна отрута для центральної нервової системи. У великих концентраціях викликає отруєння, що супроводжується судомою та втратою свідомості. Смерть настає внаслідок зупинки дихання, іноді - від паралічу серця.

Аміак ( $NH_3$ ): при високих концентраціях викликає сльозотечу, задуху, напади кашлю, запаморочення, блювоту, затримку сечі. При дуже високих концентраціях спостерігається різке порушення кровообігу.

Бензольні вуглеводні (бензол, толуол, ксилол, розчинник нафти): при впливі високих концентрацій чинять виражену наркотичну дію. При хронічних отруєннях (які зустрічаються найчастіше) спостерігається важке ураження кровотворних органів, крові та глибокі зміни судинної системи інших органів. Вплив бензолу на кров (зменшення кількості лейкоцитів, гемоглобіну) сильніший за дію його гомологів, тому він частіше викликає тяжкі хронічні отруєння.

Фенол ( $C_6H_5OH$ ): легко відчувається за запахом (межа сприйняття - 0,5 мг/м). Гострі отруєння в промисловості трапляються рідко. Хронічне отруєння виражається в подразненні дихальних шляхів, розладі травлення, нудоті, загальній м'язовій слабкості, пітливості, слинотечі, шкірному свербінні, дратівливості, безсонні. Небезпечним є не тільки отруєння парами, а й опікова дія на тіло рідкого (у розчині) та твердого фенолу.

Нафталін ( $C_{10}H_8$ ): досить леткий, за нормальної температури повітря присутній у робочих приміщеннях у газовій фазі у значних кількостях. Також може бути присутнім у повітрі у вигляді тонкої суспензії кристалів, що випадають із газової фази при зниженні температури повітря. При отруєнні спостерігаються головний біль, нудота, блювота.

Таблиця 2.2

Дані стану шкідливих чинників за результатами атестації робочих місць на біохімічній установці в технологічному цеху

Найменування чинника	ГДК	Факт
1. Шкідливі речовини, мг/м <sup>3</sup> :		
- ціаністий водень, 2 клас безпеки	0,3	0,38
- сірководень, 2 клас безпеки	10	12,4
- фенол, 2 клас безпеки	0,3-0,46	
- аміак, 4 клас безпеки	20	21,88
- нафталін, 4 клас безпеки	20	24,76
2. Шум, дБ(А):		
- в приміщеннях будівлі цеху	80	80-85
- в насосній повітрорудовній станції	80	85-95
3. Освітленість, лк	50	47
4. Мікроклімат:		
- температура повітря влітку, °С	15-27	32-37
- температура повітря взимку, °С	17-21	До 15
- вологість повітря, %	75	75

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [12]

Аналізуючи таблицю 2.2 видно, що концентрації шкідливих хімічних речовин у повітряному середовищі робочої зони перевищують нормативні значення.

У технологічному цеху біохімічної установки показники виробничого середовища частково відхиляються від нормативних вимог. Параметри шуму

перевищують встановлені нормативи ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку», а показники освітленості на робочих місцях не досягають рівня, необхідного для забезпечення нормальних умов праці ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». У літню та зимову пору температура повітря в цеху не відповідає гранично допустимим рівням (ГДУ). Значних вібраційних впливів у цеху немає, у зв'язку з чим дані щодо них не наведено.

Незважаючи на те, що в багатьох технологічних процесах повністю виключити шкідливі та небезпечні фактори неможливо, їхній негативний і небезпечний вплив на людину можна зменшити.

### **2.5.2 Заходи щодо зниження впливу шкідливих і небезпечних чинників в умовах технологічного цеху**

Зниження ризиків травмування та професійних захворювань персоналу біохімічної установки (БХУ) забезпечується комплексом технічних, організаційних та технологічних заходів.

1. Визначимо інженерно-технічні та технологічні заходи [12]:

- зниження хімічних ризиків (токсичні пари  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $C_6H_5OH$ ,  $C_{10}H_8$ , бензолні вуглеводні);

- герметизація обладнання: забезпечення повної газонепроникності реакторів, смоловідстійників, збірників, муловідстійників та технологічних трубопроводів для виключення залпових викидів та постійного випаровування токсичних речовин у робочу зону.

- організація вентиляції: оснащення закритих приміщень (насосних станцій, залів повітродувок) постійно діючою припливно-витяжною вентиляцією у вибухозахищеному виконанні з розрахунковою кратністю повітрообміну.

- встановлення місцевих відсмоктувачів (витяжних парасольок) у місцях можливого виділення парів і газів під час відбору проб.

- автоматизація контролю повітряного середовища: монтаж стаціонарних автоматичних газоаналізаторів безперервної дії з виведенням світлової та звукової сигналізації на пульт управління при досягненні 20 % від ГДК шкідливих речовин.

- термічне зневоднення: застосування методу вогневої деструкції надлишкових багатокомпонентних стоків (направлене спалювання форсунками при температурі 900–1200 °С), що гарантує повний розклад токсичних органічних сполук до безпечних газів (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>) та виключає їх випаровування в атмосферу цеху.

Проведемо розробку засобів, спрямованих на зниження механічних та енергетичних ризиків.

1. Встановлення захисних огорож, а саме обладнання всіх відкритих рухомих та обертових частин насосів ділянок № 1, 2 БХУ та повітродувок знімними металевими кожухами із суцільним або сітчастим покриттям.

2. Електробезпека. Виконання заземлення та занулення всього електрообладнання (насосів, повітродувок, кран-балок, КВПіА, систем електрообігріву). Використання апаратів захисту від струмів короткого замикання та витоків на землю. Застосування безпечної напруги (12-36 В) для переносних світильників під час обслуговування колодязів та металевих ємностей.

3. Блокування. Встановлення систем технологічного та аварійного блокування, що унеможливають запуск обладнання (насосів, кран-балок) при знятих захисних кожухах або під час проведення ремонтних робіт.

4. Створення стабільного виробничого середовища (шум, мікроклімат, освітленість)

5. Боротьба з шумом і вібрацією: розміщення повітродувок і насосних агрегатів на віброізолюючих основах (пружинних або гумових амортизаторах). Застосування гнучких вставок на всмоктувальних і нагнітальних патрубках. Звукоізоляція корпусів повітродувок глушниками шуму.

6. Нормалізація освітленості. Модернізація системи штучного освітлення цеху з переходом на енергоефективні світлодіодні світильники у вибухонебезпеченому виконанні, що забезпечують нормативну освітленість робочих місць, шафових вузлів КВП та проходів.

7. Корекція мікроклімату. встановлення систем повітряного опалення та кондиціонування в операторських кімнатах і приміщеннях постійного перебування персоналу для компенсації екстремальних літніх і зимових температур.

8. Оснащення зовнішніх технологічних майданчиків теплоізоляцією на нагрівальних елементах реакторів і смоловідстійників.

9. Запобігання падінням та травмуванню падаючими предметами, а саме встановлення стаціонарних огорож, облаштування металевих майданчиків для обслуговування, переходів та сходів на реакторах, збірниках та відстійниках поручнями висотою не менше 1,1 м із суцільною бортовою обшивкою знизу (не менше 150 мм) для запобігання падінню інструменту.

10. Захист колодязів та приямків, а саме усі технологічні приямки (включно з насосною сольових вод) та колодязі повинні бути постійно закриті міцними металевими кришками або огорожені міцними поручнями.

11. Боротьба з ожеледицею, а саме регулярне очищення зовнішніх майданчиків і сходів від снігу та льоду, застосування протиковзких покриттів на сходинках і посипання проходів фрикційними матеріалами.

Розглянемо організаційні заходи та засоби індивідуального захисту (ЗІЗ).

Отримання допуску до робіт підвищеної небезпеки. До таких робіт відносяться роботи з очищення металевих ємностей, смоловідстійників, муловідстійників, а також спуски в колодязі проводяться виключно за нарядом-допуском бригадою не менше ніж з 3 осіб (один працівник, двоє спостерігачів/страхувальників).

Для контролю параметрів середовища перед спуском необхідно перед початком робіт усередині ємностей та колодязів обов'язковим є попередній аналіз повітряного середовища переносними газоаналізаторами на відсутність

$\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ , парів бензолу та наявність кисню (не менше 19,5 %). Виконання робіт без попередньої примусової вентиляції заборонено.

Забезпечення ЗІЗ, захист органів дихання полягає в застосуванні промислових протигазів (шлангових ізолюючих ПШ-1 або ПШ-2 при роботі всередині ємностей; фільтруючих з коробками марок КД, БКФ, А - при короткочасних технологічних операціях на майданчиках).

Захист шкірних покривів полягає в обов'язковому використанні спецодягу з щільних, хімічно стійких тканин, прогумованих фартухів, захисних рукавичок (для запобігання опіків рідким або твердим фенолом, смолами та оліями). Захист від механічних факторів і шуму: носіння захисних касок усіма співробітниками в зоні технологічної установки; застосування протишумових навушників або вкладишів (беруш) у залах повітродувок.

### **2.5.3 Пожежна безпека на біохімічній установці (БХУ)**

Специфічний характер пожежної небезпеки біохімічного заводу технологічного цеху обумовлений поведінням, перекачуванням і зберіганням легкозаймистих рідин (ЗПГ) і горючих рідин (ГПГ), таких як кам'яновугільна смола, нафта, бензол і його гомологи (толуол, ксилол). Основними джерелами пожежної небезпеки є технічні насоси, насоси для нафти та смоли, реактори, септики та установки пожежогасіння стічних вод.

Приміщення насосних станцій зі смолою, нафтою та бензином, а також відділення для зневоднення вогню класифікуються як категорія А або В за вибухонебезпечністю пожежі (залежно від розрахункового надлишкового тиску вибуху пари). Класифікація вибухонебезпечних зон: відповідно до проектних стандартів, приміщення всередині резервуарів, а також зони поблизу насосних установок і апаратів відкритої техніки (септики, вузли) класифікуються як вибухонебезпечні зони класів 0,1 або 2 (залежно від частоти та тривалості присутності вибухонебезпечних паросуспензійних сумішей).

Вогнестійкість будівельних конструкцій. Будівлі насосів і авіаційних станцій виготовляються з негорючих матеріалів з показником вогнестійкості не менше І або ІІ. Ділянки технологічного обладнання розділені протипожежними стінами (перегородками) І типу.

Пожежі на ділянці можуть виникати в результаті:

- спалаху електроустаткування при перевантаженнях, перегрівих, коротких замиканнях ( класу пожежі – «Е»);
- спалаху горюче-змащувальних матеріалів при попаданні в них іскри електричного або механічного походження, дії відкритого вогню (класу пожежі «В»);
- спалаху і вибуху горючих газоповітряних сумішей (клас пожежі С);
- дія статичного або грозового розряду.

Технічні та технологічні заходи протипожежного захисту

Виключення джерела запалювання та захист від вибуху

Запропоновано вибухозахищене електрообладнання, а саме всі насосні двигуни, повітроводи, приводна арматура, СІР-пристрої, елементи системи опалення та освітлювальні прилади у вибухонебезпечних зонах використовуються виключно у вибухозахищеній конструкції, відповідній категорії та групі вибухонебезпечних вуглевидобувних сумішей.

Розроблено статичний захист від електрики та блискавкозахист. Обробні апарати (реактори, патронотримачі, вузли), трубопроводи та металеві штабелі підлягають обов'язковому заземленню для розряду статичної електрики. Корпуси насосів оснащені провідними шпінделями. Будівлі і відкриті установки захищені від прямих ударів блискавки і вторинних блискавкопроявів (встановлення стрижневих громовідводів і контурів заземлення).

Іскробезпечний інструмент: при проведенні ремонтних робіт і чищенні металевих ємностей (рейкових бункерів, незапечатаних бункерів) використовується інструмент з кольорових металів (латунь, бронза), що не створює іскри при ударі, або зношений інструмент. Робота з механізованим іскроутворюючим інструментом заборонена у вибухонебезпечних зонах.

Системи протипожежного захисту та пожежогасіння

Передбачена автоматична пожежна сигналізація. Приміщення БХУ (насоси, оператори) обладнані автоматичними детекторами: тепловими, димовими або полум'яними (в зонах відкритих насосних агрегатів). Сигнал тривоги надходить на центральний пульт управління пожежної частини підприємства і в діючий БХУ.

Передбачені автоматичні протипожежні установки: насосні станції для перекачування смоли та масла, а також технологічні резервуари з LWG/GV захищені стаціонарними автоматичними установками подвійної системи пожежогасіння. (Піногенератори середньої або високої щільності).

Передбачене первинне протипожежне обладнання: приміщення установки і відкриті майданчики обладнані протипожежними щитами, пересувними і ручними CO<sub>2</sub> (OU-5, OU-25) і порошковими (OP-5, OP-50) вогнегасниками (порошкові вогнегасники ефективні для гасіння розливів нафти і смоли, вуглекислий газ - для електроустановок і СІР під напругою). Коробки з сухим піском і булавою розміщуються на насосних зона огневодопостачання: Зона БХУ забезпечена зовнішнім круговим контуром пожежної води з пожежними гідрантами, встановленими на відстані не більше 150 м один від одного для забезпечення подачі води і піни пожежними машинами.

Таким чином, в даному розділі приведена характеристика технологічного об'єкту - відділення БХУ в умовах підприємства КХВ ПАТ«АрселорМіттал Кривий Ріг», де буде упроваджена нова технологічна схема огневої утилізації фенольних стічних вод. Проведена інженерна розробка конкретних, найбільш важливих заходів щодо охорони праці. Розроблені заходи щодо пожежної профілактики.

## **2.6 Висновки до основної частини**

1. Визначено актуальність залучення до виробництва різноманітних вуглеводневих палив, які заміняють імпортований природний газ.

2. Висока концентрація фенолів у стічних водах приблизно 1,5 г/л., а також визначені недоліки існуючого методу очищення на біохімічній установці (чутливість установок до різких змін режимів роботи: різкі скачки температури, рН, концентрації забруднювачів можуть привести до загибелі мікроорганізмів; БХІ займають значні площі) вимагають застосування новітніх технологій знешкодження стоків.

3. В цьому зв'язку, у основній частині випускної роботи, запропоновано в якості альтернативного способу знешкодження стоків коксохімічного виробництва вогневий метод утилізації фенольних стоків.

Запропоновано в умовах технологічного цеху КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» встановити теплогенераторну установку з гідрокавітаційним пристроєм ГКС-50 для отримання водопаливної емульсії для подальшого спалювання.

4. Суть дослідної розробки полягає у спробі використання фенольної води як добавки до вуглеводневих палив при приготуванні водопаливних емульсій. У процесі горіння водопаливної емульсії феноли, що містяться в стічній воді, згоряють, завдяки чому відбувається знешкодження фенольних стоків. Це дозволить вирішити дві проблеми: підвищення ефективності теплогенеруючих установок і утилізації фенольних стічних вод.

5. Процес горіння проходить у теплогенераторній установці, що працює на емульсії (пічне паливо – 90 %, фенольна вода – 10 %), приготовленої з використанням гідрокавітаційної технології.

6. Визначено переваги запропонованої розробки: надійність і простота в експлуатації; значно менша виробнича площа в порівнянні з БХУ; можливо збільшити ефективність теплогенеруючих установок; використання емульгованих палив сприяє поліпшенню процесу горіння і теплообміну продуктів згоряння з теплообмінними пристроями в сучасних котлоагрегатах і технологічних установках; поліпшення екологічних показників продуктів згоряння.

7. Розрахунок рівноважного складу продуктів горіння фенолу в повітрі показав можливість його спалювання.

## ВИСНОВКИ

У випускній роботі досліджено метод вогневого знефенолювання стічних вод коксохімічних заводів.

1. Визначено актуальність розробки дослідженого методу, а саме:

- залучення до виробництва різноманітних вуглеводневих палив, які заміняють імпортований природний газ;
- висока концентрація фенолів у стічних водах 1,5 г/л.;
- недоліки біохімічного методу очищення стічних вод (чутливість установок до різких змін режимів роботи: різкі скачки температури, рН, концентрації забруднювачів можуть привести до загибелі мікроорганізмів; БХІ займають значні площі).

2. Для запровадження способу вогневої утилізації фенольних стоків пропонується використовувати теплогенераторну установку де проходить процес горіння.

3. Суть дослідної розробки полягає у спробі використання фенольної води як добавки до вуглеводневих палив при приготуванні водопаливних емульсій. У процесі горіння водопаливної емульсії феноли, що містяться в стічній воді, згоряють, завдяки чому відбувається знешкодження фенольних стоків. Процес горіння проходить у теплогенераторній установці, що працює на емульсії (пічне паливо - 90 %, фенольна вода - 10 %), приготовленої з використанням гідрокавітаційної технології.

4. Для отримання водопаливної емульсії для подальшого спалювання пропонується гідрокавітаційний пристрій ГКС-50.

5. Визначено переваги запропонованої розробки: надійність і простота в експлуатації; значно менша виробнича площа в порівнянні з БХУ; можливо збільшити ефективність теплогенеруючих установок; знижено вміст фенолу у стічних водах з 1,5 г/л до 0,027 мг/м<sup>3</sup>, що свідчить про згоряння фенолів на 99,6 %. Це дозволить вирішити дві проблеми: підвищення ефективності теплогенеруючих установок і утилізації фенольних стічних вод.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Andrienko E.Yu. Method of fire dephenolization of wastewater from coke plants / E.Yu. Andrienko, A.V. Basteev, O.V. Kravchenko // Coal Chemical Journal. - 2009. No. 5-6. pp. 69-74.
2. Krutko I. G., Pulnikova Yu. V. Dispersed storage of resinous river wines of ammonia waters during the coking process of vugill // Sciences of DonNTU. Series: Chemistry and chemical technology. Donetsk: DonNTU. - 2009. - No. 13 (152). - P. 99-105.
3. Permanent technological regulations for the biochemical wastewater treatment plant of the power supply shop of the coke oven and by-product plant. TR 228-KH-01-2008. PAT"ArcelorMittal Kryvyi Rih", 2008, 105 p.
4. Kagasov V.M. Wastewater Treatment at Coke and By-Product Plants / V.M. Kagasov, E.K. Derbysheva. - Yekaterinburg: Polygraphist, 2003. - 189 p.
5. Lazorin S.N. Neutralization of Waste from Coke and By-Product Plants / S.N. Lazorin, S.V. Popkov, A.K. Litvinenko. - Moscow: Metallurgy. - 1977. - 238 p.
6. Zhidetsky V.Ts. Fundamentals of labor protection: Textbook for universities / V.Ts. Zhidetsky, V.S. Dzhigirey. - L.: Afisha, 2000. – 348 p.
7. DSN 3.3.6.042-99. National sanitary standards for the microclimate of industrial premises.
8. Kirilenko V.P., Karakhash O.I., Teslyuk S.I. ta in.. Witness from the funeral service and fire safety: Head of service. – Dnipropetrovsk: PP “Li-ra LTD”, 2008. – 868 p.
9. Айрапетян Т. С. Технологія очистки стічних вод : конспект лекцій для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 194 Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / Т. С. Айрапетян; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 120 с.
10. Василенко О. А. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки : навч. посібник / О. А.

- Василенко, С. М. Епоян, Г. М. Смірнова, І. В. Корінько, Л. О. Василенко, Т. С. Айрапетян. Київ. Харків, КНУБА, ХНУБА, 2012. 572 с.
11. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод: навч. посібник / В. А. Ковальчук. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. 622 с.
12. Рижков С. С. Обробка технологічних рідин та стічних вод : навч. Посібник. Нац. ун-т кораблебудування ім. адмірала Макарова, Херсон. філ. Херсон : Грінь Д. С., 2017. 315 с.
13. Запольський А. К., Мішкова-Клименко Н. А. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод. Київ: Лібра, 2000. 552 с.
14. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5 – 75: 2013. Київ : Мінрегіон України, 2013. 214 с.
15. Технології захисту навколишнього середовища. Ч. 2. Методи очищення стічних вод : підручник. В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, Р. В. Петрук, Г. В. Сакалова та ін. Херсон: Олді-плюс, 2019. 298 с.



## Метадані

### ДОКУМЕНТ

Заголовок  
161-07д-з  
Автор  
161-07д-з

Науковий керівник / Експерт  
Шмельцер К.О.

ІД документа  
334137353

### ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації  
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Ідентифікатор  
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.



11317

Кількість слів



85996

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 копіюванні 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		2
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		283

## 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 проаналзувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз		Колір тексту
#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИФІКОВАНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	<a href="https://masters.donntu.ru/2012/feht/shirokorodova@library/article5.htm">https://masters.donntu.ru/2012/feht/shirokorodova@library/article5.htm</a>	148 (1.31 %)

**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 методу вогневого знефенолювання стічних вод коксохімічних виробництв*

(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

*Улітич Наталя Михайлівна*

(ПІБ)

*кафедра Хімічних технологій та інженерії,*

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

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

Рівень оригінальності становить 23,963 %.

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, опубліку-

вання)

*кафедри Хімічних технологій та інженерії*

на засіданні \_\_\_\_\_

(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

Улітич Наталя Михайлівна  
(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 методу вогневого знефенолювання стічних вод коксохімічних виробництв

Керівник кваліфікаційної роботи: к.х.н., доцент Кормер М.В.  
(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	Кормер М.В.				
2	Основна частина	Кормер М.В.				

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 БАКАЛАВРСЬКУ  
 РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Здобувача вищої освіти Улітич Наталі Михайлівни  
 (прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ЗХТ-23ск

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Вибір та обґрунтування методу  
 вогневого знефенолювання стічних вод коксохімічних виробництв»

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>64 стор.;</u>
таблиць	<u>5;</u>
схем і рисунків	<u>9;</u>
листів графічної частини(демонстраційного матеріалу)	<u>-.</u>

**Якісні відмінності кваліфікаційної бакалаврської роботи:**

Кваліфікаційну бакалаврську роботу виконано на актуальну тему.

Кваліфікаційна робота присвячена вогневному знефенолюванню стічних вод коксохімічних заводів. Автор досліджує утилізацію токсичних стоків у теплогенераторній установці. У роботі пропонується технологія приготування водопаливних емульсій. Для цього використовується гідрокавітаційний пристрій ГКС-50. Стічна вода додається до пічного палива у пропорції 10 на 90 відсотків. Феноли повністю згорають безпосередньо у процесі роботи установки. Запропонований вогневий метод дозволяє замінити імпортований природний газ іншими вуглеводневими паливами. Це робить розробку дуже актуальною для промисловості України.

**Недоліки кваліфікаційної бакалаврської роботи**

детально не розписано вимоги до безпеки праці під час обслуговування гідрокавітаційного пристрою ГКС-50. В деяких місцях пояснювальної записки допущені помилки та в оформленні та неточність перекладу. Також автору варто було ширше описати технічні характеристики пічного палива, яке використовується для приготування емульсії.

**Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної бакалаврської роботи, ступінь самостійності виконання, Під час роботи над кваліфікаційною роботою здобувачем зроблений глибокий аналіз існуючих літературних джерел, зроблені необхідні висновки, проаналізовано вплив різних факторів на процес алкілування.**

*Здобувач Улітич Н.М. продемонструвала хороші аналітичні здібності, вміння аналізувати і систематизувати зібрану інформацію, а також робити самостійні висновки, пропозиції та узагальнення. Графік виконання роботи дотримувався неухильно*

**Можливість використання кваліфікаційної бакалаврської роботи**

*Робота відповідає вимогам, що висуваються до кваліфікаційних робіт на першому (бакалаврському) освітньо-кваліфікаційному рівні може бути допущена до захисту на засіданні ЕК.*

**Оцінка кваліфікаційної бакалаврської роботи \_\_\_\_\_**

Керівник Кормер Марина Віталіївна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, к.хім.н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра Хімічних технологій та інженерії

**РЕЦЕНЗІЯ**

на кваліфікаційну роботу бакалавра

(бакалавра, магістра)

Здобувача Улітич Наталі Михайлівни

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи ЗХТ-23ск
<b>Тема кваліфікаційної роботи</b> <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Вибір та обґрунтування методу вогневого знефенолювання стічних вод коксохімічних виробництв
<b>Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи</b> <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Обґрунтування доцільності застосування методу вогневого знефенолювання стічних вод
<b>Переваги кваліфікаційної роботи</b> <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Кваліфікаційна робота присвячена вогневому знефенолюванню стічних вод коксохімічних заводів. Автор досліджує утилізацію токсичних стоків у теплогенераторній установці. У роботі пропонується технологія приготування водопаливних емульсій. Для цього використовується гідрокавітаційний пристрій ГКС-50. Стічна вода додається до пічного палива у пропорції 10 на 90 відсотків. Феноли повністю згоряють безпосередньо у процесі роботи установки. Запропонований вогневий метод дозволяє замінити імпортований природний газ іншими вуглеводневими паливами. Це робить розробку дуже актуальною для промисловості України.
<b>Недоліки кваліфікаційної роботи</b> <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Обмежено розглянуто технологічні ризики промислового застосування. У тексті роботи детально не розписано вимоги до безпеки праці під час обслуговування гідрокавітаційного пристрою ГКС-50. В деяких місцях пояснювальної записки допущені помилки та в оформленні та неточність перекладу. Також автору варто було ширше описати технічні характеристики пічного палива, яке використовується для приготування емульсії.
<b>Рекомендації:</b> 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, *Улітич Наталя Михайлівна*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота («Вибір та обґрунтування методу вогневого знефенолювання стічних вод коксохімічних виробництв») виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавала і не одержувала 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 ознайомена. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформована, 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 ознайомена з умовами такого розміщення.

12.06.2026