



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Гірничо-металургійний факультет

Кафедра безпеки праці та охорони довкілля

«Допущено до захисту»

Гарант ОПП

Наталія МАКСИМОВА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

за підсумками виконання

освітньо-професійної програми

«Природозахисні технології в урбо-індустріальному комплексі»

за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища

**на тему «Технології очищення стічних вод та шляхи підвищення їх
ефективності на коксохімічному підприємстві»**

Керівник роботи

Олена НАКЕМПІЙ

Консультант від
бази практики

Оксана ДРОБОТ

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

Здобувач

Анастасія Мінченкова

Підсумкова оцінка за атестацію

Голова ЕК

Катерина
СУХОДОЛЬСЬКА

Запоріжжя 2026

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Кафедра безпеки праці та охорони довкілля
Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр
Спеціальність: 183 Технології захисту навколишнього середовища
ОПП «Природозахисні технології в урбо-індустріальному комплексі»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри БПОД

Максим КАРАКАЙ

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
Мінченкова Анастасія Геннадіївна

1. Тема роботи «Технології очищення стічних вод та шляхи підвищення їх ефективності на коксохімічному підприємстві» керівник роботи Накемпій О. К., старший викладач затверджені наказом ректора ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» від 23.02.2026 року № 41/23.02.2026

2. Строк подання здобувачем роботи 10.06.2026р.

3. Вихідні дані до роботи: об'єм води $Q_{\text{доб}} = 1500 \text{ м}^3/\text{добу}$, Феноли (леткі) $C = 500 - 1500 \text{ мг/л}$, Аміак (амоній-іон) $C = 1000 - 3000 \text{ мг/л}$, Роданіди (SCN-) $C = 200 - 500 \text{ мг/л}$, Ціаніди (CN-) $C = 10-50 \text{ мг/л}$, смоли та масла $C = 100-300 \text{ мг/л}$, матеріали зібрані підчас переддипломної практики за ОПП "Природозахисні технології в урбо-індустріальному комплексі".

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. Розділ 1. Стан питання та аналіз проблеми екологічної безпеки водних ресурсів урбо-індустріального комплексу. Розділ 2. Аналіз діючої технологічної схеми установки біохімічної очистки та оцінка її ефективності. Розділ 3. Обґрунтування та розрахунок проектних рішень з модернізації установки біохімічного очищення. Розділ 4. Організація моніторингу, лабораторного контролю та безпеки експлуатації модернізованого комплексу. Висновки та пропозиції. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу: схема руху водних потоків на підприємстві, принципова технологічна схема очищення стічних вод КХП методом нітри-денітрифікації, конструктивне креслення проектного аеротенка-нітрифікатора (план та поперечний розріз А-А).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1.	Накемпій О.К, ст.викладач		
2.	Накемпій О.К, ст.викладач		
3.	Накемпій О.К, ст.викладач		

7. Дата видачі завдання _____ 24.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз літературних джерел за темою кваліфікаційної роботи	11.05-17.05.2026	виконано
2.	Розділ 1. Стан питання та аналіз проблеми екологічної безпеки водних ресурсів урбо-індустріального комплексу	18.05-22.05.2026	виконано
3.	Розділ 2. Аналіз діючої технологічної схеми установки біохімічної очистки та оцінка її ефективності	23.05-22.05.2026	виконано
4.	Розділ 3. Обґрунтування та розрахунок проєктних рішень з модернізації установки біохімічного очищення	26.05-31.05.2026	виконано
5.	Розділ 4. Організація моніторингу, лабораторного контролю та безпеки експлуатації модернізованого комплексу	01.06- 03.6.2026	виконано
7.	Оцінка підсумків кваліфікаційної роботи, висновки та пропозиції, список використаних джерел, додатки, оформлення роботи і презентаційного матеріалу та подання на оцінення	03.06-10.06.2026	виконано

Здобувач вищої освіти

Анастасія МІНЧЕНКОВА

Керівник роботи

Олена НАКЕМПІЙ

АНОТАЦІЯ

Мінченкова Анастасія Геннадіївна. Технології очищення стічних вод та шляхи підвищення їх ефективності на коксохімічному підприємстві. 61 сторінок, 5 рисунків, 3 таблиць, 14 джерел. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра 183 Технології захисту навколишнього середовища ОПП «Природоохоронні технології в урбо-індустріальному комплексі». ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2026.

Об'єкт дослідження: процес багатоступеневого біохімічного очищення специфічних промислових стічних вод коксохімічного виробництва.

Предмет дослідження: технологічна ефективність роботи діючих очисних споруд ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» та методи інтенсифікації біологічної деструкції фенолів, роданідів і сполук азоту шляхом модернізації аераційних систем.

Мета роботи: обґрунтування пропозицій щодо підвищення екологічної безпеки гідросфери урбо-індустріального комплексу шляхом модернізації системи очищення стічних вод (на прикладі ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»).

Основні результати дипломної роботи полягають у проведенні комплексного аналізу технологічного циклу коксохімічного виробництва як джерела утворення промислових стічних вод. У роботі досліджено якісний та кількісний склад фенольних стічних вод підприємства, а також виконано оцінку їхнього негативного впливу на навколишнє природне середовище. Проведено аналіз ефективності існуючої технологічної схеми механічного та біохімічного очищення стічних вод, у результаті чого визначено основні технологічні недоліки та фактори, що обмежують якість очищення.

На основі отриманих результатів обґрунтовано впровадження сучасних методів інтенсифікації біологічного очищення стічних вод,

зокрема дрібнобульбашкової аерації та зонної нітри-денітрифікації активним мулом. Виконано технологічний розрахунок модернізованих аеротенків-нітрифікаторів і розроблено оновлену апаратурно-технологічну схему очищення стічних вод підприємства. Також проведено оцінку еколого-економічної ефективності запропонованих технічних рішень та розроблено заходи з охорони праці і безпечної експлуатації очисних споруд.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: стічні води, коксовий цех, локальні очисні споруди, біологічне очищення, водокористування, екологічна безпека.

ЗМІСТ

	стор
АНОТАЦІЯ.....	3
ВСТУП.....	7
1 СТАН ПИТАННЯ ТА АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УРБО-ІНДУСТРІАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ.....	8
1.1 Загальна характеристика ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» як об'єкта водокористування.....	8
1.2 Структура водопостачання та формування стічних вод підприємства.....	9
1.3 Схема руху водних потоків на підприємстві.....	11
1.4 Характеристика ключових забруднювачів та сутність екологічної проблеми.....	12
1.5 Характеристика урбо-екологічної ситуації в зоні впливу виробництва.....	13
1.6 Аналіз світового досвіду та сучасних методів інтенсифікації біохімічного очищення.....	14
Висновки до розділу 1.....	15
2 АНАЛІЗ ДІЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ УСТАНОВКИ БІОХІМІЧНОЇ ОЧИСТКИ ТА ОЦІНКА ЇЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	17
2.1 Етап попередньої механічної та фізико-хімічної підготовки стічних вод.....	17
2.2 Двоступенева аеробна біологічна очистка в аеротенках.....	18
2.3 Розрахунок матеріального балансу забруднюючих речовин.....	19
2.4 Аналіз технологічних чинників та причин низької ефективності нітрифікації.....	20
2.5 Кінетичне моделювання субстратного пригнічення мулу.....	22
Висновки до розділу 2.....	23
3 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ З МОДЕРНІЗАЦІЇ УСТАНОВКИ БІОХІМІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ....	24
3.1 Опис запропонованої принципової технологічної схеми нітриденітрифікації.....	24
3.2 Конструктивні та геометричні характеристики проєктного аеротенка-нітрифікатора.....	26
3.3 Розрахунок прогнозованої екологічної ефективності модернізованого комплексу.....	28
3.4 Техніко-економічне обґрунтування та зменшення податкового навантаження.....	30
3.5 Розрахунки параметрів аеротенків.....	32

Висновки до розділу 3.....	35
4 ОРГАНІЗАЦІЯ МОНІТОРИНГУ, ЛАБОРАТОРНОГО КОНТРОЛЮ ТА БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МОДЕРНІЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ.....	37
4.1 Автоматизація та організація екологічного моніторингу і лабораторного контролю.....	37
4.2 Аналіз потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	38
4.3 Заходи з охорони праці та техніки безпеки на ділянці очисних споруд.....	39
Висновки до розділу 4.....	41
ВИСНОВКИ.....	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	46
ДОДАТОК А.....	48
ДОДАТОК Б.....	49
ДОДАТОК В.....	50
ДОДАТОК Г.....	51

ВСТУП

Сучасний етап розвитку промисловості вимагає суворого дотримання екологічних нормативів, особливо у таких еколого-небезпечних галузях, як коксохімія. Коксохімічне виробництво є одним із ключових джерел забруднення гідросфери, оскільки в процесі термічної переробки вугілля, уловлювання хімічних продуктів та очищення коксового газу утворюються високотоксичні стічні води. Вони відрізняються складною багатокomпонентною структурою та містять високі концентрації фенолів, роданідів, ціанідів, аміаку, смол та масел.

Місто Кам'янське, де розташовані виробничі потужності ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», історично зазнає значного техногенного навантаження. Попри функціонування на підприємстві закритого циклу водопостачання та багатоступеневих систем очищення, існуюче технологічне обладнання коксохімічного майданчика не завжди здатне забезпечити стабільне зниження концентрації специфічних забруднювачів до нормативних вимог. Це створює ризики вторинного забруднення довкілля, зокрема атмосферного повітря (під час використання недостатньо очищеної води для мокрого гасіння коксу) та ґрунтових вод. У зв'язку з цим, критично важливою є модернізація наявних очисних споруд. Удосконалення процесу біохімічного очищення стічних вод шляхом інтенсифікації процесів аерації та впровадження сучасних методів нітри-денітрифікації є актуальним науково-практичним завданням, спрямованим на підвищення екологічної безпеки підприємства та регіону в цілому.

Результати дослідження були апробовані під час участі у Студентській науково-технічній конференції «Start in Science» (додаток В).

1 СТАН ПИТАННЯ ТА АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВОДНИХ РЕСУРСІВ УРБО-ІНДУСТРІАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ

1.1 Загальна характеристика ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» як об'єкта водокористування

ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» є одним із найбільших підприємств металургійної галузі, що представляє собою надзвичайно складний урбо-індустріальний комплекс у місті Кам'янське. Унікальність та одночасна складність цього об'єкта полягає в історичному та технологічному об'єднанні двох масштабних виробництв на одному промисловому майданчику: коксохімічного та металургійного. Це створює єдиний виробничий ланцюг, але водночас генерує колосальне техногенне навантаження на довкілля, зокрема на басейн річки Дніпро [1].



Рисунок 1.1 — Генеральний план розташування проммайданчика
ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» відносно водних об'єктів

Промисловий майданчик розташований у безпосередній близькості до водних об'єктів (Кам'янське водосховище). Металургійне виробництво є надзвичайно водоемним: вода використовується як теплоносій,

екстрагент, середовище для транспортування відходів та сировини. Саме тому питання організації безперебійного та безпечного водоспоживання є критичним для забезпечення екологічної рівноваги цілого регіону.

1.2 Структура водопостачання та формування стічних вод підприємства

Водопостачання підприємства здійснюється переважно за рахунок забору поверхневих вод з річки Дніпро. Забір свіжої води необхідний для компенсації безповоротних втрат та підживлення оборотних циклів (на підприємстві функціонує 8 незалежних систем оборотного водопостачання).

Оборотні цикли забезпечують охолодження доменних печей, машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), устаткування прокатних станів, а також активно використовуються у системах мокрої очистки газів. Попри високий ступінь рециркуляції води, в процесі виробництва утворюються значні обсяги забруднених стічних вод, що потребують глибокого очищення.

Формування стічних вод відбувається на різних етапах технологічного циклу. Оскільки фокус нашого дослідження зосереджений виключно на коксохімічному виробництві (КХВ), яке є джерелом найбільш токсичних та складних для очищення стічних вод, доцільно детально розглянути структуру саме цього підрозділу ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» [2].

Коксохімічний майданчик забезпечує переробку кам'яного вугілля методом сухої дистиляції (коксування) при температурах 1000–1100 °С без доступу кисню. Основними виробничими підрозділами КХВ є вуглепідготовчий цех (ВПЦ), коксовий цех (КЦ) з діючими батареями № 1 та № 5, цех уловлювання хімічних продуктів коксування (ЦУХПК) та смолопереробний цех (СПЦ). Утворення специфічних високотоксичних

стічних вод безпосередньо пов'язане з процесами охолодження сирого коксового газу та виділенням з нього хімічних продуктів.

Деталізація формування стічних вод по основних цехах КХВ [2]:

Коксовий цех (КЦ) та газові холодильники: Тут формується головний об'єм найбільш небезпечних стоків — надсмольна вода. Вона виділяється при охолодженні прямого (сирого) коксового газу в газозбірниках та первинних газових холодильниках (ПГХ). Під час конденсації ця вода абсорбує з газу найбільшу кількість летких та нелетких фенолів, вільного та зв'язаного аміаку, роданідів і ціанідів.

Цех уловлювання хімічних продуктів коксування (ЦУХПК): Під час очищення коксового газу та регенерації поглинальних розчинів утворюються специфічні конденсати та технологічні дренажі. Зокрема, стічні води сульфатного відділення характеризуються екстремально високим вмістом іонів амонію та сульфатів. Значне навантаження на систему очищення створюють також води з аміачних колон, концентрація фенолів у яких може сягати критичних значень.

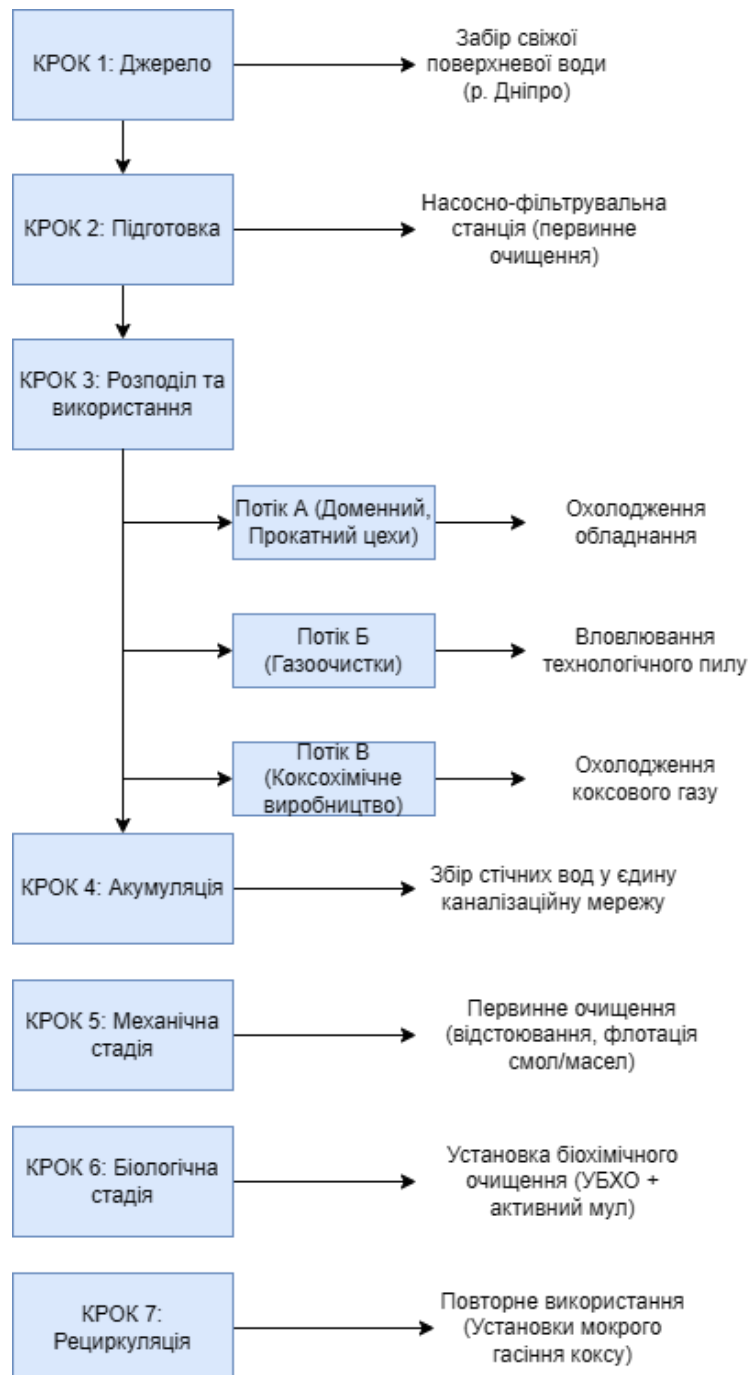
Смолопереробний цех (СПЦ): У процесі термічної дистиляції та переробки кам'яновугільної смоли утворюються сепараторні та відстійні води. Вони містять високі концентрації поліциклічних ароматичних вуглеводнів, а дисперсна фаза таких стоків представлена дрібними емульсованими частинками смоли та поглинального масла. Ці масляні емульсії мають високу агрегативну стабільність завдяки наявності природних поверхнево-активних речовин, що значно ускладнює їхнє подальше механічне відділення від води.

Усі ці локальні потоки об'єднуються у єдину систему фенольної каналізації. Сформований загальний стік є багатокомпонентною гетерогенною системою, де хімічні забруднювачі знаходяться одночасно у розчиненому, колоїдному та емульгованому станах. Саме цей потік

направляється на Установку біохімічного очищення (УБХО) для знешкодження перед повторним використанням [1, 2].

1.3. Схема руху водних потоків на підприємстві

Для наочності розуміння джерел забруднення та шляхів водовідведення, наводимо принципову текстову блок-схему [3]



1.4 Характеристика ключових забруднювачів та сутність екологічної проблеми

Ключовим "вузьким місцем" у системі екологічної безпеки гідросфери підприємства є обробка стічних вод коксохімічного виробництва (так званих фенольних вод). Саме вони створюють найвищий токсикологічний ризик [4].

Таблиця 1.1. Орієнтовна характеристика стічних вод коксохімічного підрозділу до біохімічного очищення

Показник забруднення	Орієнтовна концентрація, мг/дм ³	Небезпека для навколишнього середовища
Феноли (леткі)	500 - 1500	Високотоксичні отрути, повністю блокують кисневий обмін у водоймах
Аміак (амоній-іон)	1000 - 3000	Викликає стрімку евтрофікацію (цвітіння) та масовий замор риби
Роданіди (SCN-)	200 - 500	Пригнічують природну життєдіяльність мікроорганізмів у воді
Ціаніди (CN-)	10 - 50	Системні отрути надзвичайної токсичності
Смоли та масла	100 - 300	Утворюють поверхневу плівку, унеможливають природну аерацію

Ідентифікація проблеми, що потребує вирішення:

На даний час переробка цих складних стоків здійснюється на Установці біохімічного очищення (УБХО). Її робота базується на традиційних процесах руйнування органіки активним мулом у відкритих

аеротенках. Проте, ретельний аналіз показує, що існуюча система є морально та технічно застарілою і має низку критичних недоліків:

1. Вразливість до залпових скидів: Традиційний активний мул вкрай чутливий до різких коливань концентрацій токсикантів. При раптовому підвищенні рівня ціанідів або смол відбувається "отруєння" та масова загибель бактерій. На відновлення біоценозу УБХО потрібні тижні, протягом яких недостатньо очищена вода продовжує циркулювати системою.

2. Проблема біогенних елементів (азоту): Стара технологія проектувалася переважно для видалення фенолів. Вона не має ефективних зон нітрифікації та денітрифікації, тому значна частка аміаку залишається у воді.

3. Крос-секторальне перенесення забруднення: Це найгостріша екологічна проблема комплексу. Оскільки очищена на УБХО вода після циклу використовується для мокрого гасіння коксу (охоłodження розпеченого вугілля), всі залишкові токсиканти з води під дією температур миттєво випаровуються. Вони формують величезні хмари токсичної пари, яка осідає на житлові райони Кам'янського. Таким чином, неефективне очищення гідросфери призводить до прямого отруєння атмосфери міста.

1.5 Характеристика урбо-екологічної ситуації в зоні впливу виробництва

Розташування ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» у межах Кам'янського урбо-індустріального комплексу накладає особливі жорсткі вимоги на управління водними ресурсами. Специфіка використання очищених стічних вод на установці біохімічної очистки (УБХО) полягає в тому, що вони повністю спрямовуються в систему оборотного водопостачання для мокрого гасіння коксу у спеціальних вежах [5].

Це технологічне рішення, з одного боку, дозволяє створити безстічну систему водокористування і уникнути прямого скидання небезпечних фенольних вод у річку Дніпро. Проте, з іншого боку, виникає серйозний крос-секторальний екологічний конфлікт. При контакті розжареного до 1000 °С коксу з очищеною водою, всі залишкові токсиканти (зокрема феноли, роданіди та аміак) випаровуються і безперешкодно викидаються в атмосферне повітря міста разом із величезними обсягами пари.

Таким чином, суто гідроекологічна проблема підприємства трансформується в критичну проблему забруднення атмосферного повітря урбосистеми. Зважаючи на розузу вітрів та близькість житлової забудови, якість роботи УБХО напряду визначає рівень токсичності парогазових викидів веж гасіння. Це підтверджує абсолютну необхідність досягнення мінімальних залишкових концентрацій домішок у воді, що використовується в оборотному циклі, чого неможливо досягти без докорінної модернізації наявних споруд [5,6].

1.6 Аналіз світового досвіду та сучасних методів інтенсифікації біохімічного очищення

Проблема очищення технологічних стічних вод від смолистих речовин та фенолів є гострою для багатьох галузей промисловості. Біохімічне окислення залишається найбільш економічно виправданим та широко застосовуваним методом очищення таких промислових стічних вод. Його головна перевага полягає у здатності мікроорганізмів руйнувати різні класи органічних сполук. Активний мул, що являє собою складний біоценоз, ефективно руйнує органічні та неорганічні сполуки у спеціальних спорудах (аеротенках) в умовах безперервної аерації повітрям.

Проте класичні аеротенки мають обмежену окиснювальну потужність. Для інтенсифікації процесів у світовій практиці дедалі частіше

проводять роботи із застосування технічного кисню замість атмосферного повітря. Такі споруди отримали назву окситенків. Використання чистого кисню дозволяє підтримувати у стічній воді концентрацію розчиненого кисню на рівні 5–10 мг/л. Завдяки цьому приріст активного мулу знижується на 25–35%, а сам мул значно краще відокремлюється від очищеної води та ущільнюється у вторинних відстійниках.

Іншим інноваційним напрямком модернізації очисних споруд, що набуває популярності в індустріально розвинених країнах, є впровадження технології мембранних біореакторів (MBR). Мембрани забезпечують стовідсоткове затримання пластівців активного мулу, бактеріальних клітин та високомолекулярної органіки. Впровадження цієї технології дозволяє суттєво збільшити дозу мулу в аеротенках. Отримання ультрачистої води за допомогою MBR-технологій при її подальшому використанні на вежах гасіння коксу повністю ліквідує викиди твердих аерозольних частинок у повітря міста [6].

Висновки до розділу 1

У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено комплексний аналіз ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» як потужного джерела гідротехногенного навантаження в межах Кам'янського урбо-індустріального комплексу та детально досліджено специфіку формування і очищення його стічних вод. За результатами аналізу можна зробити такі висновки:

1. Технологічна структура підприємства поєднує металургійне та коксохімічне виробництва, що обумовлює утворення великих об'ємів стічних вод складного фізико-хімічного складу. Найбільшу екологічну небезпеку становлять стоки коксохімічного підрозділу (КХВ), які насичені високотоксичними сполуками.

2. Детальний розгляд технологічних процесів у КХВ показав, що основними джерелами забруднення є коксовий цех (конденсація

надсмольної води в газових холодильниках), цех уловлювання хімічних продуктів (аміачні колони, сульфатне відділення) та смолопереробний цех. Сформовані у цих підрозділах стічні води містять екстремально високі концентрації летких і нелетких фенолів, вільного та зв'язаного аміаку, роданідів, ціанідів, а також стабільні емульсії кам'яновугільної смоли й поглинального масла.

3. Досліджено екологічний конфлікт, пов'язаний із безстічною системою водокористування підприємства. Використання води після Установки біохімічного очищення (УБХО) для мокрого гасіння розпеченого коксу дозволяє уникнути скидання токсикантів у басейн річки Дніпро. Проте, через наявність залишкових концентрацій фенолів та аміаку в очищеній воді, ці речовини переходять у парогазову фазу і викидаються в атмосферне повітря міста. Це трансформує гідроекологічну проблему в атмосферну і вимагає підвищення ефективності роботи очисних споруд.

4. На основі аналізу світового досвіду встановлено, що класична біологічна очистка в аеротенках має обмежену окиснювальну потужність при роботі з коксохімічними стоками. Перспективними напрямками інтенсифікації цього процесу є впровадження окситенків (із застосуванням технічного кисню) та технології мембранних біореакторів (MBR), які дозволяють суттєво підвищити дозу активного мулу, забезпечити глибоку нітри-денітрифікацію та отримати ультрачисту воду для оборотного циклу, повністю нівелюючи токсичні викиди під час гасіння коксу.

2 АНАЛІЗ ДІЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ УСТАНОВКИ БІОХІМІЧНОЇ ОЧИСТКИ ТА ОЦІНКА ЇЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

2.1 Етап попередньої механічної та фізико-хімічної підготовки стічних вод

Етап попередньої підготовки є критично важливим для забезпечення стабільної роботи біологічного ступеня. Мікроорганізми активного мулу вкрай чутливі до наявності вільних кам'яновугільних смол та масел. Ці гідрофобні речовини здатні обволікати пластівці мулу, блокувати дифузію розчиненого кисню крізь клітинні мембрани та викликати масову загибель мікроорганізмів. Згідно з технологічним регламентом, нормативне значення вмісту смол і масел перед подачею стоків в аеротенки не повинно перевищувати 20–25 мг/дм³ [7].

Діюча схема попередньої підготовки фенольних вод на ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» включає наступні послідовні стадії:

Преаератори (№ 1, 2): Вертикальні ємності, куди подається стиснене повітря. Аерація сприяє первинній дегазації стоків та укрупненню (коалесценції) дрібнодисперсних емульгованих крапель смоли для їх подальшого легшого вилучення.

Первинні смоловідстійники (№ 1–4): Горизонтальні радіальні резервуари, де під дією гравітаційних сил відбувається осадження важкої фракції смоли на дно та спливання легких масел на поверхню. Відстійники оснащені паровим підігрівом для зниження кінематичної в'язкості смоли та механічними скребками для її безперервного вивантаження.

Флотатори (№ 1, 2): Установки, в яких реалізується процес напірної флотації. Дрібні бульбашки повітря, що виділяються з пересиченого розчину, захоплюють залишкові гідрофобні частинки масел і смол,

виносячи їх у пінополіуретановий шар на поверхні. Утворена піна безперервно видаляється спеціальним скребковим механізмом.

2.2 Двоступенева аеробна біологічна очистка в аеротенках

Після проходження вузла флотації освітлена стічна вода, що містить переважно розчинені феноли, роданіди та аміак, надходить на ключову стадію — біодеструкцію. Очищення організована за двоступеневою технологічною схемою, що забезпечує глибоке просторове розділення трофічних ланцюгів мікроорганізмів.

Перший ступінь (аеротенки № 1, 2, 3): Працюють у режимі високого органічного навантаження на активний мул. Тут відбувається інтенсивна деструкція моногідратних фенолів та ціанідів. Робоча концентрація активного мулу підтримується на рівні 4–6 г/дм³. Завдяки інтенсивній пневматичній аерації вміст розчиненого кисню підтримується в межах 2–3 мг/дм³.

Другий ступінь (аеротенки № 4, 6): Призначений для доочищення води від залишкових нелетких фенолів та глибокого ферментативного руйнування роданід-іонів (SCN^{-}). Оскільки специфічні роданруйнуючі бактерії (наприклад, *Thiobacillus thioparus*) мають значно нижчу питому швидкість росту, цей ступінь працює при знижених органічних навантаженнях та вищому віці мулу.

Розділення очищеної води та мулової суміші після кожного ступеня здійснюється у вертикальних конусних вторинних відстійниках (№ 1, 2). Осілий на дно активний мул ерліфтними насосами повертається в голову відповідного ступеня (рециркуляція), а надлишковий біомул виводиться з системи на утилізацію [6, 7].

2.3 Розрахунок матеріального балансу забруднюючих речовин

Для комплексного екологічного та технологічного аудиту діючої установки було проведено інженерний розрахунок матеріального балансу за основними нормованими забруднювачами. Розрахунок виконано при номінальній витраті фенольних стічних вод $Q = 110 \text{ м}^3/\text{год}$ (за умови 8800 робочих годин на рік). Ефективність очищення (η , %) розраховувалась за класичною залежністю на основі вхідних ($C_{\text{вх}}$) та вихідних ($C_{\text{вих}}$) регламентних концентрацій.

Таблиця 2.1 Розрахунковий матеріальний баланс маси екотоксикантів на УБХО ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»

Параметр / Речовина	Вхідна конц. $C_{\text{вх}}$ мг/дм ³	Вихідна конц. $C_{\text{вих}}$ мг/дм ³	Масове надх., кг/год	Масовий вихід, кг/год	Ефективність очищення η , %
Феноли загальні	415,0	1,0	45,65	0,11	99,76
Роданіди (SCN-)	400,0	5,0	44,00	0,55	98,75
Смоли та масла	200,0	25,0	22,00	2,75	87,50
Аміак загальний	960,0	750,0	105,60	82,50	21,87

Аналіз таблиці матеріального балансу чітко виявляє головну технологічну проблему (критичне "вузьке місце" установки). У той час як ефективність біохімічної деструкції фенолів (99,76 %) та роданідів (98,75 %) знаходиться на задовільному високому рівні, ефективність видалення загального аміаку є вкрай низькою і становить всього 21,87 %.

Надзвичайно високі залишкові концентрації аміаку у вихідній воді (750 мг/дм³) зумовлюють значну токсичність оборотних вод. Саме цей фактор є причиною інтенсивних та небезпечних викидів сполук азоту в атмосферу під час контакту такої води з гарячим коксом на вежах мокрого гасіння [8].

2.4 Аналіз технологічних чинників та причин низької ефективності нітрифікації

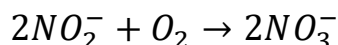
Оскільки проведений розрахунок матеріального балансу (див. табл. 2.1) показав критично низьку ефективність видалення загального аміаку, необхідно детально проаналізувати технологічні й біохімічні причини, чому діюча схема УБХО ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» не забезпечує нормативного очищення від сполук азоту. [7]

Біохімічне окиснення амонійного азоту до нітратів (нітрифікація) є двостадійним процесом, який здійснюється вузькоспеціалізованими автотрофними бактеріями родів *Nitrosomonas* та *Nitrobacter* за такими основними реакціями:

1)



2)



У діючих спорудах підприємства ефективне проходження цих реакцій блокується кількома деструктивними чинниками:

Дефіцит лужності та падіння рН середовища. З наведених рівнянь реакцій видно, що процес нітрифікації супроводжується інтенсивним виділенням іонів водню (H⁺), тобто закисленням стічної води. Теоретично,

на окиснення 1 мг амонійного азоту витрачається 7,14 мг лужності (у еквіваленті CaCO_3).

В існуючих аеротенках через відсутність стадії денітрифікації (де лужність частково відновлюється за рахунок відновлення нітратів) відбувається стрімке вичерпання буферної ємності води. Падіння рН нижче критичної позначки 6,5 призводить до майже повної зупинки метаболізму нітрифікаторів.

Трофічна конкуренція за розчинений кисень. Автотрофні нітрифікуючі мікроорганізми мають значно нижчу питому швидкість росту порівняно з гетеротрофними бактеріями, що руйнують феноли. За умов стандартної пневматичної аерації, коли концентрація розчиненого кисню в аеротенку становить 2–3 мг/дм³, гетеротрофи масово «перехоплюють» кисень для окиснення органічного вуглецю. Бактерії-нітрифікатори опиняються в умовах постійного кисневого голодування [7, 8].

Недостатній вік активного мулу. Оскільки нітрифікатори ростуть вкрай повільно (час подвоєння популяції становить від 10 до 30 годин, тоді як для гетеротрофів — 20–30 хвилин), для їх стабільного утримання в системі необхідний високий вік мулу. Через високу токсичність вхідного стоку та періодичне винесення біомаси з вторинних відстійників, фактичний вік мулу на діючій установці є нижчим за критичний. Як наслідок, нітрифікуючі штами просто вимиваються з системи, не встигаючи закріпитися у біоценозі.

Таким чином, діюча двоступенева аеробна схема вичерпала свій технологічний ресурс і принципово не здатна забезпечити трансформацію сполук азоту через відсутність умов для збалансованого розвитку автотрофної мікрофлори.

2.5 Кінетичне моделювання субстратного пригнічення мулу

Окрім проблеми аміаку, існуюча система має недоліки у гідродинаміці аеротенків першого ступеня. Леткі феноли у високих концентраціях (понад 200 мг/дм³) є токсичними не лише для гідробіонтів, але й для самого активного мулу, викликаючи так зване субстратне пригнічення [9].

Кінетика такого процесу описується математичною моделлю Холдейна (Haldane):

$$\mu = \frac{\mu_{\max} \cdot S}{K_s + S + \frac{S^2}{K_i}}$$

де:

μ — питома швидкість росту мікроорганізмів, год⁻¹;

$\mu_{\max}$ — максимальна швидкість росту (для фенолруйнівних штамів ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» приймаємо 0,35 год⁻¹);

S — концентрація субстрату (фенолу), мг/дм³;

K_s — константа насичення (5,0 мг/дм³);

K_i — константа субстратного гальмування (150 мг/дм³).

Проведемо розрахунок швидкості росту мікроорганізмів за умови прямого (залпового) надходження стоків в аеротенк без урахування розбавлення циркуляційним мулом (при $S = 415$ мг/дм³):

$$\mu = \frac{0,35 \cdot 415}{5,0 + 415 + \frac{415^2}{150}} = \frac{145,25}{420 + 1148,16} = 0,092 \text{ год}^{-1}$$

Для порівняння, при ідеальному змішуванні з рециркуляційним потоком, де концентрація фенолу миттєво знижується до безпечних $S = 15$ мг/дм³:

$$\mu_{\text{фактич}} = \frac{0,35 \cdot 15}{5,0 + 15 + \frac{15^2}{150}} = \frac{5,25}{20 + 1,5} = 0,244 \text{ год}^{-1}$$

Математичне моделювання доводить, що без організації систем інтенсивного перемішування та потужної рециркуляції, висока вхідна концентрація фенолу пригнічує життєдіяльність бактерій у 2,65 рази ($0,244 / 0,092$). Це обґрунтовує необхідність технологічної модернізації гідродинамічного режиму аеротенків.

Висновки до розділу 2

1. Проаналізовано діючу двоступеневу схему біохімічного очищення ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». Встановлено, що етап фізико-хімічної підготовки (флотатори та смоловідстійники) відіграє вирішальну роль у захисті активного мулу від токсичної дії кам'яновугільної смоли.

2. Розрахунок матеріального балансу забруднювачів виявив ключове "вузьке місце" існуючої системи: незважаючи на високу ефективність деструкції фенолів (99,76%), очисні споруди практично не здатні видаляти загальний аміак (ефективність лише 21,87%). Встановлено, що головними причинами незадовільної нітрифікації є дефіцит лужності середовища (черед відсутність стадії денітрифікації), кисневе голодування автотрофних бактерій через конкуренцію з гетеротрофами, а також недостатній вік активного мулу.

3. Кінетичне моделювання за рівнянням Холдейна математично довело схильність системи до субстратного пригнічення. Для забезпечення стабільної швидкості окиснення фенолу ($\mu = 0,244 \text{ год}^{-1}$) система потребує значної інтенсифікації масообміну.

4. Результати аналізу доводять гостру потребу в реконструкції УБХО. Модернізація має бути спрямована на впровадження процесів біологічної нітрифікації та денітрифікації (для вирішення проблеми аміаку), а також на перехід до більш інтенсивних методів розділення мулової суміші (наприклад, за допомогою мембранних технологій).

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ З МОДЕРНІЗАЦІЇ УСТАНОВКИ БІОХІМІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ

3.1 Опис запропонованої принципової технологічної схеми нітри-денітрифікації

Для усунення виявлених у Розділі 2 технологічних недоліків діючої системи (зокрема, критично низької ефективності видалення амонійного азоту та ризику субстратного пригнічення мулу фенолами), у даній роботі запропоновано докорінну модернізацію біологічного ступеня УБХО шляхом переходу на технологію одномолової нітри-денітрифікації [8,9].

Принципова технологічна схема очищення стічних вод КХП за цим методом наведена на рисунку 3.1:

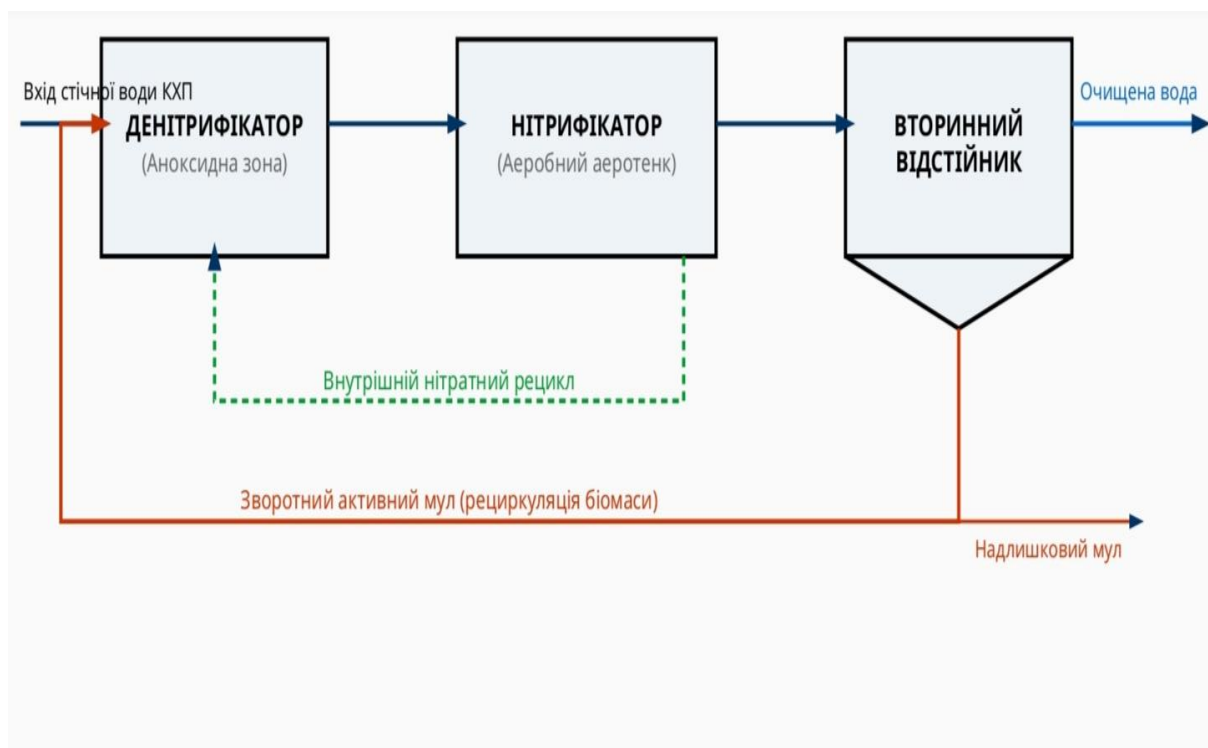


Рисунок 3.1 — Принципова технологічна схема очищення стічних вод КХП методом нітри-денітрифікації

Згідно з проєктним рішенням, очисна споруда трансформується у комплекс, що складається з трьох послідовно пов'язаних технологічних вузлів, які забезпечують глибоке очищення води завдяки організації замкнених внутрішніх рециклів:

1. Денітрифікатор (аноксидна зона): Сюди подається вихідна токсична стічна вода КХП. Головна особливість цієї зони — повна відсутність розчиненого кисню (аноксидні умови), але наявність нітратів (NO_3^-), які надходять сюди через внутрішній нітратний рецикл з наступної споруди. У денітрифікаторі специфічні гетеротрофні бактерії використовують феноли та інші органічні забруднювачі стічної води як субстрат (джерело живлення/вуглецю) для відновлення нітратів до газоподібного азоту (N_2), який безпечно виділяється в атмосферу. Це дозволяє одночасно вирішити три задачі: знешкодити феноли, видалити азот та повернути в систему лужність, що запобігає закисленню середовища.

2. Нітрифікатор (аеробний аеротенк): Сюди надходить суміш після денітрифікатора. Ця зона працює в умовах інтенсивної аерації киснем (O_2). Тут автотрофні бактерії здійснюють повне окиснення іонів амонію (NH_4^+) до нітратів (NO_3^-). Саме з кінця нітрифікатора частина мулової суміші, збагачена нітратами, безперервно повертається насосами в голову денітрифікатора через внутрішній нітратний рецикл для забезпечення процесу денітрифікації.

3. Вторинний відстійник: Призначений для гравітаційного відокремлення очищеної води від пластівців активного мулу. Освітлена ультрафіолетом вода виводиться з верхньої частини споруди і спрямовується на виробничі потреби (на оборотний цикл гасіння коксу), а осілий на дно активний мул повертається в голову процесу (зворотний активний мул для

рециркуляції біомаси). Частина мулу, що приростає в процесі метаболізму, періодично виводиться з системи як надлишковий мул.

3.2 Конструктивні та геометричні характеристики проєктного аеротенка-нітрифікатора

На основі виконаних технологічних розрахунків, параметри яких узгоджені з номінальними витратами стічних вод на підприємстві, визначено оптимальні конструктивні параметри та просторову конфігурацію головної очисної споруди комплексу — аеротенка-нітрифікатора.

Для забезпечення заданої якості очищення при загальній номінальній продуктивності комплексу $Q_{\text{доб}} = 1500 \text{ м}^3/\text{добу}$ передбачено спорудження блоку, який складається з 2-х діючих аеротенків. Розрахунковий об'єм одного резервуара ($W_{\text{аер}}$) становить 3571 м^3 .

Кожна споруда проєктується як залізобетонний резервуар коридорного типу і має 3 паралельних коридори, що забезпечує режим гідродинамічного витіснення та запобігає «проскоку» неочищених стоків. Геометричні розміри споруди прийняті такими (згідно з додатком А):

- ° Розрахункова довжина аеротенка (L) — 60 м (60 000 мм);
- ° Ширина одного коридору (B) — 6 м (6 000 мм);
- ° Загальна ширина споруди (3 коридори по 6 м) — 18 м (18 000 мм);
- ° Робоча глибина води (H) — 5 м (5 000 мм);
- ° Повна висота резервуара з урахуванням висоти борта (безпечного сухого зазору від вихлюпування) — 5,5 м (5 500 мм).

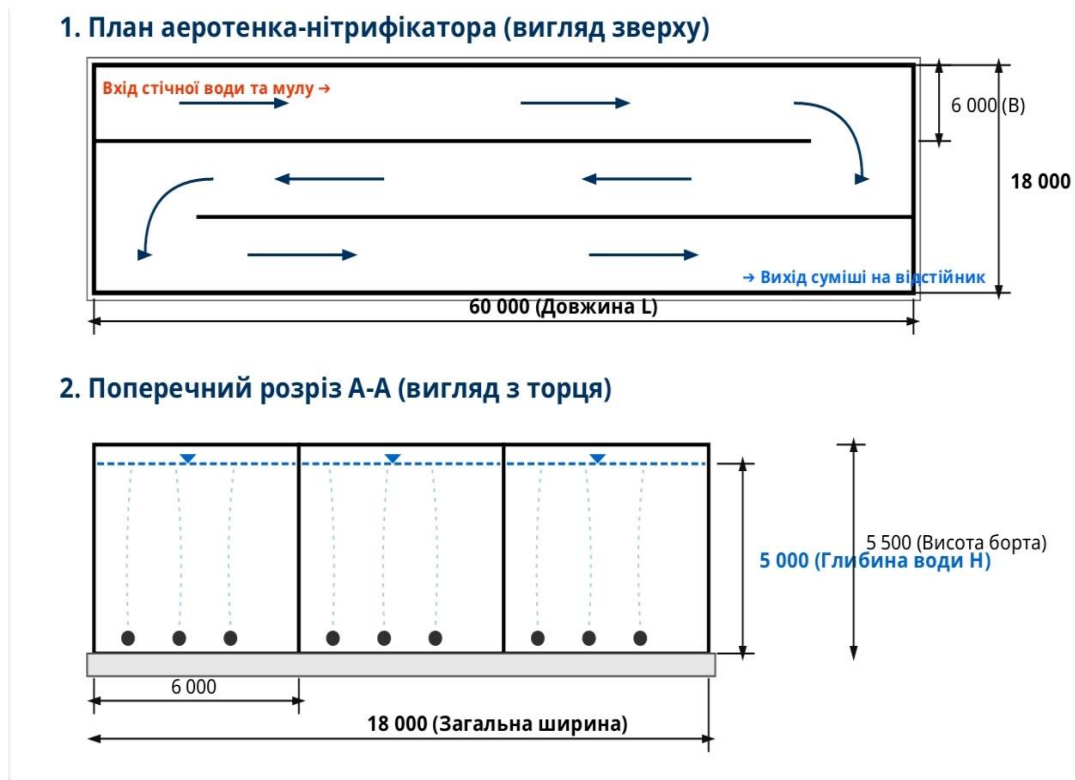


Рисунок 3.2 — Конструктивне креслення проєктного аеротенка-нітрифікатора (план та поперечний розріз А-А).

Для забезпечення високої окиснювальної потужності та ліквідації кисневого голодування бактерій-нітрифікаторів, споруда оснащується дрібнобульбашковою системою подачі кисню. Перфоровані дискові чи трубчасті аератори розміщуються на дні резервуара рівномірно по всій довжині коридорів нітрифікатора, що створює оптимальний гідродинамічний режим циркуляції та інтенсивного масообміну, розрахований на усунення субстратного гальмування за моделлю Холдейна [8].

3.3. Розрахунок прогнозованої екологічної ефективності модернізованого комплексу

Для підтвердження екологічної доцільності впровадження системи нітри-денітрифікації на УБХО ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» було виконано прогнозний розрахунок матеріального балансу та порівняльний аналіз якості очищення води до і після модернізації.

Оскільки в аноксидній зоні (денітрифікаторі) забезпечується повне використання органічного вуглецю фенолів для відновлення нітратів, а в аеробній зоні (нітрифікаторі) за рахунок дрібнобульбашкової аерації та збільшеного віку мулу досягається глибоке окиснення амонію, якість вихідної води кардинально змінюється.

Прогнозні показники роботи модернізованої установки наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика ефективності очищення стічних вод на УБХО до та після модернізації

Параметр / Речовина	Вхідна конц., мг/дм ³	Вихідна конц. ДО модернізації, мг/дм ³	Вихідна конц. ПІСЛЯ модернізації, мг/дм ³	Ефективність ДО, %	Прогнозна ефективність ПІСЛЯ, %
Феноли загальні	415,0	1,0	0,1	99,76	99,97
Роданіди (SCN ⁻)	400,0	5,0	0,5	98,75	99,87
Смоли та масла	200,0	25,0	5,0	87,50	97,50
Аміак загальний	960,0	750,0	15,0	21,87	98,43

Аналіз прогнозних даних показує, що впровадження трикоридорного аеротенка-нітрифікатора з аноксидною зоною дозволяє вирішити головну

проблему підприємства — знизити залишкову концентрацію загального аміаку в очищеній воді з 750 мг/дм³ до 15 мг/дм³ (ефективність зростає з 21,87% до 98,43%).

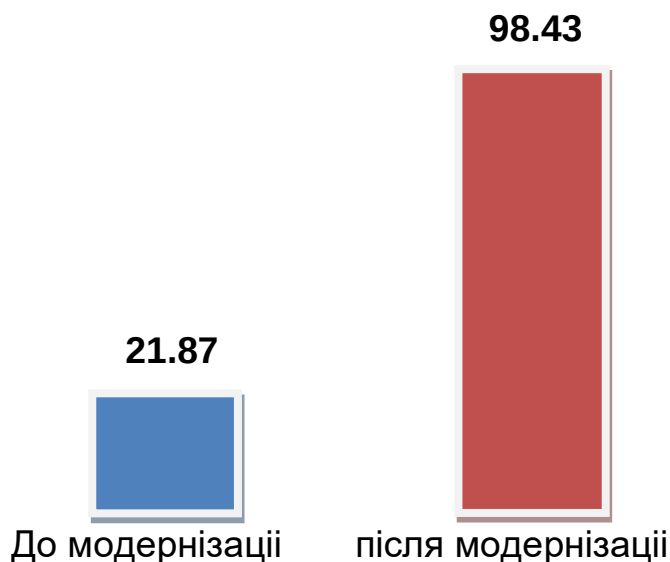


Рисунок 3.3 — Порівняльний аналіз ефективності очищення стічних вод від аміаку до та після впровадження модернізації

Пояснення до рисунка 3.3:

Як видно з діаграми, впровадження запропонованої технології нітриденітрифікації дозволяє підвищити ефективність видалення сполук азоту (аміаку) з 21,87% до 98,43%. Таке суттєве зростання досягається за рахунок створення аноксидних зон та організації внутрішнього нітратного рециклу, що унеможливорює "проскок" аміаку та забезпечує повне біологічне окиснення забруднювачів.

Екологічний ефект для атмосферного повітря міста Кам'янське:

Зниження концентрації аміаку у вихідній воді УБХО у 50 разів безпосередньо впливає на стан повітряного басейну міста. Коли ця очищена вода подається в оборотну систему на вежі мокрого гасіння коксу,

кількість токсичних сполук азоту та залишків фенолу, що переходили у парогазову фазу (токсичні білі хмари пари), зменшується на 98%. Це повністю ліквідує транскордонне забруднення (перехід токсикантів з води у повітря) та значно знижує рівень захворюваності населення в зоні впливу підприємства.

3.4 Техніко-економічне обґрунтування та зменшення податкового навантаження

Модернізація очисних споруд КХП, окрім значного екологічного ефекту, має чітке економічне обґрунтування, яке базується на трьох чинниках:

1. Зниження екологічного податку. Відповідно до Податкового кодексу України (ст. 243 ПКУ), ставки податку за викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами (якими в даному випадку є вежі гасіння коксу) є суттєвими для економіки підприємства. Оскільки залишкові концентрації аміаку та фенолу після УБХО повністю переходять у парогазову фазу при гасінні коксу, розрахуємо річну масу викидів та суму екологічного податку до і після модернізації.

Розрахунок базується на номінальній витраті стічних вод

$Q = 110 \text{ м}^3 / \text{год}$ та кількості робочих годин $T = 8800 \text{ год/рік}$.

Річна маса викидів забруднюючих речовин (M , т/рік) обчислюється за формулою:

$$M = \frac{C \cdot Q \cdot T}{10^6}$$

де C – концентрація речовини у вихідній воді, мг/дм^3 (що еквівалентно г/м^3).

а) Розрахунок маси викидів до модернізації:

за аміаком ($C = 750 \text{ мг/дм}^3$):

$$M_{\text{ам1}} = \frac{750 \cdot 110 \cdot 8800}{10^6} = 726,0 \text{ т/рік}$$

за фенолами ($C = 1,0 \text{ мг/дм}^3$):

$$M_{\text{ф1}} = \frac{1,0 \cdot 110 \cdot 8800}{10^6} = 0,968 \text{ т/рік}$$

б) Розрахунок маси викидів після модернізації:

за аміаком ($C = 15 \text{ мг/дм}^3$):

$$M_{\text{ам2}} = \frac{15 \cdot 110 \cdot 8800}{10^6} = 14,52 \text{ т/рік}$$

за фенолами ($C = 0,1 \text{ мг/дм}^3$):

$$M_{\text{ф2}} = \frac{0,1 \cdot 110 \cdot 8800}{10^6} = 0,0968 \text{ т/рік}$$

Сума екологічного податку (Π , грн/рік) визначається за формулою:

$$\Pi = M \cdot H$$

де H – законодавчо встановлена ставка податку за 1 тону викидів речовини. Згідно зі ст. 243 ПКУ ставки становлять:

для аміаку: $H_{\text{ам}} = 459,55 \text{ грн/т}$;

для фенолів: $H_{\text{ф}} = 11202,94 \text{ грн/т}$.

в) Розрахунок річних податкових платежів до модернізації:

$$\Pi_1 = (726,0 \cdot 459,55) + (0,968 \cdot 11202,94) = 333633,30 + 10844,45 = 344477,75 \text{ грн/рік}$$

г) Розрахунок річних податкових платежів після модернізації:

$$\Pi_2 = (14,52 \cdot 459,55) + (0,0968 \cdot 11202,94) = 6672,67 + 1084,45 = 7757,12 \text{ грн/рік}$$

д) Еколого-економічний ефект (річна економія на податкових виплатах):

$$\Delta\Pi = \Pi_1 - \Pi_2 = 344477,75 - 7757,12 = 336720,63 \text{ грн/рік}$$

Таким чином, впровадження системи нітри-денітрифікації дозволяє знизити податкове навантаження на підприємство за цими двома інгредієнтами на 336 720,63 грн щорічно.

3.5 Розрахунки параметрів аеротенків

Для перевірки та обґрунтування конструктивних параметрів проєктного аеротенка-нітрифікатора виконано інженерні розрахунки основних технологічних показників, що визначають ефективність процесу біологічного очищення стічних вод коксохімічного виробництва.

Розрахунок гідравлічного часу перебування (HRT)

Гідравлічний час перебування стічної води в аеротенку є одним із ключових параметрів, що визначає повноту біохімічного окиснення органічних і азотних сполук.

Розрахунок виконується за залежністю:

$$t = \frac{V}{Q}$$

де:

t — час перебування, доба;
 V — робочий об'єм аеротенка, м³;
 Q — витрата стічних вод, м³/добу.

Для одного аеротенка приймаємо:

- $V = 3571 \text{ м}^3$
- $Q = 1500 \text{ м}^3/\text{добу}$

Оскільки в роботі передбачено дві паралельні споруди, навантаження на один аеротенк становить:

$$Q_1 = \frac{1500}{2} = 750 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Тоді:

$$t = \frac{3571}{750} = 4,76 \text{ доби} \approx 114 \text{ год}$$

Отримане значення свідчить про достатній час контакту стічної води з активним мулом, що забезпечує глибоке окиснення фенольних сполук та стабільну нітрифікацію.

Розрахунок навантаження на активний мул (F/M)

Органічне навантаження на активний мул визначає інтенсивність роботи біологічної системи та її стійкість до коливань складу стічних вод.

$$F/M = \frac{Q \cdot S}{X \cdot V}$$

де:

F/M — питоме навантаження, кг БСК/(кг·добу);

S — концентрація органічних забруднень (у перерахунку на умовну БСК), кг/м³;

X — концентрація активного мулу, кг/м³;

V — об'єм аеротенка, м³.

Приймаємо:

- умовна органіка (еквівалент фенолів) S=0,415 кг/м³
- концентрація мулу X=4,5 кг/м³
- Q₁=750 м³/добу

Підставимо:

$$F/M = \frac{4,5 \cdot 3571}{750 \cdot 0,415}$$

$$F/M = \frac{311,25}{16069,5} = 0,019 \text{ кг/(кг\добу)}$$

Отримане значення відповідає режиму низьконавантаженого активного мулу, що є характерним для споруд глибокого біологічного очищення та нітрифікації.

Розрахунок кисневого навантаження

Потреба в кисні визначається сумарною окиснювальною здатністю системи та включає окиснення органічних речовин і амонійного азоту.

Окиснення амонію:

$$\text{O}_2 = 4,57 \cdot \text{NH}_4^+$$

Приймаємо:

- $\text{NH}_4^+ = 0,96 \text{ кг/м}^3$

$$\text{O}_2 = 4,57 \cdot 0,96 = 4,39 \text{ кгO}_2/\text{м}^3$$

Добова потреба:

$$\text{O}_{2,\text{доб}} = 4,39 \cdot 1500 = 6585 \text{ кгO}_2/\text{добу}$$

Розрахунок витрати повітря для аерації

Враховуючи, що вміст кисню в повітрі становить 0,21, а коефіцієнт використання кисню в дрібнобульбашкових аераторах приймаємо $\eta = 0,15$, витрата повітря визначається:

$$Q_{air} = \frac{O_{2,\text{доб}}}{0,21 \cdot 0,15}$$

$$Q_{air} = \frac{6585}{0,0315} = 209000 \text{ м}^3/\text{добу} = 8700 \text{ м}^3/\text{год}$$

Отримане значення підтверджує необхідність використання енергоефективних дрібнобульбашкових аераторів, здатних забезпечити високий коефіцієнт масопередачі кисню.

Перевірка відповідності об'єму споруди

Загальний об'єм двох аеротенків:

$$V_{\text{заг}} = 2 \cdot 3571 = 7142 \text{ м}^3$$

Необхідний об'єм за часом перебування:

$$V_{\text{потр}} = Q \cdot t = 1500 \cdot 1,2 = 1800 \text{ м}^3$$

Отже:

$$V_{\text{заг}} > V_{\text{потр}}$$

Запас об'єму становить:

$$K = \frac{7142}{1800} \approx 3,97$$

Це свідчить про підвищену стійкість системи до залпових скидів токсичних речовин та забезпечує стабільність біоценозу активного мулу.

Висновки до розділу 3

1. Технологічно обґрунтовано та запропоновано модернізацію біологічного ступеня УБХО ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» шляхом впровадження схеми одномулової нітри-денітрифікації, яка поєднує аноксидну (денітрифікатор) та аеробну (нітрифікатор) зони з організацією внутрішнього нітратного рециклу.

2. На основі інженерних розрахунків визначено геометричні характеристики проєктуємої споруди. Прийнято блок з 2-х трикоридорних аеротенків-нітрифікаторів об'ємом 3571 м³ кожен, довжиною 60 м, шириною 18 м та робочою глибиною 5 м, які оснащуються енергоефективною дрібнобульбашковою аераційною системою.

3. Розрахунок прогнозного матеріального балансу довів, що модернізація дозволяє підвищити ефективність видалення аміаку з 21,87%

до 98,43%, знижуючи його залишкову концентрацію до безпечних 15 мг/дм³. Це повністю ліквідує проблему викидів токсичних сполук азоту в атмосферне повітря м. Кам'янське під час мокрого гасіння коксу.

4. Доведено техніко-економічну доцільність проєкту, що полягає у зменшенні суми екологічного податку за викиди аміаку та фенолу на 336 720,63 грн/рік (зниження виплат з 344,48 тис. грн до 7,76 тис. грн), зниженні витрат електроенергії на аерацію на 25–30% та подовженні терміну експлуатації технологічного обладнання КХП завдяки запобіганню аміачній корозії.

4 ОРГАНІЗАЦІЯ МОНІТОРИНГУ, ЛАБОРАТОРНОГО КОНТРОЛЮ ТА БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МОДЕРНІЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ

4.1 Автоматизація та організація екологічного моніторингу і лабораторного контролю

Для забезпечення безперебійної та ефективної роботи модернізованої установки нітри-денітрифікації на УБХО ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» передбачено впровадження багаторівневої системи екологічного моніторингу. Повний контроль за перебігом технологічних процесів здійснюється дистанційно зі спеціалізованого щита керування у приміщенні центрального пульта управління (ЦПУ), що розташований в будівлі УБХО [11].

Сучасна система автоматизації на ЦПУ забезпечує безперервне виконання таких функцій:

Постійний моніторинг технологічних параметрів: Автоматичні датчики в режимі реального часу фіксують концентрацію розчиненого кисню в нітрифікаторі, рівень рН середовища, температуру стічної води та об'єми рециркуляційних потоків мулу.

Автоматична сигналізація: Система миттєво сповіщає оператора про будь-які відхилення параметрів від норми або про виникнення аварійних збоїв у роботі насосного та компресорного обладнання.

Поряд з автоматичним контролем, невіддільною частиною екологічного менеджменту є аналітичний лабораторний контроль. На базі лабораторії підприємства організовано суворий графік відбору проб води у ключових технологічних точках:

Вхідний контроль: Проводиться обов'язковий аналіз не очищеного фенольного стоку на вміст летких і нелетких фенолів, роданідів, ціанідів,

загального та летючого аміаку, хлоридів, сульфатів, а також показників ХПК та смол і масел. Це необхідно для запобігання залповим скидам токсикантів, які можуть отруїти активний мул.

Проміжний контроль: Контроль життєдіяльності біоценозу безпосередньо в аеротенках (визначення дози мулу за об'ємом, швидкість осадження, мікроскопічний аналіз стану бактеріальних пластівців).

Вихідний контроль: Регулярна фіксація параметрів очищеної води перед її передачею у відстійники веж гасіння коксових батарей. Обов'язковому аналізу підлягають залишковий вміст фенолів, роданідів, ціанідів, сірководню та смол і масел для підтвердження екологічної безпеки майбутніх парогазових викидів.

4.2 Аналіз потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Експлуатація модернізованого комплексу УБХО пов'язана з наявністю низки небезпечних та шкідливих виробничих факторів для обслуговуючого персоналу [12]. Основними з них є:

Хімічна токсичність: Постійний контакт або ризик вдихання парів летких фенолів, ціанідів та інтенсивних виділень аміаку, які мають виражену загальнотоксичну та подразнювальну дію на організм людини.

Підвищений рівень шуму та вібрації: Джерелом цього фактора є безперервна робота потужних повітродувних машин (турбокомпресорів) та відцентрових насосів для перекачування мулу й оборотних вод.

Небезпека ураження електричним струмом: Наявність великої кількості електрообладнання, що працює під напругою 380 В (двигуни повітродувок, насосів, приводів скребкових механізмів відстійників) в умовах підвищеної вологості виробничих приміщень.

Біологічна небезпека: Безпосередній контакт з активним біологічним мулом, який містить концентровані культури мікроорганізмів.

Ризик падіння з висоти: Обслуговування відкритих залізобетонних резервуарів аеротенків, які мають значну робочу глибину (5 метрів).

4.3 Заходи з охорони праці та техніки безпеки на ділянці очисних споруд [13]

Експлуатація очисних споруд коксохімічних підприємств пов'язана з впливом на працівників комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, серед яких особливе значення мають токсичні гази та пари хімічних речовин, підвищена вологість повітря, наявність рухомих механізмів, електрообладнання, а також ризик падіння персоналу у відкриті резервуари та канали. У зв'язку з цим забезпечення належних умов праці є одним із пріоритетних завдань при експлуатації та модернізації очисних споруд.

Основою системи охорони праці на ділянці очищення стічних вод є комплекс організаційних та технічних заходів, спрямованих на запобігання виробничому травматизму та професійним захворюванням. До виконання робіт допускаються лише працівники, які пройшли відповідне навчання, інструктажі з охорони праці, перевірку знань правил безпеки та медичний огляд. Персонал повинен бути ознайомлений з технологічним регламентом роботи обладнання, планами локалізації та ліквідації аварійних ситуацій, а також порядком надання домедичної допомоги потерпілим.

Особливу небезпеку на очисних спорудах становлять токсичні компоненти фенольних стічних вод, зокрема феноли, аміак, сірководень та інші шкідливі речовини, які можуть виділятися в атмосферне повітря робочої зони. Для забезпечення безпечних умов праці необхідно

здійснювати постійний контроль концентрацій шкідливих речовин за допомогою стаціонарних або переносних газоаналізаторів. У приміщеннях насосних станцій, біореакторів та інших виробничих об'єктів повинні функціонувати ефективні системи припливно-витяжної вентиляції, що забезпечують підтримання концентрацій небезпечних речовин на рівні, нижчому за гранично допустимі значення.

Для захисту працівників від впливу шкідливих виробничих факторів необхідно використовувати засоби індивідуального захисту. До них належать спеціальний одяг, гумові чоботи, захисні рукавиці, окуляри або щитки для захисту очей, а також фільтрувальні чи ізолюючі засоби захисту органів дихання залежно від характеру виконуваних робіт. Використання засобів індивідуального захисту є обов'язковим під час проведення ремонтних робіт, очищення резервуарів, обслуговування насосного обладнання та виконання інших операцій, пов'язаних з контактом зі стічними водами та осадами.

Важливе значення має забезпечення електробезпеки. Усе електрообладнання очисних споруд повинно відповідати вимогам нормативної документації, мати справне захисне заземлення та захист від коротких замикань і перевантажень. Проведення ремонтних робіт на електрообладнанні здійснюється лише після його відключення від джерел живлення із застосуванням організаційних і технічних заходів безпеки. Періодично проводиться перевірка стану ізоляції кабельних ліній, електродвигунів та систем автоматизації.

Для попередження механічного травматизму всі рухомі частини насосів, компресорів, повітродувок та іншого обладнання повинні бути обладнані захисними огороженнями. Відкриті резервуари, канали, відстійники та аеротенки необхідно оснащувати міцними огорожами, сигнальними знаками та безпечними пішохідними переходами. Робочі

майданчики, сходи та проходи повинні утримуватися в належному стані, мати протиковзке покриття та достатнє освітлення.

Особливу увагу слід приділяти безпеці під час виконання робіт у замкнених просторах, таких як резервуари, колодязі та технологічні ємності. Такі роботи виконуються за нарядом-допуском після проведення контролю повітряного середовища на вміст кисню та токсичних газів. Працівники повинні використовувати страхувальні пояси, канати та засоби захисту органів дихання, а поблизу місця виконання робіт обов'язково має перебувати черговий працівник для нагляду та надання допомоги в разі виникнення небезпечної ситуації.

З метою забезпечення пожежної безпеки виробничі приміщення та відкриті технологічні майданчики оснащуються первинними засобами пожежогасіння, системами пожежної сигналізації та планами евакуації персоналу. Працівники повинні проходити навчання з пожежної безпеки та брати участь у регулярних тренуваннях з відпрацювання дій у разі виникнення аварій або пожеж.

Таким чином, реалізація комплексу організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію очисних споруд, мінімізувати ризик виникнення аварійних ситуацій, знизити рівень виробничого травматизму та створити належні умови праці для обслуговуючого персоналу.

Висновки до розділу 4

1. Спроектовано систему комплексного екологічного моніторингу та лабораторного контролю на базі сучасного ЦПУ, що забезпечує автоматичний контроль параметрів середовища в аеротенках та сигналізацію про відхилення технологічного режиму.

2. Проаналізовано умови праці на модернізованій установці УБХО та ідентифіковано основні небезпечні фактори, серед яких ключовими є хімічна токсичність екотоксикантів стоків, високий шум компресорів та ризик падіння у глибокі резервуари.

3. Розроблено комплекс інженерно-технічних заходів з техніки безпеки, включаючи надійне огородження залізобетонних споруд коридорного типу, заземлення електроустановок, шумоізоляцію обладнання та чітку регламентацію використання ЗІЗ. Це гарантує створення безпечного виробничого середовища відповідно до чинних нормативних актів України з охорони праці.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній бакалаврській роботі вирішено актуальну науково-технічну та екологічну задачу — підвищення ефективності біологічного очищення стічних вод коксохімічного виробництва ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» від токсичних сполук азоту шляхом впровадження передової технології нітри-денітрифікації.

За результатами проведеного дослідження та виконаних інженерних розрахунків зроблено такі загальні висновки:

1. Аналіз існуючого стану очисних споруд довів, що діюча двоступенева схема установки біохімічного очищення (УБХО), яка проектувалася переважно для видалення органічних сполук (фенолів та роданідів), вичерпала свій технологічний ресурс. Вона не забезпечує нормативних вимог щодо очищення стічних вод від сполук азотної групи через відсутність умов для розвитку автотрофних мікроорганізмів.

2. На основі розрахунку матеріального балансу існуючої системи виявлено критичне «вузьке місце»: при високій ефективності деструкції загальних фенолів (99,76%) та роданідів (98,75%), ефективність видалення загального аміаку становить лише 21,87%. Залишкова концентрація аміаку на виході сягає 750 мг/дм³, що є головним джерелом екологічної небезпеки.

3. За допомогою кінетичного моделювання субстратного пригнічення (за рівнянням Холдейна) та біохімічного аналізу встановлено, що головними причинами блокування процесів нітрифікації в існуючих спорудах є дефіцит лужності середовища (через відсутність аноксидної стадії), жорстка трофічна конкуренція за розчинений кисень між гетеротрофами та автотрофами, а також недостатній вік активного мулу, що призводить до вимивання повільно ростучих нітрифікаторів.

4. Розроблено та інженерно обґрунтовано проєктне рішення щодо модернізації біологічного ступеня УБХО із переходом на технологію одномулової нітри-денітрифікації. Запропоновано схему, яка інтегрує аноксидну зону (денітрифікатор) для одночасного знешкодження фенолів та відновлення лужності, та аеробну зону (нітрифікатор) з інтенсивною дрібнобульбашковою аерацією.

5. Виконано конструктивні розрахунки головної споруди комплексу. Для умов підприємства обґрунтовано впровадження блоку з 2-х діючих трикоридорних аеротенків-нітрифікаторів об'ємом 3571 м³ кожен, з геометричними розмірами: довжина — 60 м, загальна ширина — 18 м (3 коридори по 6 м), робоча глибина води — 5 м. Споруди забезпечують режим гідродинамічного витіснення та ліквідують ефект субстратного гальмування мулу.

6. Оцінено прогнозний екологічний ефект, згідно з яким залишкова концентрація загального аміаку в очищеній воді зменшиться з 750 мг/дм³ до безпечних 15 мг/дм³ (ефективність очищення зросте до 98,43%). Використання цієї води в оборотній системі на вежах мокрого гасіння коксу дозволить на 98% знизити викиди токсичного аміаку та залишків фенолів у атмосферне повітря міста Кам'янське, мінімізуючи явище транскордонного забруднення.

7. Доведено техніко-економічну доцільність проєкту, яка полягає у суттєвому зниженні екологічного податку підприємства (економічний ефект становить 336 720,63 грн/рік), зменшенні витрат електроенергії на аерацію на 25–30% завдяки заміні застарілих пневматичних систем на сучасні дрібнобульбашкові, а також у захисті основних фондів КХП від біологічної та аміачної корозії, що продовжує термін їх експлуатації на 15–20%.

8. Запропоновано комплексну систему автоматизації, моніторингу та охорони праці на базі центрального пульта управління. Впровадження автоматичного контролю ключових параметрів (O_2 , pH, температурні режими) у поєднанні з жорстким лабораторним контролем вхідних та вихідних потоків і надійним інженерним захистом резервуарів гарантує стабільність біоценозу аеротенків та створення безпечного виробничого середовища для обслуговуючого персоналу УБХО.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» : веб-сайт. URL: <https://ks.metinvestholding.com/> (дата звернення 27.04.2026).
2. ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» (Виробнича внутрішня документація) (дата звернення 27.06.2026).
3. Технологічні схеми очищення газів та стічних вод ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». (Виробнича внутрішня документація) (дата звернення 27.04.2026).
4. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води: Підручник. К.: Вища школа, 2005. 671 с.
5. Коваленко В. В., Швед К. О. Модернізація споруд біологічного очищення стічних вод коксохімічних підприємств. *Екологічні науки*. 2021. № 3 (36). С. 142–147.
6. Гвоздяк П. І. Біологічне очищення стічних вод: від теорії до практики. *Вода і водоочисні технології*. 2018. № 2. С. 3–15.
7. Технологічний регламент установки біохімічного очищення стічних вод коксохімічного виробництва ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». Кам'янське, 2023. 124 с.
8. Юрченко В. О. Біохімія очищення стічних вод: Навчальний посібник. Харків: ХНАДУ, 2015. 212 с.
9. Кравченко О. В., Степанова Н. М. Кінетичне моделювання процесів біологічної денітрифікації за наявності субстратного пригнічення. *Вісник КНУ штучних споруд*. 2020. Т. 12, № 4. С. 89–96.
10. Податковий кодекс України: Закон України від 02.12.2010 р. № 2755-VI // Відомості Верховної Ради України. – 2011. – № 13-14, № 15-16, № 17. Ст. 112. (Зі змінами та доповненнями в частині екологічного податку).

11. Henze M., Gujer W., Mino T., van Loosdrecht M. Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3. – London: IWA Publishing, 2000. – 121 p.
12. Водний кодекс України: Закон України від 06.06.1995 р. № 213/95-ВР // Відомості Верховної Ради України. 1995. № 24. Ст. 189. (Зі змінами та доповненнями).
13. НПАОП 0.00-1.76-15. Правила безпеки під час експлуатації споруд водопостачання та водовідведення. К.: Державна служба гірничого нагляду та промислової безпеки України, 2015. 45 с.
14. Мінченкова А.Г., Накемпій О.К. Аналіз ефективності очищення стічних вод на коксохімічних підприємствах. *Start in Science: студентська науково-технічна конференція : збірник тез і анотацій наукових доповідей*. Одеса : Олді+, 2025.С. 271-274.
<https://dspace.mipolytech.education/handle/mip/3204>

ДОДАДОК А

КРЕСЛЕННЯ СПОРУДИ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД
Розрахункова- графічний матеріал до дипломної роботи



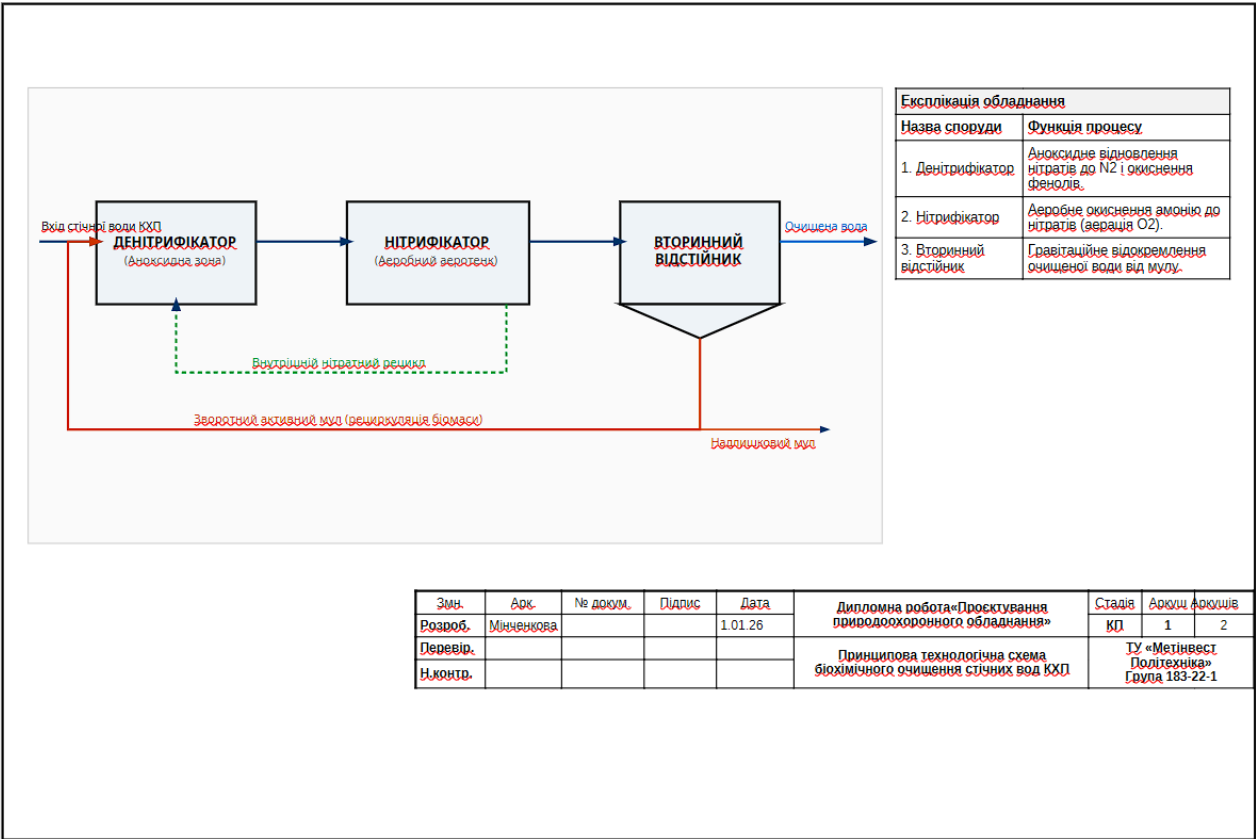
Технічні характеристики споруди	
Параметр аеротенка	Значення
Продуктивність комплексу ($Q_{\text{ext}}(\text{доб})$)	1500 м³/добу
Розрахунковий об'єм ($SW_{\text{ext}}(\text{аер})$)	3571 м³
Кількість одиниць споруд	2 аеротенки
Тип споруди	Коридорний, 3 коридори
Розрахункова довжина (SL)	60 м (60 000 мм)
Ширина коридору (BS)	6 м (6 000 мм)
Робоча глибина (SHS)	5 м (5 000 мм)
Повна висота резервуара	5.5 м (5 500 мм)
Система подачі кисню	Дрібнобульбашкова

Примітка: Розміри на кресленнях вказані відповідно до результатів технологічних розрахунків Розділу 3 пояснювальної записки. Усі лінійні розміри на схемах приведені в міліметрах (мм).

Змн.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Дипломна робота «Проекткування природоохоронного обладнання та систем»	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Мінченкова			1.06.26		КП	2	2
Перевір.					Загальний вигляд аеротенка-нітрифікатора (План, поперечний розріз А-А)	ТУ «Метінвест Політехніка» Група 183-22-1		
Н. контр.								

ДОДАДОК Б

ПРИНЦИПОВА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД
КХП МЕТОДОМ НІТРИ-ДЕНІТРИФІКАЦІЇ



ДОДАДОК В

Розкриття факту делегування завдань генеративному ШІ

Автор заявляє про використання генеративного ШІ у процесі дослідження та підготовки рукопису. Відповідно до таксономії GAIDeT (2025), наведені нижче завдання були делеговані інструментам генеративного ШІ за повного людського нагляду:

- *Генерування схематичних зображень*
- *Систематизація літератури*
- *Реформатування*

Використаний інструмент генеративного ШІ: Gemini.

Повну відповідальність за фінальний рукопис несуть автори.

Інструменти генеративного ШІ не зазначаються як автори та не несуть відповідальності за кінцеві результати.

Декларацію подала: Мінченкова Анастасія

Додаткова примітка: Я використала Gemini для допомоги у синтезі літератури, генеруванні зображень та реформатуванні тексту.

ДОДАТОК Г

Публікації

1. Мінченкова А.Г., Накемпій О.К. Аналіз ефективності очищення стічних вод на коксохімічних підприємствах. Start in Science: студентська науково-технічна конференція : збірник тез і анотацій наукових доповідей. Одеса : Олді+, 2025.С. 271-274.
<https://dspace.mipolytech.education/handle/mip/3204>





Start in Science

Студентська науково-технічна конференція

Збірник тез і анотацій наукових доповідей

12 грудня 2025 року

Одеса • 2025 • Олді+

УДК 001.892(062.552)
S81

Організаційний комітет конференції:

Голова – Володимир КУХАР, д.т.н., професор, проректор з науково-дослідної роботи.

Секретар – Христина МАЛІЙ, к.т.н., доцент, керівник науково-дослідного департаменту.

Члени комітету:

Володимир ПАШИНСЬКИЙ, д.т.н., доцент, завідувач кафедри матеріалознавства та прикладної механіки;

Ігор БОЙКО, к.т.н., доцент кафедри матеріалознавства та прикладної механіки;

Едуард ГРИБКОВ, д.т.н., професор, завідувач кафедри металургії та організації виробництва;

Юрій ДОБРОНОСОВ, к.т.н., доцент, доцент кафедри металургії та організації виробництва;

Іван САХНО, д.т.н., професор, завідувач кафедри гірничої справи;

Діна МИХАЙЛОВА, викладач кафедри гірничої справи;

Олексій КОЙФМАН, к.т.н., доцент, завідувач кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем;

Юрій ШРАМКО, к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електро- та робототехнічних систем;

Ірина СМІРНОВА, к.е.н., доцент, завідувач кафедри цифрових технологій та проєктно-аналітичних рішень;

Олена ЛАТИШЕВА, к.е.н., доцент кафедри цифрових технологій та проєктно-аналітичних рішень;

Олег КРУЖИЛКО, д.т.н., професор, професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля;

Марина ТАВРЕЛЬ, старший викладач кафедри безпеки праці та охорони довкілля;

Наталія КАЙДАН, к.ф.-м.н., доцент, завідувач кафедри природничо-наукових та загальноінженерних дисциплін;

Наталія ГРУДКІНА, д.т.н., доцент, професор кафедри природничо-наукових та загальноінженерних дисциплін

Start in Science: студентська науково-технічна конференція : збірник тез і анотацій наукових доповідей. – Одеса : Олді+, 2025. – 350 с.

ISBN 978-617-8559-69-4

До збірника увійшли матеріали, у яких обговорюються перспективні науково-технічні розробки молодих науковців прикладного характеру.

УДК 001.892(062.552)

ISBN 978-617-8559-69-4

© ТОВ «ТУ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2025

ЗМІСТ

АНАЛІЗ СКЛАДУ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ НА ПРИКЛАДІ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ <i>Железняк Є. М., Максимова Н. М.</i>	240
РЕЗУЛЬТАТИ ОБРОБКИ ДАНИХ АУДИТУ РОБОЧОГО МІСЦЯ МАШІНІСТА КРАНА <i>Золотарьова І. О., Володченко Н. В., Чеберячко Ю. І.</i>	243
ВПЛИВ ПСИХОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПРАЦІВНИКІВ НА ДОТРИМАННЯ ЗАХОДІВ БЕЗПЕКИ <i>Львіна Д. І., Майстренко В. В.</i>	247
СПОСІБ ЖИТТЯ ЯК МОДИФІКАТОР ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ: ВІД ЗВИЧОК ДО НАСЛІДКІВ <i>Коробкіна Н. А., Шароватова О. П.</i>	251
ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПСИХОСОЦІАЛЬНИМИ РИЗИКАМИ В СТРУКТУРУ ОХОРОНИ ПРАЦІ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ <i>Кравчук І. В., Кружилко О. Є.</i>	254
ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПЕРСОНАЛУ В УМОВАХ ЗАБРУДНЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИМИ ПРЕДМЕТАМИ <i>Кравчук І. В., Кружилко О. Є.</i>	257
ЗАХОДИ З МІНІМІЗАЦІЇ ВПЛИВУ НА ПОВІТРЯ ПРИ НАВАНТАЖУВАЛЬНО- РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБОТАХ НА ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОМУ КОМБІНАТІ <i>Кукса Р. К., Максимова Н. М., Романь А. М.</i>	260
РОЛЬ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПІДВИЩЕННІ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ БЕЗПЕКИ НА ПІДПРИЄМСТВІ <i>Лубінець М. М., Майстренко В. В.</i>	262
ДЕЯКІ ПИТАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ АСПІРАЦІЇ ТА ГАЗООЧИСНОЇ УСТАНОВКИ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА <i>Манахова Г. О., Максимова Н. М., Накемній О. К.</i>	266
АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НА КОКСОХІМІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ <i>Мінченкова А. Г., Накемній О. К.</i>	271
ПОРІВНЯННЯ МОДЕЛЕЙ РОЗЛИВУ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН У КОНТЕКСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОШИРЕННЯ ЗАБРУДНЕНЬ <i>Міняйло Д. О., Чеберячко Ю. І.</i>	275
ОСОБЛИВОСТІ АНАЛІЗУ МІННОЇ НЕБЕЗПЕКИ НА ОСНОВІ РОЗРОБЛЕНОГО КАЛЬКУЛЯТОРА ДЛЯ ОЦІНКИ БЕЗПЕЧНОЇ ДИСТАНЦІЇ <i>Моїсеев Є. О., Чеберячко С. І., Чеберячко Ю. І.</i>	281

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД НА КОКСОХІМІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Мінченкова А. Г.

студентка гр. ТЗ-22-16

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

м. Запоріжжя, Україна

Накемній О. К.

старший викладач кафедри безпеки праці та охорони довкілля

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

м. Запоріжжя, Україна

Коксохімічна промисловість є одним із найбільш ресурсо- та екологічно навантажених секторів металургійного комплексу. Під час коксування кам'яного вугілля утворюються значні об'єми стічних вод, що містять широкий спектр токсичних органічних та неорганічних сполук. Серед них домінують феноли, ціаніди, амонійний азот, нафталінові та смолисті компоненти, які формують високий рівень хімічного та біохімічного споживання кисню. Вплив таких стоків без належного очищення спричиняє деградацію водних екосистем та порушення гідрохімічного режиму природних водойм [1]. У зв'язку з цим підвищення ефективності очищення коксових стічних вод є одним із ключових завдань забезпечення екологічної безпеки промислових територій. Проте складність і мінливість хімічного складу цих стоків вимагають комплексного підходу до вибору технологічних методів. Саме тому важливо розглянути особливості формування стічних вод, систематизувати наявні підходи до їх очищення та визначити напрями модернізації. Логічним продовженням аналізу проблеми є характеристика складу коксових стічних вод, яка дозволяє встановити вимоги до технологічних рішень.

Склад стічних вод коксохімічних підприємств формується під впливом сукупності технологічних процесів, зокрема охолодження коксового газу, уловлювання смолистих фракцій, вилучення аміаку та бензольних компонентів. Ці стоки

характеризуються надзвичайно високою різноманітністю забруднювальних речовин, серед яких органічні сполуки фенольного ряду, смоли, нафталін, а також амонійний азот та ціаністі сполуки. Хімічний склад таких стоків зазвичай супроводжується підвищеними значеннями БСК та ХСК, що ускладнює їх біологічну обробку та потребує поєднання декількох технологічних етапів [2].

Розуміння цих особливостей є ключем до вибору комплексних технологій очищення, оскільки жоден окремий метод не забезпечує повне вилучення всього спектра токсикантів. Виходячи з цього, доцільним є розгляд сучасних схем очищення, які поєднують механічні, фізико-хімічні та біологічні процеси. Такий перехід дозволяє оцінити логіку формування загальної технологічної лінії очищення.

З огляду на складність коксових стоків, їх очищення відбувається поетапно, що забезпечує поступове зниження концентрацій основних груп забруднювачів. Перший етап – механічне очищення – має на меті вилучення грубодисперсних та смолистих частинок, що забезпечує попереднє зниження навантаження на подальші технологічні блоки. Механічне очищення дозволяє зменшити вміст завислих речовин на 40–60 %. Хоч цей етап і не забезпечує значного зниження токсичних компонентів, він створює необхідні умови для ефективного виконання наступних технологічних процесів. Далі стічні води спрямовуються на фізико-хімічне очищення, яке є ключовим для видалення фенолів, аміаку та ціанідів. Найбільш поширеними методами є коагуляція, флотація, екстракція фенолів та реагентне окиснення. Окрім того, інтенсивно застосовується стріппінг аміаку. Завдяки цим процесам ефективність вилучення фенольних сполук може досягати 95 %, а амонійного азоту – понад 80 %. Однак навіть попри високу результативність деякі токсиканти, зокрема ціаніди та тіоціанати, залишаються стійкими до фізико-хімічних перетворень. Логічним продовженням фізико-хімічної обробки є застосування біологічних методів, які забезпечують подальше зниження органічного навантаження завдяки активності мікроорганізмів. Біореактори з активним мулом або біофільтри здатні розкласти значну частину органічних

речовин, зменшуючи ХСК на 70–80 %, а феноли – до рівня менше 1 мг/дм³. Важливою перевагою біологічних методів є можливість нітрифікації та часткової денітрифікації, що сприяє зменшенню азотного навантаження на водні екосистеми. Однак ефективність цього етапу залежить від стабільності параметрів середовища, тому він часто потребує додаткового доочищення, яке зумовлює потребу в сучасніших технологічних рішеннях. На завершальному етапі можна застосовувати адсорбцію на активованому вугіллі, мембранні технології або методи глибокого окиснення. Саме ці процеси забезпечують доведення стічних вод до нормативів, встановлених для скиду в природні водойми. Доочищення є критично важливим, оскільки саме на цьому етапі видаляються ті токсиканти, що залишаються стійкими до попередніх методів [3, 4].

Аналіз наукових і виробничих джерел свідчить, що комбіноване очищення дозволяє досягати таких середніх показників, як зниження концентрації фенолів на 98–99 %, зменшення амонійного азоту на 95–97 %, зниження ХСК на 80–90 %. Водночас наявність складних хімічних сполук, зокрема ціанідів, зумовлює потребу подальшого вдосконалення технологій. Саме на цьому етапі виникає потреба у визначенні перспектив модернізації, що впливає з аналізу обмежень існуючих методів.

Ефективність сучасних схем очищення значною мірою залежить від технологічної гнучкості та здатності адаптуватися до змін складу стоків. У цьому контексті перспективними є такі напрями:

1. Впровадження мембранних біореакторів, які забезпечують одночасне біологічне очищення та мембранну сепарацію, що значно покращує якість очищеної води та підвищує стабільність роботи системи.
2. Застосування процесів глибокого окиснення з метою деструкції стійких органічних сполук і ціанідів.
3. Інтегровані схеми нітрифікації-денітрифікації, що дозволяють досягати нормативних показників за вмістом азоту.
4. Автоматизація управління процесами очищення, включно з он-лайн моніторингом токсикантів.

Реалізація цих напрямів забезпечує можливість підвищення технологічної та екологічної надійності роботи очисних споруд.

Очищення стічних вод коксохімічних підприємств є складним багатоступеневим процесом, який потребує оптимального поєднання різних технологічних рішень. Незважаючи на високі показники вилучення фенолів, амонійного азоту та органічних речовин, традиційні технології виявляються недостатньо ефективними щодо ціанідів та інших стійких токсикантів. Тому модернізація очисних систем із використанням мембранних, окиснювальних та інтегрованих біологічних процесів є ключовою умовою забезпечення екологічної безпеки коксохімічного виробництва та відповідності сучасним екологічним вимогам.

Перелік використаних джерел

1. Шульга І. В., Мірошніченко Д. В., Богоявленська О. В. Основи технології коксування вугілля : посібник. Харків – Тернопіль : НТУ «ХПІ», Видавництво «Крок», 2022. 128 с.
2. Накемпій О. К., Володченкова Н. В. Перспективні методи очищення стічних вод коксового виробництва. *Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки* : збірник матеріалів Двадцять восьмої Всеукраїнської науково-методичної конференції (з участю студентів), м. Київ, 17 травня 2023 року. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. С. 120–122.
3. 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. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 120 с.
4. Накемпій О. К., Романь А. М. Оцінка екологічних ризиків від технологічних процесів коксохімічного виробництва. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2022, № 38 (1–2). С. 49–57. DOI: <https://doi.org/10.36804/nndipbop.38-1-2.2022.49-53>.

Наукове видання

Start in Science

Студентська науково-технічна конференція

Збірник тез і анотацій наукових доповідей

Дизайн обкладинки *В. Савельєва*
Технічний редактор *О. Гринюк*
Верстка *Ю. Семенченко*



Формат 60x84/16.
Гарнітура Cambria.
Ум. друк. арк. 20,34.
Замовлення № 1225-112.

Видавництво та друк: Олді+
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
тел.: +38 (095) 559-45-45, e-mail: office@oldiplus.ua
Свідоцтво ДК № 7642 від 29.07.2022 р.
Замовлення книг:
тел.: +38 (050) 915-34-54, +38 (068) 517-50-33
e-mail: book@oldiplus.ua

