

**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**БІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра загальної та прикладної екології і зоології**

**Кваліфікаційна робота**  
**магістра**

на тему ЕФЕКТИВНІСТЬ ОЧИСНИХ СПОРУД ПРОМИСЛОВИХ СТОКІВ  
ПІВОВАРНИХ ЗАВОДІВ  
EFFICIENCY OF INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN  
BREWERIES

Виконала: Гомон Мар'яна Володимирівна

студентка 2 курсу, групи 81014

спеціальності 101 Екологія

освітньо-професійної програми

Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване  
природокористування / Екологія та охорона навколишнього

Керівник доцент, к.с.г.н Притула Н.М

Рецензент професор, д.б.н Рильський О.Ф.

Запоріжжя – 2025

# ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Біологічний факультет

Кафедра загальної та прикладної екології і зоології

Рівень вищої освіти бакалавр/магістр

Спеціальність 101 Екологія

Освітньо-професійна програма Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування / Екологія та охорона навколишнього середовища

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри загальної та прикладної  
екології і зоології,  
д.б.н., проф.

О.Ф. Рильський

«31» березня 2025 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ

Гомон Мар'яні Володимирівні

- 
1. Тема роботи Ефективність очисних споруд промислових стоків пивоварних заводів  
керівник роботи доцент, доцент, к.с.г.н. Притула Н.М.  
затверджена наказом ЗНУ від « 28» березня 2025 р. № 455-с
  2. Строк подання студентом роботи «08» грудня 2025 року
  3. Вихідні дані до роботи є проведення комплексної еколого-технологічної оцінки ефективності локальних очисних споруд ПрАТ «Карлсберг Україна» на основі емпіричних лабораторних даних та розробка інженерно-управлінських рекомендацій, необхідних для досягнення корпоративної стратегії «НУЛЬ втрат води» та підвищення загальної екологічної безпеки виробництва.
  4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): загальна характеристика об'єкту дослідження та його вплив на довкілля, опис використаних загальнонаукових та спеціальних методів дослідження, методика відбору проб та лабораторного аналізу стічних вод, аналіз та оцінка ефективності роботи існуючих очисних споруд, обробка отриманих

даних та порівняння результатів, розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності очищення стоків.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):  
10 таблиць, 0 рисунків

6. Консультанти розділів роботи

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ   | Прізвище, ім'я, по-батькові<br>та посада консультанта | Підпис, дата      |                     |
|----------|-------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|
|          |                                                       | завдання<br>видав | завдання<br>прийняв |
| Розділ 3 | Рильський О.Ф.д.б.н.,професор                         |                   |                     |

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи                                                                                     | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1.    | Огляд літературних джерел. Написання відповідного розділу роботи.                                                       | березень-квітень              | Виконано |
| 2.    | Вивчення, засвоєння методик дослідження.<br>Написання відповідного розділу роботи.                                      | квітень-травень               | Виконано |
| 3.    | Засвоєння правил техніки безпеки під час виконання експериментальної частини.<br>Написання відповідного розділу роботи. | травень                       | Виконано |
| 4.    | Проведення експериментальних досліджень. Оформлення результатів експерименту                                            | березень-квітень              | Виконано |
| 5.    | Оформлення кваліфікаційної роботи.<br>Передзахист роботи                                                                | жовтень- листопад             | Виконано |
| 6.    | Рецензування кваліфікаційної роботи                                                                                     | грудень                       | Виконано |
| 7.    | Захист кваліфікаційної роботи                                                                                           | грудень                       | Виконано |

Студент (-ка) \_\_\_\_\_ М.В. Гомон

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Н.М. Притула

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ Н.М. Притула

## РЕФЕРАТ

В роботі 73 сторінок, 10 таблиць, було використано 52 літературних джерела, із них 24 іноземною мовою.

Об'єктом дослідження є Приватне акціонерне товариство «Карлсберг Україна» (ПрАТ «Карлсберг Україна»).

Предметом дослідження є ефективність технологічних процесів очищення висококонцентрованих стічних вод пивоварного виробництва.

Методи досліджень: аналіз і синтез, порівняння, документальний аналіз, лабораторний експеримент, статистичний аналіз.

Метою кваліфікаційної роботи є проведення комплексної еколого-технологічної оцінки ефективності локальних очисних споруд ПрАТ «Карлсберг Україна».

Теоретично та експериментально визначено:

1. Склад неочищених стічних вод ПрАТ «Карлсберг Україна».
2. Високу ефективність існуючих ЛОС у видаленні органічних забруднень та відповідність ефлюенту національним нормативам скиду.
3. Технологічний розрив між досягнутою якістю очищеної води та корпоративними вимогами для високоякісного рециклінгу.
4. Проаналізовано стан охорони праці та виявлено ключові ризики пивоварного виробництва, а також запропоновано інженерно-управлінські рекомендації.

ЕКОЛОГІЯ, ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД, ПИВОВАРЕННЯ, БСК, ХСК,  
РЕЦИКЛІНГ, ОХОРОНА ПРАЦІ, СТІЙКИЙ РОЗВИТОК

## ABSTRACT

In the work, there are 75 pages, 10 tables and 52 literary sources were used, 24 of which are in a foreign language .

The object of the study is the Private Joint Stock Company «Carlsberg Ukraine».

The subject of the study is the effectiveness of technological processes for the purification of highly concentrated wastewater from brewing production.

Research methods: analysis and synthesis, comparison, documentary analysis, laboratory experiment and statistical analysis.

The purpose of the qualification work is to conduct a comprehensive environmental and technological assessment of the effectiveness of the local treatment facilities of PrJSC «Carlsberg Ukraine».

Theoretically and experimentally determined:

1. The composition of untreated wastewater of PrJSC «Carlsberg Ukraine».
2. The high efficiency of the existing LTFs in removing organic pollutants and the compliance of the effluent with national discharge standards.
3. A technological gap between the achieved quality of purified water and the corporate requirements for high-quality recycling .
4. The state of occupational safety was analysed and key risks of brewing production were identified , and engineering and management recommendations were proposed.

ECOLOGY, WASTEWATER TREATMENT, BREWING, BOD, COD, RECYCLING, OCCUPATIONAL SAFETY, SUSTAINABLE DEVELOPMENT.

## ЗМІСТ

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І<br>ТЕРМІНІВ .....               | 7  |
| ВСТУП.....                                                                                | 8  |
| РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....                                                  | 11 |
| 1.1 Загальна характеристика промислових стоків пивоварних заводів.....                    | 11 |
| 1.2 Існуючі методи та технології очищення стічних вод у пивоварній<br>промисловості ..... | 16 |
| 1.3 Закордонний та вітчизняний досвід у сфері очищення промислових стоків<br>.....        | 22 |
| РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....                                            | 29 |
| 2.1 Загальна характеристика об'єкту дослідження та його вплив на довкілля                 | 29 |
| 2.2 Опис використаних загальнонаукових та спеціальних методів дослідження<br>.....        | 31 |
| 2.3 Методика відбору проб та лабораторного аналізу стічних вод.....                       | 33 |
| РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....                                                   | 36 |
| 3.1 Аналіз та оцінка ефективності роботи існуючих очисних споруд.....                     | 36 |
| 3.2 Обробка отриманих даних та порівняння результатів .....                               | 40 |
| 3.3 Розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності очищення стоків                    | 44 |
| РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ<br>.....                       | 47 |
| 4.1 Аналіз стану охорони праці на об'єкті дослідження .....                               | 47 |
| 4.2 Заходи щодо забезпечення екологічної безпеки на підприємстві.....                     | 51 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                             | 55 |
| ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ .....                                                              | 59 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....                                                                    | 67 |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ЛОС – Локальні очисні споруди;  
ПрАТ – Приватне акціонерне товариство;  
МОН – Міністерство освіти і науки (України);  
БСК – Біохімічне споживання кисню (BOD);  
ХСК – Хімічне споживання кисню (COD);  
ЗР – Завислі речовини (TSS);  
CIP – Clean-in-Place (безрозбірна мийка);  
DAF – Dissolved Air Flotation (Напірна флотація);  
MBR – Membrane BioReactor (Мембранний біореактор);  
RO – Reverse Osmosis (Зворотний осмос);  
UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Анаеробний реактор з висхідним потоком та шаром мулу);  
MBBR – Moving Bed Biofilm Reactor (Біореактор з рухомим завантаженням);  
TTZ – Together Towards ZERO («Разом до НУЛЯ»);  
TTZAB – Together Towards ZERO and Beyond («Разом до НУЛЯ і далі»);  
СУОП – Система управління охороною праці;  
ОП – Охорона праці;  
ЗІЗ – Засоби індивідуального захисту;  
ГДК – Гранично допустима концентрація;  
N – Азот (Загальний Азот);  
P – Фосфор (Загальний Фосфор);  
pH – Водневий показник;  
 $\eta$  – Ефективність видалення забруднюючих речовин (ККД);  
CV – Коефіцієнт варіації (Coefficient of Variation);  
мг O<sub>2</sub>/л – Міліграми кисню на літр (одиниця виміру для ХСК та БСК);  
мг/л – Міліграми на літр (одиниця виміру для ЗР, N та P);  
°C – Градуси Цельсія (одиниця виміру температури);  
мг – Міліграми;  
л – Літр;  
BOD/COD – Співвідношення біохімічного до хімічного споживання кисню.

## ВСТУП

*Актуальність дослідження.* Сучасний розвиток промисловості та зростаючі вимоги до екологічної безпеки вимагають від підприємств, особливо водоемних, переходу до принципів циркулярної економіки та сталого водокористування. Пивоварна промисловість, як одна з найбільших галузей харчової індустрії, генерує значні обсяги висококонцентрованих стічних вод, що характеризуються високим органічним навантаженням (ХСК та БСК) та екстремальними коливаннями рН.

Для транснаціональних компаній, таких як Carlsberg Group, це стало стратегічним викликом, що відображено у глобальній програмі «Together Towards ZERO and Beyond» з ключовою амбіцією «НУЛЬ втрат води». Реалізація цієї стратегії вимагає не просто дотримання національних нормативів скиду (ГДК), а впровадження передових технологій доочищення (MBR, RO) для забезпечення високоякісного рециклінгу води.

Таким чином, актуальність роботи визначається необхідністю комплексної еколого-технологічної оцінки існуючих локальних очисних споруд (ЛОС) ПрАТ «Карлсберг Україна» та розробкою науково обґрунтованих інженерно-управлінських рекомендацій, які дозволять подолати технологічний розрив між поточною ефективністю очищення та вимогами корпоративної стратегії щодо рециклінгу.

*Метою кваліфікаційної роботи* є проведення комплексної еколого-технологічної оцінки ефективності локальних очисних споруд ПрАТ «Карлсберг Україна» на основі емпіричних лабораторних даних та розробка інженерно-управлінських рекомендацій, необхідних для досягнення корпоративної стратегії «НУЛЬ втрат води» та підвищення загальної екологічної безпеки виробництва.

Для досягнення поставленої мети було сформовано та виконано такі завдання:

1. Проаналізувати літературні джерела та систематизувати міжнародний та вітчизняний досвід у сфері очищення стічних вод пивоварної промисловості, включаючи передові технології (UASB, MBR, RO, DAF).

2. Надати загальну характеристику об'єкта дослідження (ПрАТ «Карлсберг Україна»), оцінити його вплив на довкілля та описати використані загальнонаукові та спеціальні методи дослідження.

3. Провести лабораторний аналіз основних показників якості стічних вод (ХСК, БСК<sub>5</sub>, ЗР, N, P, рН) на вході та виході з ЛОС відповідно до стандартизованих методик.

4. Здійснити статистичну обробку та порівняльну оцінку ефективності роботи ЛОС із національними нормативами скиду (ГДК) та корпоративними вимогами для рециклінгу.

5. Проаналізувати стан охорони праці та розробити заходи щодо забезпечення екологічної безпеки та ефективного управління основними органічними відходами підприємства.

6. Обґрунтувати та розробити інженерно-технологічні та управлінські рекомендації для оптимізації процесів очищення, подолання технологічного розриву та досягнення цілей стратегії «НУЛЬ втрат води».

*Об'єктом дослідження* є Приватне акціонерне товариство «Карлсберг Україна» (ПрАТ «Карлсберг Україна»), зокрема функціонування його локальних очисних споруд (ЛОС).

*Предметом дослідження* є ефективність технологічних процесів очищення висококонцентрованих стічних вод пивоварного виробництва, якість очищеного ефлюенту, його відповідність національним нормативам скиду та вимогам для технологічного рециклінгу, а також система управління охороною праці та екологічна безпека підприємства.

*Методи дослідження.* У роботі використано комплексний підхід, що включає: теоретичні методи (аналіз і синтез, порівняння, індукція), емпіричні методи (документальний аналіз корпоративних звітів, лабораторний експеримент – хімічний аналіз проб стічних вод) та математичні методи.

*Наукова новизна одержаних результатів* полягає в наступному:

- вперше проведено комплексну кількісну оцінку функціонування ЛОС вітчизняного пивоварного підприємства, інтегровану з аналізом виконання глобальної корпоративної екологічної стратегії;
- експериментально підтверджено наявність технологічного розриву між досягнутою якістю очищення (відповідність ГДК) та вимогами для високоякісного рециклінгу (які вимагають, наприклад,  $XCK \leq 50$  мг/л для мийки), що дозволило обґрунтувати необхідність впровадження третинних методів доочищення (MBR+RO);
- науково обґрунтовано інженерно-управлінські рекомендації для подолання логістичного бар'єра утилізації органічних відходів (пивної дробини), спричиненого її коротким терміном зберігання, що підвищує екологічну та фінансову стійкість виробництва.

*Практичне застосування.* Розроблені інженерно-управлінські рекомендації можуть бути використані керівництвом ПрАТ «Карлсберг Україна» для планування капітальних інвестицій у модернізацію ЛОС (впровадження MBR/RO) та оптимізації управління органічними відходами (консервація дробини) з метою досягнення стратегічної цілі «НУЛЬ втрат води».

*Рекомендації для використання.* Результати аналізу якості ефлюенту та статистичної оцінки можуть слугувати науковою основою для розробки внутрішніх стандартів якості води для її рециклінгу.

Основні положення та результати дослідження доповідалися й обговорювалися на I Всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні проблеми та перспективи розвитку природничих, медичних та фармацевтичних наук» (2025) та IV Міжнародній науково-практичній конференції «Природничі науки та освіта: сучасний стан і перспективи розвитку» (2024).

За матеріалами дослідження опубліковано 2 друкованих праць: 2 тез і 0 статей за матеріалами наукових конференцій.

## РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1 Загальна характеристика промислових стоків пивоварних заводів

Пивоварна промисловість, будучи однією з основних галузей харчової промисловості, характеризується значним водоспоживанням та, як наслідок, утворенням великих об'ємів висококонцентрованих стічних вод. Ефективне управління цими стоками є критично важливим завданням не лише для дотримання екологічних норм, але й для забезпечення економічної стійкості та сталого розвитку підприємств. Стічні води пивоварних заводів мають унікальний та складний склад, що зумовлено специфікою технологічних процесів. Вони містять високі концентрації органічних речовин, значну кількість завислих часток та характеризуються екстремальними коливаннями фізико-хімічних параметрів, що створює значні виклики для систем очищення.

Процес виробництва пива є надзвичайно водомістким, де обсяги спожитої води значно перевищують обсяги виробленої продукції. Цей дисбаланс є головним фактором, що визначає масштаби проблеми стічних вод у галузі. Наукові дані свідчать, що для виробництва 1000 дал пива в середньому використовується 175,4 м<sup>3</sup> води, з яких 74,3 м<sup>3</sup> перетворюються на стічні води. Інші джерела вказують, що на кожен вироблений барель пива припадає від двох до семи барелів стічних вод, що означає, що приблизно 70% усієї води, що використовується у виробничому процесі, стає стоками [20; 51].

Стічні води пивоварних підприємств є різнорідними і формуються на різних етапах технологічного циклу. Їх можна класифікувати на три основні групи: забруднені виробничі води, умовно-чисті виробничі води (переважно від охолодження агрегатів) та побутові стічні води. Основні джерела утворення виробничих стоків включають [20; 34; 41; 45]:

1. Виробництво солоду. Цей етап включає замочування та промивання ячменю, що призводить до утворення стоків, збагачених органічними

речовинами, що вимиваються із зерна. На виробництво 1 тонни солоду витрачається близько 27,2 м<sup>3</sup> води, з яких 17,8 м<sup>3</sup> відводяться у стоки.

2. Варильний цех. На цьому етапі утворюються стоки від промивання обладнання, такого як заторні чани та фільтр-чани, а також від видалення гарячого трубу – осаду, що складається з коагульованих білків та поліфенолів.

3. Ферментація, дозрівання та фільтрація. Ці процеси є джерелом найбільш концентрованих стоків. Вони утворюються під час промивання ферментаційних танків, видалення відпрацьованих дріжджів, холодного трубу та залишків пива. Важливо зазначити, що хоча ці стоки становлять лише близько 3% від загального об'єму стічних вод, на них припадає до 97% загального біохімічного споживання кисню (БСК), що робить їх основним джерелом органічного забруднення.

4. Цех розливу та пакування. Значні об'єми води використовуються для миття пляшок, кегів та ліній розливу. На цьому етапі широко застосовуються процеси безрозбірної мийки (CIP – Clean-in-Place), що включають використання концентрованих кислотних та лужних розчинів для дезінфекції, що призводить до утворення стоків з екстремальними значеннями рН. Також у стоки потрапляють залишки продукції, етикетки та інші дрібні тверді частинки.

Розуміння джерел та об'ємів стоків на кожному етапі виробництва є критично важливим для розробки стратегій мінімізації їх утворення, а також для впровадження систем сегрегації потоків, що дозволяє окремо обробляти високо- та низькоконцентровані стоки, підвищуючи загальну ефективність очищення.

Стічні води пивоварних заводів характеризуються високим вмістом органічних забруднень, що знаходяться у формі розчинів, колоїдів та зависей. Їх склад є прямим відображенням сировини та матеріалів, що використовуються у виробництві.

1. Органічне навантаження. Це найважливіший показник, що визначає потенційний вплив стоків на навколишнє середовище. Основними органічними компонентами є цукри, що не перебродили, розчинний крохмаль, етанол, леткі жирні кислоти, білки та продукти їх розпаду. Рівень органічного забруднення вимірюється за допомогою двох ключових показників:

– хімічне споживання кисню (ХСК або COD). Цей показник відображає загальну кількість кисню, необхідного для хімічного окислення всіх органічних та неорганічних речовин у воді. Для стічних вод пивоварень типові значення ХСК коливаються в діапазоні від 2000 до 6000 мг  $O_2$ /л. Деякі дослідження фіксують середні значення на рівні 5341 мг  $O_2$ /л з піковими концентраціями, що досягають 8926 мг  $O_2$ /л;

– біохімічне споживання кисню (БСК або BOD). Цей показник визначає кількість кисню, яку споживають мікроорганізми для біохімічного розкладання органічних речовин. Типові значення БСК<sub>5</sub> (за 5 діб) знаходяться в межах 1200-3600 мг  $O_2$ /л, із середніми значеннями близько 3215 мг  $O_2$ /л. Ці показники в десятки разів перевищують рівень БСК для побутових стічних вод, який становить приблизно 300 мг  $O_2$ /л.

2. Завислі речовини (ЗР або TSS). Високий вміст завислих речовин є ще однією характерною рисою. Вони складаються переважно з відпрацьованого зерна, хмелю, дріжджів, трубу та діатомової землі (кізельгуру), що використовується для фільтрації. Концентрація ЗР зазвичай коливається від 200 до 1000 мг/л, хоча деякі вимірювання показують середні значення на рівні 1827 мг/л. Ці тверді частинки легко осідають, утворюючи мул, що може призвести до блокування каналізаційних мереж.

3. Кислотність (pH). Однією з найбільших проблем для очисних споруд є екстремальна мінливість pH. Протягом доби значення pH можуть коливатися в широкому діапазоні від 2 до 12. Такі різкі коливання безпосередньо пов'язані з циклами СІР. Використання каустичної соди (NaOH) для лужної мийки призводить до різкого підвищення pH, тоді як застосування кислот, таких як фосфорна ( $H_3PO_4$ ) та нітратна ( $HNO_3$ ), для видалення мінеральних відкладень (пивного каменю) спричиняє різке падіння pH.

4. Температура. Стічні води пивоварень часто мають підвищену температуру, що коливається в діапазоні від 18 до 40 °С. Це зумовлено скиданням гарячої води після кип'ятіння сусла, пастеризації та гарячих циклів СІР [25; 40; 44; 51].

Поєднання високого органічного навантаження з різкими коливаннями рН є небезпечним для біологічних очисних систем. Мікробні популяції, які є основою біологічного очищення, надзвичайно чутливі до таких шоків навантажень. Без належної попередньої обробки, зокрема усереднення потоку та нейтралізації рН, стабільна та ефективна робота біологічних реакторів стає практично неможливою. Таким чином, мінливість стоків є основним викликом, що визначає конфігурацію всієї системи очищення.

Окрім органічних речовин та зависей, стічні води пивоварень містять біогенні елементи – азот та фосфор, які є важливими для біологічних процесів, але їх надлишок може спричинити евтрофікацію водойм.

1. Азот (N) та Фосфор (P). Концентрації цих елементів залежать від обробки сировини (ячмінь багатий на білки, що містять азот) та кількості відпрацьованих дріжджів у стоках. Типові концентрації загального азоту становлять 25-80 мг/л, а загального фосфору 10-50 мг/л. Важливим фактором, що впливає на вміст фосфору, є використання фосфоровмісних мийних засобів, зокрема фосфорної кислоти. Це може призводити до того, що концентрація фосфору в стічних водах пивоварень у 10 разів перевищує його вміст у побутових стоках [44; 45].

2. Важкі метали та інші мікрозабрудники. Хоча важкі метали не є основним забрудником для цієї галузі, деякі дослідження виявляють у стоках слідові кількості таких металів, як свинець (Pb), хром (Cr), кадмій (Cd) та залізо (Fe). Їх поява може бути пов'язана з корозією обладнання, складом сировини або допоміжними матеріалами. Хоча їх концентрації зазвичай низькі, необхідність їх моніторингу не слід ігнорувати, особливо при скиданні очищених стоків у чутливі водні об'єкти [30; 45].

Важливою властивістю стічних вод пивоварних заводів, що визначає підхід до їх очищення, є високий ступінь біодеградабельності органічних забруднень. Цей параметр кількісно оцінюється за співвідношенням БСК до ХСК (BOD/COD) [21; 52].

Для стічних вод пивоварень це співвідношення є стабільно високим і зазвичай становить 0,6-0,7. Вважається, що якщо співвідношення BOD/COD перевищує 0,5, то органічні речовини у стічній воді легко піддаються біологічному розкладанню, що робить біологічні методи очищення найбільш доцільними та ефективними [26; 40].

Саме ця властивість змінює систему управління стоками. Замість того, щоб розглядати високе органічне навантаження виключно як проблему, його слід сприймати як потенційний ресурс. Органічні речовини, що становлять високе БСК, є, по суті, джерелом хімічної енергії. При скиданні у водойми цей енергетичний потенціал реалізується у вигляді поглинання розчиненого кисню, що призводить до загибелі водної фауни та флори. Однак, якщо ці ж самі стоки спрямувати в анаеробний біореактор, мікроорганізми можуть перетворити цю органіку на біогаз (метан), цінне відновлюване джерело енергії. Таким чином, головний забрудник (БСК) перетворюється на цінний актив (енергію).

Нижче наведено узагальнену таблицю 1.1 головних показників стічних вод пивоварних заводів, складену на основі аналізу наукових джерел.

Таблиця 1.1 – Узагальнені фізико-хімічні показники стічних вод пивоварних заводів

| Показник                             | Одиниця виміру       | Типовий діапазон | Середнє значення |
|--------------------------------------|----------------------|------------------|------------------|
| pH                                   | -                    | 2.0 – 12.0       | 4.0 – 7.0        |
| Температура                          | °C                   | 18 – 40          | 25 – 35          |
| ХСК (COD)                            | мг O <sub>2</sub> /л | 1096 – 8926      | 5341             |
| БСК <sub>5</sub> (BOD <sub>5</sub> ) | мг O <sub>2</sub> /л | 1200 – 3980      | 3215             |
| Завислі речовини (TSS)               | мг/л                 | 200 – 3728       | 1827             |
| Загальний Азот (N)                   | мг/л                 | 25 – 80          | -                |
| Загальний Фосфор (P)                 | мг/л                 | 10 – 50          | 23.7             |
| Співвідношення БСК/ХСК               | -                    | 0.6 – 0.7        | -                |

Отже, з узагальнених даних таблиці 1.1 видно, що стічні води пивоварних заводів характеризуються значними коливаннями фізико-хімічних показників, зокрема рН, температури та концентрацій органічних речовин. Високі значення ХСК і БСК<sub>5</sub> свідчать про значне навантаження органічних сполук, що потребує ефективного очищення перед скиданням у водні об'єкти. Підвищений вміст завислих речовин, азоту та фосфору вказує на потенційний ризик евтрофікації водойм. Загалом, аналіз підтверджує, що стічні води пивоварних підприємств мають складний склад і вимагають комплексних методів очищення для мінімізації негативного впливу на довкілля.

## 1.2 Існуючі методи та технології очищення стічних вод у пивоварній промисловості

Очищення висококонцентрованих та нестабільних стічних вод пивоварної промисловості вимагає комплексного, багатостадійного підходу. Не існує єдиної технології, здатної самотійно забезпечити необхідний ступінь очищення. Натомість, ефективна система є логічно побудованою послідовністю фізичних, хімічних та біологічних процесів, де кожна стадія виконує свою специфічну функцію, готуючи воду для наступного етапу. Сучасна інженерна філософія в цій галузі пройшла еволюцію від простих систем, орієнтованих лише на зниження органічного навантаження, до складних інтегрованих комплексів, спрямованих на відновлення ресурсів – води та енергії.

Попередня та механічна очистка є першим і абсолютно необхідним етапом, що закладає основу для стабільної та ефективної роботи всієї очисної споруди. Основна мета цієї стадії – видалення грубодисперсних домішок та стабілізація потоку.

1. Проціджування (скринінг). Це найперший бар'єр, призначений для видалення великих твердих включень, таких як залишки зерна, хмелю, скла,

етикеток, пластику та кришок. Для цього використовуються механічні решітки та сита з різним розміром отворів. Цей процес захищає насоси, трубопроводи та інше обладнання від пошкоджень та засмічення.

2. Видалення піску. Після проціджування стоки можуть направлятися в пісковловлювачі, де за рахунок гравітації осідають дрібні, але щільні неорганічні частинки, такі як пісок, гравій та дрібні уламки скла.

3. Усереднення потоку. Це, мабуть, найважливіший етап попередньої обробки для пивоварних стоків. Враховуючи їхню екстремальну мінливість за об'ємом, концентрацією забруднень та рН, що було детально описано в підрозділі 1.1, усереднення є критично необхідним. Процес відбувається у великих резервуарах-усереднювачах, де стоки, що надходять у різний час, змішуються. Це дозволяє згладити пікові навантаження та створити більш гомогенний та стабільний потік, що подається на подальші стадії очищення. Стабілізація потоку є запорукою здоров'я та ефективності біологічних систем, які не здатні ефективно працювати в умовах постійних стресових змін [4; 33].

Після механічного очищення стоки все ще містять велику кількість розчинених та колоїдних забруднень. Фізико-хімічні методи спрямовані на подальшу стабілізацію води та видалення дрібнодисперсних і колоїдних часток.

1. Нейтралізація рН. Враховуючи коливання рН від 2 до 12, його коригування до нейтрального діапазону (зазвичай 6.0-9.0) є обов'язковою умовою перед біологічним очищенням або скиданням у муніципальну каналізацію. Процес здійснюється в реакторах з перемішуванням шляхом дозування кислот (наприклад, оцтової, лимонної або сірчаної) для зниження високого рН або лугів (наприклад, вапна, гідроксиду натрію) для підвищення низького рН.

2. Коагуляція та флокуляція. Ці процеси використовуються для видалення колоїдних та дрібнодисперсних частинок, які не осідають під дією гравітації. На стадії коагуляції у воду додають хімічний реагент-коагулянт (наприклад, сульфат алюмінію, хлорид заліза, поліалюмінійхлорид – РАС), який дестабілізує колоїдні частинки, змушуючи їх злипатися. На стадії флокуляції додають флокулянт (зазвичай високомолекулярний полімер), який допомагає цим мікроагрегатам

об'єднуватися у більші, важчі пластівці (флокули), що легко видаляються шляхом відстоювання або флотації. Дослідження показують, що цей метод є високоефективним для видалення завислих речовин (до 87%), фосфору (до 96%) та ортофосфатів (до 99,6%), однак його ефективність щодо видалення розчиненої органіки (ХСК) є обмеженою і становить близько 27%.

3. Напірна флотація (Dissolved Air Flotation – DAF). Це передовий та високоефективний метод розділення фаз, що є альтернативою традиційному відстоюванню. Принцип полягає в насиченні частини очищеної води повітрям під високим тиском з подальшим її змішуванням з вихідним потоком у флотаційній камері. При різкому зниженні тиску розчинене повітря виділяється у вигляді мільйонів мікроскопічних бульбашок, які прилипають до завислих частинок (флокул) і піднімають їх на поверхню, утворюючи пінний шар (флотошлам). Цей шлам знімається скребковим механізмом. Системи DAF здатні видаляти до 99% завислих речовин, що, в свою чергу, може знизити навантаження по БСК/ХСК на наступну біологічну стадію на 50% [27; 28; 47; 48].

Біологічне очищення є основним етапом, на якому відбувається основне видалення розчинених органічних забруднень (БСК). Вибір конкретної біологічної технології залежить від багатьох факторів, зокрема від масштабу виробництва, вимог до якості очищеної води та економічних міркувань.

#### 1. Аеробні процеси (в присутності кисню):

- Принцип: в аеробних умовах спеціальні мікроорганізми (аеробний активний мул) використовують органічні забруднення як джерело живлення, окислюючи їх у присутності кисню до вуглекислого газу, води та нової біомаси (надлишкового мулу);

#### – Технології:

- 1) Активний мул (Activated Sludge). Класична технологія, що передбачає аерацію стічних вод у великих резервуарах (аеротенках). Метод надійний, але вимагає значних площ та великих енерговитрат на аерацію.

- 2) Реактори періодичної дії (Sequencing Batch Reactor – SBR): Модифікація процесу з активним мулом, де всі етапи (наповнення, аерація, відстоювання,

злив) відбуваються послідовно в одному резервуарі. Це робить систему більш компактною та гнучкою до змінних навантажень.

3) Біореактор з рухомим завантаженням (Moving Bed Biofilm Reactor – MBBR). Сучасна високоефективна технологія, де мікроорганізми ростуть у вигляді біоплівки на поверхні спеціальних пластикових носіїв, що вільно плавають в аеротенку. Ці носії забезпечують величезну захищену поверхню для розвитку біомаси (понад  $5500 \text{ м}^2/\text{м}^3$  для деяких типів носіїв), що дозволяє значно зменшити об'єм реактора, підвищити концентрацію активної біомаси та зробити систему більш стійкою до шоків навантажень.

– Недоліки: головними недоліками аеробних систем є високе споживання електроенергії для подачі кисню та утворення значної кількості надлишкового активного мулу, який потребує подальшої обробки та утилізації.

## 2. Анаеробні процеси (без кисню):

– Принцип: в анаеробних умовах консорціум різних видів бактерій послідовно розкладає складні органічні молекули до простіших сполук і, зрештою, до біогазу – суміші метану ( $\text{CH}_4$ ) та вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ).

– Технології:

1) Анаеробні реактори з висхідним потоком та шаром мулу (Upflow Anaerobic Sludge Blanket – UASB). Це високопродуктивна система, що ідеально підходить для очищення концентрованих промислових стоків, таких як пивоварні. Вона забезпечує ефективне видалення основної частини органічного навантаження.

– Переваги: анаеробні процеси мають низку фундаментальних переваг: значно нижче (практично нульове) енергоспоживання на аерацію; утворення біомаси (мулу) до 90% менше, ніж в аеробних системах; і, найголовніше, виробництво цінного біогазу, який можна використовувати на підприємстві для виробництва тепла або електроенергії, перетворюючи відходи на доходи.

3. Комбіновані анаеробно-аеробні схеми. Цей підхід є сучасним стандартом для великих пивоварних заводів і являє собою синергетичне поєднання обох методів. На першому, анаеробному, етапі видаляється 60–90%

ХСК з одночасною генерацією енергії. На другому, аеробному, етапі відбувається «полірувальне» доочищення, тобто видалення залишкового БСК та біогенних елементів (азоту, фосфору) для досягнення суворих нормативів на скид. Така схема поєднує енергетичну ефективність та низьке утворення мулу анаеробного процесу з високою якістю очищення аеробного процесу. Ця еволюція від окремих технологій до інтегрованих систем демонструє логічний прогрес інженерної думки, спрямований на максимальну ефективність та ресурсозбереження [1; 2; 29; 32].

Для досягнення найвищих стандартів очищення та реалізації концепції замкненого водокористування застосовуються передові технології.

1. Мембранний біореактор (Membrane BioReactor – MBR). Ця технологія поєднує процес з активним мулом та мембранну фільтрацію (ультра - або мікрофільтрацію), яка замінює традиційний вторинний відстійник. Мембрани повністю затримують всю біомасу та завислі частинки, що дозволяє підтримувати в реакторі значно вищі концентрації активного мулу. Результатом є надзвичайно висока якість очищеної води (ефлюенту), вільної від завислих речовин, що робить її придатною для повторного використання або подальшого глибокого очищення.

2. Зворотний осмос (Reverse Osmosis – RO). Цей процес використовується як фінальна стадія для знесолення води після MBR. Мембрани зворотного осмосу затримують розчинені солі, іони та мікромолекули, виробляючи воду, якість якої наближається до дистильованої. Така вода може бути повторно використана в технологічних процесах, що не контактують з продуктом, наприклад, для мийки обладнання, в градирнях (системах охолодження) та для живлення парових котлів.

3. Кавітаційна обробка. Це інноваційна технологія, що активно досліджується в Україні. Вона базується на явищі кавітації (утворення та колапсу мікробульбашок), що створюється за допомогою ультразвуку або гідродинамічних пристроїв. Інтенсивні локальні тиски та температури, що виникають при колапсі бульбашок, руйнують клітинні стінки мікроорганізмів

(наприклад, дріжджів) та складні органічні молекули. Дослідження демонструють високу ефективність (до 90% видалення дріжджів за допомогою ультразвуку) та потенціал для інтенсифікації процесів очищення [14; 19; 50].

Вибір технології очищення значною мірою залежить від масштабу пивоварні. Великі заводи мають економічні стимули для інвестицій у капіталомісткі анаеробні системи з подальшим доочищенням, оскільки довгострокова економія на енергії та утилізації мулу окупує початкові витрати. Натомість малі крафтові пивоварні через обмежений бюджет та площі змушені обирати більш компактні та менш дорогі рішення, такі як MBBR або DAF, що орієнтовані насамперед на дотримання нормативів, а не на відновлення ресурсів. Це створює чітку дивергенцію технологічних шляхів у галузі.

Наведена нижче таблиця 1.2 надає порівняльний аналіз основних доступних технологій, оцінюючи їх за принципом дії, ефективністю, основними перевагами та недоліками, щоб полегшити обґрунтований вибір.

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика основних технологій біологічного очищення стічних вод пивоварень

| Технологія   | Принцип дії                                       | Ефективність видалення ХСК, % | Переваги                                                          | Недоліки                                                  | Типовий масштаб застосування      |
|--------------|---------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Активний мул | Аеробне окислення органіки суспендованою біомасою | 85-95                         | Надійність, добре вивчена технологія                              | Високі енерговитрати, великі площі, значне утворення мулу | Великі та середні пивоварні       |
| MBBR         | Аеробне окислення біоплівкою на рухомих носіях    | 90-98                         | Дуже компактний, висока стійкість до шоків, простота експлуатації | Високі енерговитрати, вартість носіїв                     | Малі, середні та великі пивоварні |

## Продовження таблиці 1.2

|                               |                                                  |       |                                                                           |                                                               |                             |
|-------------------------------|--------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| UASB<br>(Анаеробна)           | Анаеробний розклад органіки з утворенням біогазу | 60-90 | Виробництво енергії (біогаз), низьке утворення мулу, низькі енерговитрати | Потребує доочищення, чутливість до токсикантів, довший запуск | Великі та середні пивоварні |
| Інтегрована Анаеробно-Аеробна | Послідовне анаеробне та аеробне очищення         | >98   | Висока якість очищення, виробництво енергії, низьке утворення мулу        | Висока капітальна вартість, складність системи                | Великі пивоварні            |

Отже, результати, узагальнені в таблиці 1.2, показують, що всі розглянуті технології біологічного очищення мають високий потенціал ефективності, проте різняться за енергозатратами, вартістю впровадження та рівнем технологічної складності. Традиційна система з активним мулом залишається перевіреним і надійним варіантом, хоча й потребує значних ресурсів. Технологія MBBR вирізняється компактністю та стабільністю, що робить її універсальною для підприємств різного масштабу. Анаеробні системи типу UASB є привабливими з енергетичної точки зору, проте вимагають доочищення. Найвищу ефективність демонструють інтегровані анаеробно-аеробні установки, які поєднують переваги обох процесів, однак потребують значних капіталовкладень і високого рівня технічного обслуговування. Таким чином, вибір оптимальної технології має базуватися на масштабі виробництва, доступних ресурсах та екологічних вимогах.

### 1.3 Закордонний та вітчизняний досвід у сфері очищення промислових стоків

Теоретичний аналіз технологій очищення набуває практичного значення лише при розгляді реальних прикладів їх впровадження. Світова практика демонструє, що вибір конкретної стратегії управління стічними водами не є

універсальним, а значною мірою визначається регіональними факторами: жорсткістю екологічного законодавства, економічними стимулами, корпоративною політикою сталого розвитку та масштабом виробництва. Аналіз досвіду різних країн дозволяє виявити глобальні тренди, порівняти рушійні сили, що формують технологічні рішення, та визначити місце вітчизняних наукових розробок у цьому контексті.

В Україні дослідження у сфері очищення стічних вод пивоварної промисловості ведуться в кількох наукових центрах. Зокрема, значний внесок роблять науковці Національного університету «Львівська політехніка». Їхні роботи зосереджені на розробці комплексних схем очищення, які б відповідали умовам українських підприємств.

В одній з робіт пропонується багатостадійна технологія, що включає послідовне застосування механічного, фізико-хімічного (флотація або коагуляція) та біологічного очищення з фінальним знезараженням. Дослідження показали, що застосування флотації з використанням сульфату заліза(II) дозволяє досягти ступеня очищення близько 80%, а коагуляція з подальшим додаванням флокулянту – до 72%. Однак, оскільки цих показників недостатньо для безпечного скиду, обов'язковим є подальше біологічне доочищення, яке може тривати до 25 діб в аеробних умовах або комбіновано 12 діб в анаеробних та 10 в аеробних умовах [14; 26].

Особливий інтерес становить інноваційна двостадійна технологія, розроблена спеціально для крафтових пивоварень, які є важливим і зростаючим сегментом ринку. Ця технологія спрямована на обробку найбільш концентрованих дріжджових стоків і включає:

1. Перша стадія. Фільтрування стоків через шар пивної дробини (відпрацьованого солоду). Цей підхід є прикладом використання одного відходу для обробки іншого. Фільтрація через дробину дозволяє знизити біологічне забруднення майже у 200 разів та зменшити вміст органіки на 60%.

2. Друга стадія. Кавітаційна обробка відфільтрованих стоків. Досліджувалися різні методи створення кавітаційного поля, які показали різну

ефективність видалення дріжджів: ультразвук – 90%, віброрезонансний вплив – 80%, насос-кавітатор – 60%.

Ці вітчизняні розробки є надзвичайно важливими. На відміну від домінуючих у світі біологічних методів, дослідження кавітації пропонують альтернативний, фізичний шлях інтенсифікації процесу очищення. Якщо ця технологія буде успішно комерціалізована, вона може запропонувати компактне, високоінтенсивне та потенційно менш капіталомістке рішення, що ідеально підходить для малих та середніх виробників, які часто обмежені у площах та фінансових ресурсах. Це позиціонує українську науку не як наздоганяючу, а як потенційного інноватора для специфічної, але швидкозростаючої ринкової ніші.

У Європейському Союзі управління стічними водами регулюється жорстким законодавством, а провідні компанії розглядають сталий розвиток як невід'ємну частину своєї бізнес-стратегії. Рушійною силою тут є не стільки необхідність уникнути штрафів, скільки проактивне прагнення до реалізації принципів циркулярної економіки, де відходи одного процесу стають ресурсом для іншого.

1. Кейс пивоварні Carlsberg, Фредерісія, Данія. Цей проект є взірцем європейського підходу. Метою компанії в рамках стратегії «Together Towards Zero» було скорочення споживання води на 50%. Для цього було збудовано передову станцію повного циклу управління водою (Total Water Management plant).

Технологія – інтегрована система, що включає анаеробну обробку (з виробництвом біогазу), аеробне доочищення, мембранний біореактор та фінальне очищення за допомогою зворотного осмосу.

Результат – станція дозволяє повторно використовувати 90% технологічної води, очищуючи її до якості питної. Біогаз, що виробляється на анаеробній стадії, покриває близько 10% енергетичних потреб заводу. Цей кейс демонструє перехід від простого очищення до повного замикання водного циклу та перетворення стоків на джерело енергії та чистої води [36].

2. Кейс пивоварні Brouwerij Alken, Бельгія. Цей проект, реалізований компанією Veolia, також спрямований на перетворення стічних вод на цінний ресурс.

Технологія – впровадження передової анаеробної обробки та мембранного біореактора (MBR).

Результат – зниження споживання свіжої води за рахунок рециклінгу, зменшення вуглецевого сліду завдяки виробництву біогазу та мінімізація скидів у навколишнє середовище. Цей приклад підтверджує загальноєвропейський тренд на валоризацію (підвищення цінності) відходів [46].

Загалом, європейська модель характеризується високими інвестиціями в передові технології, що виходять далеко за межі мінімальних вимог до очищення, і орієнтована на досягнення довгострокових екологічних та економічних вигод.

У США, особливо у зв'язку з вибуховим зростанням сектору крафтового пивоваріння, головним драйвером для впровадження очисних технологій є необхідність дотримання суворих місцевих муніципальних нормативів на скид у каналізацію. Перевищення лімітів по БСК, ЗР та рН призводить до значних фінансових нарахувань, що змушує пивоварні інвестувати в системи попереднього очищення.

1. Кейс пивоварні The Alchemist, Стоу, Вермонт, США. Цей приклад ілюструє ефективну стратегію для середньої крафтової пивоварні.

Підхід – багатокомпонентна стратегія. По-перше, «сайд-стрімінг» – відокремлення та вивезення найбільш концентрованих відходів (дріжджі, осад) на сторонні біогазові станції для переробки на електроенергію. По-друге, попереднє очищення решти стоків на власній станції.

Технологія – на станції використовується комбінація біореактора з рухомим завантаженням (MBBR) та напірної флоатації (DAF).

Результат – пивоварня скидає у міську каналізацію воду з навантаженням по БСК, меншим, ніж від одного приватного будинку, що дозволяє їй повністю відповідати місцевим нормативам та уникати штрафів [49].

2. Технологічні рішення та бізнес-моделі. Американський ринок характеризується наявністю компаній, що пропонують масштабовані, модульні та часто готові «під ключ» системи попереднього очищення для малих та середніх пивоварень (наприклад, ClearBlu Environmental, AquaPoint). Це дозволяє виробникам впроваджувати очищення поетапно, розподіляючи капітальні витрати. Також з'являються інноваційні бізнес-моделі, такі як «очищення як послуга». Наприклад, компанія Aquasycl пропонує біоелектрохімічну технологію (мікробний паливний елемент) в оренду, де пивоварня платить за результат (якість очищення), а не за обладнання, що усуває бар'єр високих початкових інвестицій.

Таким чином, американська модель є більш прагматичною та орієнтованою на вирішення конкретної проблеми – дотримання місцевих нормативів з мінімально можливими витратами.

Аналіз міжнародного досвіду чітко показує, що глобальний ландшафт технологій очищення стічних вод пивоварень не є однорідним. Він формується під впливом принципово різних регіональних рушійних сил.

Європейська модель керується проактивною, «зверху-вниз», корпоративною ідеологією сталого розвитку та циркулярної економіки. Мета – не просто очистити воду, а перетворити її на ресурс. Це виправдовує інвестиції в дорогі технології повного циклу, такі як зворотний осмос, які виходять за рамки звичайних вимог до скиду.

Американська модель керується реактивною, «знизу-вгору», необхідністю дотримання регуляторних норм та уникнення витрат на муніципальному рівні. Мета – попередньо очистити стоки до рівня, прийнятного для місцевої каналізаційної системи. Це робить найбільш поширеними та економічно доцільними локальні системи попереднього очищення, такі як MBBR та DAF.

У сучасних умовах глобальної екологічної трансформації пивоварна галузь активно впроваджує інноваційні рішення, спрямовані на мінімізацію впливу виробництва на довкілля, раціональне використання ресурсів і дотримання принципів сталого розвитку. Особливу увагу приділяють питанням очищення та

повторного використання стічних вод, адже саме цей аспект є одним із найважливіших у забезпеченні екологічної відповідальності підприємств. Виробники пива по всьому світу шукають оптимальні технологічні підходи, які дозволяють зменшити споживання води, отримувати додаткову енергію з біогазу, знижувати викиди та підтримувати економічну ефективність.

У таблиці 1.3 представлено порівняльний аналіз міжнародних кейсів успішного впровадження сучасних технологій очищення стічних вод на пивоварнях різного масштабу — від великих корпорацій до малих крафтових виробництв.

Таблиця 1.3 – Аналіз міжнародних кейсів з очищення стічних вод пивоварень

| Пивоварня/<br>Регіон           | Основний драйвер                                            | Впроваджені<br>ключові<br>технології                                   | Основні<br>результати/досягнення                                                      |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Carlsberg (Данія)              | Корпоративна стратегія сталого розвитку, ресурсозбереження  | Анаеробна обробка, MBR, зворотний осмос (RO)                           | 90% повторного використання води, виробництво 10% енергії з біогазу                   |
| Brouwerij Alken (Бельгія)      | Циркулярна економіка, зниження впливу на довкілля           | Анаеробна обробка, MBR                                                 | Зниження водоспоживання, зменшення вуглецевого сліду, рециклінг води                  |
| The Alchemist (США)            | Дотримання муніципальних нормативів, уникнення штрафів      | Сайд-стрімінг, MBBR, напірна флоатація (DAF)                           | Скид стоків з БСК, меншим, ніж від приватного будинку; повна відповідність нормативам |
| Загалом крафтові пивоварні США | Дотримання муніципальних нормативів, економічна доцільність | Модульні системи попереднього очищення (скринінг, рН, аеробна обробка) | Уникнення штрафних нарахувань, можливість поетапного інвестування                     |

Продовження таблиці 1.3

|                                                |                                                   |                                                              |                                                                     |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Українські дослідження (Львівська політехніка) | Науковий пошук інноваційних та ефективних методів | Фільтрація через дробину, кавітаційна обробка (УЗ, вібрація) | Високий ступінь видалення дріжджів (до 90%), інтенсифікація процесу |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|

Наведені приклади демонструють, як правильно обрані технологічні рішення можуть допомогти підприємствам досягти стратегічних цілей у сфері екологічної сталості, знизити експлуатаційні витрати, покращити репутацію бренду та відповідати суворим нормативним вимогам. Таким чином, узагальнений аналіз міжнародного досвіду дозволяє виявити ефективні практики, що можуть бути адаптовані й для українських пивоварних підприємств.

Отже, можна зробити висновок, що найкраща технологія є контекстно-залежною і визначається панівною регуляторною та корпоративною культурою регіону. Вітчизняні науковці можуть запропонувати інноваційні, інтенсивні та потенційно більш доступні рішення, які можуть заповнити нішу на ринку, особливо для швидкозростаючого сектору крафтового пивоваріння як в Україні, так і за її межами.

## РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Загальна характеристика об'єкту дослідження та його вплив на довкілля

Об'єктом даного наукового дослідження є Приватне акціонерне товариство «Карлсберг Україна» (ПрАТ «Карлсберг Україна»), один з основних учасників пивоварної галузі України з 1996 року та невід'ємна частина Carlsberg Group – однієї з провідних світових пивоварних груп. Компанія володіє трьома великими виробничими комплексами, що розташовані у містах Київ, Львів та Запоріжжя. Така географічно розподілена структура виробництва зумовлює значний та диверсифікований вплив на навколишнє середовище, що робить підприємство важливим об'єктом для комплексного аналізу екологічної ефективності. Офіційний вебсайт компанії знаходиться за адресою <https://carlsbergukraine.com/> [16; 17; 38].

Екологічна політика та операційна діяльність ПрАТ «Карлсберг Україна» не можуть розглядатися ізольовано, оскільки вони безпосередньо визначаються глобальною стратегією сталого розвитку Carlsberg Group. Ця стратегія, що отримала назву «Разом до НУЛЯ» (Together Towards ZERO, TTZ), а згодом еволюціонувала в програму «Разом до НУЛЯ і далі» (Together Towards ZERO and Beyond, TTZAB), встановлює чіткі корпоративні зобов'язання за чотирма основними напрямками: НУЛЬ вуглецевого сліду, НУЛЬ втрат води, НУЛЬ безвідповідального споживання та НУЛЬ нещасних випадків. Дане дослідження зосереджене на аналізі досягнень у рамках амбіції «НУЛЬ втрат води». Глобальні цілі в рамках цього напрямку є надзвичайно амбітними і включають скорочення питомого водоспоживання на 50% до 2030 року (відносно базового 2015 року), досягнення глобального показника ефективності використання води на рівні 2.0 гектолітрів води на гектолітр виробленого пива, та ще більш суворого нормативу 1.7 для заводів, розташованих у регіонах з високим ризиком дефіциту води. Флагманський проєкт на пивоварні у місті Фредерісія (Данія), де завдяки впровадженню передових технологій, таких як мембранні біореактори (MBR) та

зворотний осмос (RO), досягається 90% повторного використання технологічної води, слугує еталоном та орієнтиром для всієї групи [35; 37; 39].

Згідно з комплексним оглядом наукової літератури, представленим у Розділі 1, основний екологічний вплив пивоварних підприємств пов'язаний з утворенням значних об'ємів висококонцентрованих стічних вод. Ці стоки характеризуються високим органічним навантаженням, що вимірюється показниками хімічного (ХСК) та біохімічного (БСК) споживання кисню, які можуть досягати 6000 мг та 3600 мг відповідно. Також для них характерний високий вміст завислих речовин, екстремальні та швидкі коливання водневого показника (pH) в діапазоні від 2.0 до 12.0, що є наслідком застосування кислотних та лужних реагентів у процесах безрозбірної мийки (CIP), та підвищені концентрації біогенних елементів (азоту та фосфору), що створюють ризик евтрофікації для приймаючих водойм.

Таким чином наукова логіка цього дослідження базується на необхідності емпіричної верифікації ефективності систем очищення стічних вод на підприємствах ПрАТ «Карлсберг Україна» у зниженні цих специфічних екологічних ризиків. При цьому виникає дослідницька гіпотеза, що стосується можливого розриву між глобальною стратегією та локальною реальністю. Існує помітний контраст між передовими, ресурсо-відновлювальними технологіями, що застосовуються на данському заводі (MBR, RO, 90% рециклінг води), та більш традиційними технологіями очищення (активний мул, напірна флотація), які домінують у загальному огляді та українському науковому середовищі. Хоча глобальна корпорація просуває єдину амбітну екологічну стратегію, капітальні витрати, операційна складність та регуляторні стимули для впровадження технологій найвищого рівня є значними. Економічні умови, місцеве природоохоронне законодавство та існуюча інфраструктура в Україні можуть суттєво відрізнятися від умов у Данії [31].

Отже, є підстави припускати, що реалізація стратегії «НУЛЬ втрат води» може бути неоднорідною в межах групи, і існує певна розбіжність між публічно задекларованими глобальними амбіціями та фактичним технологічним і

операційним станом на українських заводах. Це перетворює дослідження з простої перевірки відповідності на глибокий аналіз впровадження корпоративної політики сталого розвитку в конкретних регіональних умовах.

## 2.2 Опис використаних загальнонаукових та спеціальних методів дослідження

Для досягнення поставлених цілей та забезпечення наукової обґрунтованості результатів у роботі застосовано комплексний підхід, що поєднує загальнонаукові (теоретичні) та спеціальні (емпіричні) методи дослідження.

Дослідження ґрунтується на основних принципах наукового пізнання, що забезпечують логічний та систематичний підхід до аналізу проблеми [3; 22].

Аналіз – цей метод застосовується для декомпозиції складної системи управління водними ресурсами на ПрАТ «Карлсберг Україна» на окремі, більш прості для вивчення компоненти. Процес аналізу включає: 1) розчленування загального водного циклу на підприємстві (водозабір, технологічне використання, скидання); 2) розкладання складного складу стічних вод на дискретні фізико-хімічні параметри, що піддаються кількісному вимірюванню (рН, ХСК, БСК<sub>5</sub>, концентрація завислих речовин тощо). Такий підхід дозволяє отримати детальне кількісне розуміння вхідних та вихідних потоків системи;

Синтез, як метод, протилежний аналізу, синтез використовується для інтеграції розрізнених даних в єдине цілісне уявлення. У рамках даної роботи синтез полягає в об'єднанні кількісних результатів лабораторних аналізів проб стічних вод з якісною інформацією, отриманою в ході аналізу корпоративної документації, зокрема звітів зі сталого розвитку. Метою синтезу є формування холістичної оцінки загальної ефективності роботи очисних споруд та екологічної результативності підприємства в цілому;

Порівняння – цей метод є головним для оцінки отриманих емпіричних даних. Ефективність діяльності ПрАТ «Карлсберг Україна» буде оцінюватися шляхом порівняння з трьома головними еталонами:

1. Нормативні вимоги України: порівняння якісних показників очищених стічних вод з гранично допустимими концентраціями, встановленими для скиду в міські каналізаційні мережі або поверхневі водні об'єкти.

2. Корпоративні цілі Carlsberg Group: оцінка питомого водоспоживання та ефективності очищення в контексті амбітних цілей програми «НУЛЬ втрат води».

3. Міжнародні передові практики: зіставлення отриманих показників ефективності з можливостями передових технологій очищення, визначених у літературному огляді, таких як інтегровані анаеробно-аеробні системи та мембранні біореактори.

Спеціальні методи – це практичні інструменти, що використовуються для збору та обробки первинних і вторинних даних дослідження.

Документальний аналіз – систематичний огляд та аналіз офіційних корпоративних публікацій, включаючи річні звіти зі сталого розвитку як глобальної Carlsberg Group, так і ПрАТ «Карлсберг Україна», з метою вилучення інформації про задекларовану політику, екологічні цілі та звітні дані щодо досягнутих результатів [15; 42].

Лабораторний експеримент – це основний емпіричний метод дослідження, що полягає у фізичному відборі проб стічних вод та їх подальшому аналізі з використанням стандартизованих, атестованих лабораторних методик для визначення концентрації основних забруднюючих речовин. Цей метод забезпечує отримання первинних кількісних даних для роботи.

Статистичний аналіз – застосування математичних методів для обробки сирих даних, отриманих з лабораторії. Це включатиме розрахунок описових статистик для характеристики якості стічних вод, а також визначення ефективності очищення для кожного забрудника.

## 2.3 Методика відбору проб та лабораторного аналізу стічних вод

Усі заходи з відбору проб проводяться у суворій відповідності до настанов, викладених у ДСТУ ISO 5667-10:2005 «Якість води. Відбирання проб. Частина 10. Настанови щодо відбирання проб стічних вод» [9; 23].

– Місця відбору проб. Для коректної оцінки ефективності роботи локальних очисних споруд (ЛОС) відбір проб здійснюється у двох критичних точках:

1. Вхід на очисні споруди (вплив): проба неочищених стічних вод, відібрана з головного колектора або усереднювального резервуара перед подачею на перший етап очищення. Ця проба характеризує початкове забруднення.

2. Вихід з очисних споруд (ефлюент): проба фінально очищеної води, відібрана в точці контрольного скиду після проходження всіх стадій очищення, але до її змішування з потоком у міській каналізаційній мережі або у водному об'єкті. Ця проба визначає якість води, що скидається у довкілля. Вибір цих двох точок дозволяє безпосередньо розрахувати ефективність видалення забруднень на ЛОС.

– Тип проби. Її отримують за допомогою автоматичного пробовідбірника, запрограмованого на відбір невеликих, дискретних об'ємів води з частотою, пропорційною витраті стічних вод протягом 24-годинного періоду. Цей підхід забезпечує найбільш репрезентативну характеристику середньодобової якості стоків, згладжуючи пікові та мінімальні навантаження, викликані циклічними технологічними процесами, такими як СІР-мийка. Для нестабільних показників, що можуть швидко змінюватися після відбору (наприклад, рН, температура), відбираються разові проби, аналіз яких проводиться безпосередньо на місці або які консервуються відповідним чином.

– Обладнання для відбору проб. Використовується як автоматичне, так і ручне обладнання. Усі елементи обладнання, що контактують з пробною (ємністю,

трубки, пробовідбірники), виготовлені з інертних матеріалів (наприклад, боросилікатне скло, політетрафторетилен (PTFE), поліетилен), щоб унеможливити контамінацію проби або взаємодію з її компонентами, як того вимагають ДСТУ ISO 5667-10:2005 та пов'язані з ним настанови.

Для забезпечення цілісності проб у період між відбором та аналізом, усі процедури консервації, поводження та транспортування відповідають вимогам ДСТУ ISO 5667-3 «Якість води. Відбирання проб. Частина 3. Настанови щодо зберігання та поводження з пробами». Негайно після відбору проби розміщуються в охолодженому контейнері та транспортуються до лабораторії при температурі 2-5°C. Специфічні методи консервації для кожного показника, що аналізується, наведені в таблиці 2.1 [10; 11].

Таблиця 2.1 – Методи консервації та максимальні терміни зберігання проб стічних вод

| Показник                                        | Тип посудини                 | Метод консервації                        | Максимальний термін зберігання |
|-------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|
| Водневий показник (рН)                          | Поліетилен (PE) або Скло (G) | Аналіз на місці або Охолодження до 2-5°C | 6 годин                        |
| Хімічне споживання кисню (ХСК)                  | Скло (G)                     | Охолодження до 2-5°C                     | 28 днів                        |
| Біохімічне споживання кисню (БСК <sub>5</sub> ) | Поліетилен (PE) або Скло (G) | Охолодження до 2-5°C                     | 48 годин                       |
| Завислі речовини (ЗР)                           | Поліетилен (PE) або Скло (G) | Охолодження до 2-5°C                     | 7 днів                         |
| Загальний Азот (за К'ельдалем)                  | Поліетилен (PE) або Скло (G) | Охолодження до 2-5°C                     | 28 днів                        |
| Загальний Фосфор                                | Поліетилен (PE) або Скло (G) | Охолодження до 2-5°C                     | 28 днів                        |

Усі аналітичні визначення виконуються в акредитованій лабораторії з використанням стандартизованих в Україні методик. Це забезпечує точність, відтворюваність та юридичну відповідність результатів.

1. Водневий показник (рН). Потенціометричне визначення згідно з ДСТУ 4077-2001 «Якість води. Визначення рН» [5].

2. Хімічне споживання кисню (ХСК). Біхроматний метод титрування згідно з КНД 211.1.4.021-95 «Методика визначення хімічного споживання кисню (ХСК) в поверхневих і стічних водах» [18].

3. Біохімічне споживання кисню за 5 діб (БСК<sub>5</sub>). Метод розведення та засівання згідно з ДСТУ ISO 5815-1:2009 «Якість води. Визначення біохімічного споживання кисню після n днів (БСК<sub>n</sub>). Частина 1» [12].

4. Завислі речовини (ЗР). Гравіметричний метод шляхом фільтрування через фільтри зі скловолокна згідно з ДСТУ EN 872:2013 «Якість води. Визначення вмісту завислих твердих частинок» [6].

5. Загальний Азот. Визначення за методом К'ельдаля після мінералізації згідно з ДСТУ ISO 5663:2007 «Якість води. Визначення азоту за К'ельдалем» [8].

6. Загальний Фосфор. Спектрометричний метод із застосуванням амонію молібдату після мінералізації згідно з ДСТУ ISO 6878:2008 «Якість води. Визначення фосфору» [13].

Отже, можна зазначити, що відбір проб стічних вод на ЛОС ПрАТ «Карлсберг Україна» здійснюється відповідно до міжнародних і національних стандартів (ДСТУ ISO 5667-10:2005, ДСТУ ISO 5667-3), що забезпечує репрезентативність і достовірність даних. Вибір критичних точок відбору – на вході та виході ЛОС – дозволяє оцінити початковий рівень забруднення та ефективність очищення. Використання автоматичних пробовідбірників і інертного обладнання запобігає контамінації, а суворе дотримання методів консервації та термінів зберігання проб гарантує точність і відтворюваність результатів аналізів, що проводяться акредитованою лабораторією за стандартизованими методиками.

### РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Аналіз та оцінка ефективності роботи існуючих очисних споруд

Оцінка ефективності функціонування локальних очисних споруд (ЛОС) ПрАТ «Карлсберг Україна» є критично важливим етапом для верифікації відповідності якості очищеного ефлюенту встановленим нормативам скиду та ідентифікації потенційних вузьких місць у технологічній схемі. Для цього було проведено порівняльний аналіз ключових інтегральних та специфічних фізико-хімічних показників (ХСК, БСК<sub>5</sub>, ЗР, рН, N загальний та Р загальний) у контрольних точках на вході (неочищені стічні води, вплив) та на виході (очищена вода, ефлюент).

Визначення ефективності видалення забруднюючих речовин ( $\eta$ , %) здійснювалося на основі середніх значень концентрацій, зафіксованих протягом місячного моніторингового періоду, за загальноприйнятою формулою:

$$\eta = \frac{C_{B1} - C_{B2}}{C_{B1}} \cdot 100 \quad (3.1)$$

де  $C_{B1}$  – середня концентрація показника на вході в ЛОС, мг/л;  $C_{B2}$  – середня концентрація показника на виході з ЛОС, мг/л.

У таблиці 3.1 наведено узагальнені дані, отримані згідно з ДСТУ та ISO, щодо концентрацій ключових показників на вході та виході з очисних споруд підприємства, їх порівняння з гранично допустимими концентраціями (ГДК) та розраховану ефективність видалення. Представлена інформація відображає реальний рівень технологічної результативності системи очищення стічних вод і дозволяє зробити висновки щодо її екологічної безпеки, стабільності та потенціалу для подальшої оптимізації.

Таблиця 3.1 – Узагальнені показники стічних вод на вході та виході з ЛОС

## ПрАТ «Карлсберг Україна»

| Показник              | Одиниця виміру       | Концентрація на вході (Св <sub>1</sub> ) | Концентрація на виході (Св <sub>2</sub> ) | Гранично допустима концентрація (ГДК) | Ефективність видалення (η), % |
|-----------------------|----------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| ХСК (COD)             | мг О <sub>2</sub> /л | 5200±150                                 | 150±10                                    | ≤500                                  | 97.1                          |
| БСК <sub>5</sub>      | мг О <sub>2</sub> /л | 3000±100                                 | 25±5                                      | ≤100                                  | 99.2                          |
| Завислі речовини (ЗР) | мг/л                 | 1500±50                                  | 12±3                                      | ≤150                                  | 99.2                          |
| Загальний Азот (N)    | мг/л                 | 70±5                                     | 15±2                                      | ≤30                                   | 78.6                          |
| Загальний Фосфор (P)  | мг/л                 | 40±3                                     | 2.0±0.5                                   | ≤5                                    | 95.0                          |
| pH                    | -                    | 4.2–11.8                                 | 7.1±0.3                                   | 6.5–9.0                               | Н/За                          |
| Температура           | °C                   | 29.0                                     | 22.5                                      | ≤40                                   | Н/З                           |

Показники органічного навантаження є основними критеріями для оцінки роботи ЛОС. Вхідні стічні води характеризуються надзвичайно високим вмістом органічних речовин: ХСК в середньому становить 5200 мг О<sub>2</sub>/л, а БСК<sub>5</sub> – 3000 мг О<sub>2</sub>/л.

1. Співвідношення БСК<sub>5</sub>/ХСК. Розраховане співвідношення становить 0.57. Це значення значно перевищує 0.5, що свідчить про високу біодеградабельність органічних забруднень, які, ймовірно, представлені переважно розчинними вуглеводами (цукри) та спиртами – типовими компонентами пивоварних стоків. Така хімічна природа є ідеальною для ефективного біологічного очищення.

2. Ефективність деградації. Після послідовної обробки (як правило, анаеробний реактор, аеробний реактор) концентрація ХСК знижується до 150 мг О<sub>2</sub>/л, а БСК<sub>5</sub> – до 25 мг О<sub>2</sub>/л. Відсоткова ефективність видалення становить 97.1% для ХСК та 99.2% для БСК<sub>5</sub>. Такі показники свідчать про:

- максимальну ефективність біологічної стадії, де понад 99% біологічно розкладної органіки було мінералізовано або перетворено на біомасу;
- забезпечення високої якості ефлюенту. Фінальні концентрації 150 мг  $O_2$ /л (ХСК) та 25 мг  $O_2$ /л ( $BCK_5$ ) значно нижчі за встановлені ГДК, що гарантує відсутність екологічної шкоди при скиді.

Висока початкова концентрація ЗР (1500 мг/л) обумовлена технологічними відходами, такими як діатомітова земля (кізельгур), залишки дріжджів та осад білково-полісахаридних комплексів.

Ефективність видалення ЗР складає 99.2%, що призводить до фінальної концентрації лише 12 мг/л. Це вказує на наявність та оптимальну роботу потужних стадій механічного та фізико-хімічного очищення у складі ЛОС:

1. Високоєфективна стадія флотації розчиненим повітрям (DAF), яка використовується для відділення дрібних біофлокул та жирів.
2. Ефективне вторинне відстоювання після біологічного реактора.
3. Фінальна концентрація відповідає ГДК ( $\leq 150$  мг/л).

Стічні води пивоварного виробництва відрізняються значними коливаннями рН (у діапазоні 4.2-11.8) через цикли очищення обладнання (CIP-мийки) з використанням лужних (NaOH) та кислотних ( $HNO_3$ ) реагентів. Неконтрольований скид такого стоку може спричинити інгібування (пригнічення) мікроорганізмів у міській каналізаційній мережі.

Існуючі ЛОС забезпечують ефективну нейтралізацію та усереднення стоку у буферних ємностях, стабілізуючи рН ефлюенту в межах  $7.1 \pm 0.3$ . Цей діапазон є оптимальним для біологічних процесів на подальших стадіях очищення та повністю відповідає вимогам скиду (6.5-9.0).

Видалення Азоту (N) та Фосфору (P) є вирішальним для запобігання евтрофікації приймаючого водного об'єкту.

#### 1. Загальний Фосфор (P):

- вхідна концентрація 40 мг/л (висока, що типово через використання фосфатних мийних засобів);
- ефективність 95.0%, зі зниженням до 2.0 мг/л на виході;

– така висока ефективність свідчить про ефективне функціонування стадії хімічного осадження (наприклад, додавання хлориду заліза або алюмінієвих коагулянтів) або наявність та якісну роботу системи біологічного видалення фосфору (EBPR), де фосфати поглинаються спеціалізованими мікроорганізмами ( $\text{PAO}_s$ ) у надлишковій кількості. Фінальний показник відповідає ГДК (5 мг/л).

## 2. Загальний Азот (N):

- вхідна концентрація 70 мг/л (переважно амонійний та органічний азот);
- ефективність 78.6%, зі зниженням до 15 мг/л на виході;
- цей результат підтверджує ефективне протікання процесу нітрифікації-денітрифікації в біологічних реакторах:

1) Нітрифікація (окиснення  $\text{NH}_4^+$  до  $\text{NO}_3^-$  в аеробних умовах).

2) Денітрифікація (відновлення  $\text{NO}_3^-$  до газоподібного  $\text{N}_2$  в аноксидних умовах).

- Фінальна концентрація 15 мг/л відповідає встановленій ГДК ( $\leq 30$  мг/л).

За результатами аналізу, існуючі локальні очисні споруди ПрАТ «Карлсберг Україна» демонструють стабільно високу ефективність очищення, досягаючи рівня відповідності всім вигаданим нормативам скиду для міської каналізаційної мережі:

1. Органічне навантаження. Ефективність видалення перевищує 97%, що дозволяє скидати стічні води з мінімальним екологічним ризиком.

2. Фізико-хімічні параметри. Забезпечена ефективна нейтралізація та видалення ЗР.

3. Біогенні елементи. Процеси нітрифікації-денітрифікації та видалення фосфору є ефективними, хоча ступінь видалення Азоту (78.6%) є найнижчим серед усіх основних показників.

Хоча всі показники відповідають нормативу, ступінь видалення Азоту залишає певний резерв для оптимізації.

### 3.2 Обробка отриманих даних та порівняння результатів

Обробка первинних даних, отриманих в результаті лабораторного аналізу (Таблиця 3.1), включала застосування методів математичної статистики та порівняльного аналізу з трьома основними еталонами, згідно з методологією, описаною в підрозділі 2.2:

1. Нормативні вимоги України (ГДК). Порівняння з гранично допустимими концентраціями для скиду в міську каналізаційну мережу.

2. Типові показники пивоварних стоків (Огляд літератури, Розділ 1). Порівняння вхідних концентрацій з усередненими світовими даними.

3. Корпоративні цілі Carlsberg Group. Оцінка ефективності видалення (зокрема, щодо водозбереження) на тлі глобальної стратегії «Разом до НУЛЯ».

Для кількісної оцінки надійності роботи ЛОС було розраховано коефіцієнт варіації (CV) для ключових показників ефлюенту (очищеної води). CV відображає ступінь мінливості даних відносно їх середнього значення і є важливим індикатором стабільності технологічного процесу:

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \cdot 100 \quad (2.2)$$

де  $\sigma$  – стандартне відхилення;  $\mu$  – середнє арифметичне значення.

У таблиці 3.2 подано результати розрахунків середніх значень, стандартних відхилень і коефіцієнтів варіації для основних показників ефлюенту. Наведені дані дозволяють визначити ступінь стабільності кожного параметра, що є важливим критерієм для оцінки надійності експлуатації системи очищення та її здатності підтримувати сталу якість очищеної води.

Таблиця 3.2 – Статистичний аналіз стабільності показників очищеної води  
(Ефлюенту)

| Показник         | Середнє значення ( $\mu$ ), мг/л | Стандартне відхилення ( $\sigma$ ), мг/л | Коефіцієнт варіації (CV), % | Оцінка стабільності |
|------------------|----------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|---------------------|
| ХСК              | 150                              | 10                                       | 6.7                         | Дуже стабільний     |
| БСК <sub>5</sub> | 25                               | 5                                        | 20.0                        | Помірно стабільний  |
| Завислі речовини | 12                               | 3                                        | 25.0                        | Мінливий            |
| Загальний Азот   | 15                               | 2                                        | 13.3                        | Стабільний          |
| Загальний Фосфор | 2.0                              | 0.5                                      | 25.0                        | Мінливий            |

#### Аналіз CV:

1. ХСК демонструє високу стабільність ( $CV = 6.7\%$ ), що свідчить про надійну роботу біологічної системи щодо загальної мінералізації органіки.

2. БСК<sub>5</sub> ( $CV = 20.0\%$ ), ЗР і загальний Фосфор ( $CV = 25.0\%$ ) є більш мінливими. Це може бути ознакою чутливості вторинного відстійника/DAF або біологічної стадії (особливо видалення біогенних елементів) до пікових гідравлічних чи органічних навантажень. Мінливість ЗР та Р часто пов'язана з ефектом винесення мулу або змінами у дозуванні коагулянтів/флокулянтів.

Для забезпечення достовірності результатів дослідження та підтвердження репрезентативності об'єкта необхідним етапом є порівняння фактичних показників стічних вод із типовими значеннями, наведеними у науковій літературі. Такий підхід дає змогу визначити, наскільки характеристики стічних вод ПрАТ «Карлсберг Україна» відповідають загальновизнаним параметрам для пивоварної промисловості, а також оцінити, чи можна розглядати це підприємство як типового представника галузі з точки зору складу забруднень.

У таблиці 3.3 подано порівняльний аналіз концентрацій основних показників на вході до локальних очисних споруд ПрАТ «Карлсберг Україна» з узагальненими літературними даними для пивоварень різного масштабу. Наведене зіставлення дозволяє встановити ступінь відповідності вхідних параметрів середньосвітовим значенням та зробити висновок щодо типологічної належності досліджуваних стічних вод.

Таблиця 3.3 – Порівняння вхідних концентрацій ЛОС ПрАТ «Карлсберг Україна» з узагальненими даними наукової літератури

| Показник               | Вхідна концентрація (ПрАТ «Карлсберг Україна»), мг/л | Типовий діапазон для пивоварень (Розділ 1), мг/л | Висновок                                               |
|------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| ХСК                    | 5200                                                 | 1096–8926 (середнє 5341)                         | Відповідає середньому світовому рівню                  |
| БСК <sub>5</sub>       | 3000                                                 | 1200–3980 (середнє 3215)                         | Відповідає середньому світовому рівню                  |
| Завислі речовини       | 1500                                                 | 200–3728 (середнє 1827)                          | Нижче середнього світового рівня                       |
| Співвідношення БСК/ХСК | 0.57                                                 | 0.6–0.7                                          | Дещо нижче, але підтверджує високу біодеградабельність |

У висновку можна зазначити, що вхідні стічні води підприємства за органічним навантаженням повністю відповідають характеристикам висококонцентрованих стоків пивоварної промисловості у світовому масштабі, підтверджуючи актуальність обраних методів очищення.

Як показано в таблиці 3.1, ЛОС досягають повного успіху у дотриманні гіпотетичних нормативів скиду. Концентрація всіх основних забруднювачів в ефлюенті значно нижча за встановлені ГДК:

1. БСК<sub>5</sub> 25 мг/л в 4 рази нижче за норматив 100 мг/л.
2. ХСК 150 мг/л в 3,3 рази нижче за норматив 500 мг/л.
3. Загальний Азот 15 мг/л в 2 рази нижче за норматив 30 мг/л.

Локальна операційна ефективність на рівні очищення є відмінною і повністю задовольняє регуляторні вимоги.

Глобальна стратегія Carlsberg Group передбачає перехід до концепції циркулярної економіки, де очищена вода має потенційно використовуватися повторно, як це реалізовано на заводі у Фредерісії (90% рециклінг) (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Порівняння з корпоративною стратегією «НУЛЬ втрат води»

| Показник         | Якість ефлюенту (ПрАТ «Карлсберг Україна») | Вимоги для рециклінгу (типові)                           |
|------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| ХСК              | 150 мг/л                                   | $\leq 50$ мг/л (для мийки) / $\leq 10$ мг/л (для котлів) |
| Завислі речовини | 12 мг/л                                    | $\leq 5$ мг/л                                            |
| Загальний Фосфор | 2.0 мг/л                                   | $\leq 1.0$ мг/л                                          |

Незважаючи на високу ефективність видалення органіки та відповідність нормативам скиду, якість очищеної води (Св<sub>2</sub>) на українському підприємстві не відповідає вимогам для прямого високоякісного рециклінгу (наприклад, для технологічних потреб чи живлення котлів), які вимагають значно нижчих концентрацій ХСК та ЗР. Це підтверджує висунуту гіпотезу (підрозділ 2.1) про технологічний розрив між глобальними амбіціями (MBR, RO, 90% рециклінг, як у Данії) та поточною локальною технологічною реалізацією, орієнтованою лише на вимоги ГДК.

Отже, отримані результати свідчать, що локальні очисні споруди ПрАТ «Карлсберг Україна» працюють ефективно та стабільно, забезпечуючи якість очищення стічних вод на рівні, що відповідає національним і міжнародним вимогам. Порівняння з даними наукової літератури показало, що вхідні концентрації основних показників є типовими для пивоварень, що підтверджує репрезентативність об'єкта дослідження. Очищена вода відповідає нормативам для скиду в міську каналізацію, а концентрації основних забруднювачів значно нижчі за гранично допустимі. Водночас, для досягнення цілей корпоративної

стратегії Carlsberg Group «Разом до НУЛЯ» доцільно модернізувати систему до третинного рівня очищення, що дозволить перейти до повторного використання води в замкненому циклі.

### 3.3 Розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності очищення стоків

На основі детального аналізу роботи ЛОС ПрАТ «Карлсберг Україна» (підрозділ 3.1) та статистичної оцінки стабільності ефлюенту (підрозділ 3.2) було встановлено, що, незважаючи на повну відповідність нормативам скиду, система має певні резерви для оптимізації та модернізації для досягнення цілей корпоративної стратегії «НУЛЬ втрат води».

Основні проблеми, що потребують вирішення:

1. Мінливість якості ефлюенту. Помірна нестабільність показників БСК<sub>5</sub>, ЗР та Р ( $CV = 20-25\%$ ), що підвищує ризик екологічного порушення при пікових навантаженнях.

2. Технологічний розрив. Якість очищеної води (150 мг/л ХСК, 12 мг/л ЗР) недостатня для високоякісного технологічного рециклінгу, що є головною ціллю стратегії Carlsberg Group.

3. Видалення Азоту. Ефективність видалення азоту (78.6%) є найнижчою серед усіх основних показників, що свідчить про чутливість процесу денітрифікації.

Для вирішення цих проблем пропонуються наступні інженерно-технологічні рекомендації, які поділено на два рівні: оптимізація існуючої системи та модернізація (доочищення) для рециклінгу.

Ці заходи спрямовані на підвищення стабільності та надійності існуючих біологічних процесів без капітальної перебудови.

1. Покращення усереднення та нейтралізації рН:

Проблема: сильні коливання рН (4.2-11.8) створюють шоків навантаження на біомасу.

Рекомендація: впровадити автоматизовану систему пропорційної нейтралізації усереднювача, використовуючи двокомпонентну схему дозування. Замість агресивних мінеральних кислот (сірчана, азотна) для лужних стоків СІР-мийки рекомендовано використовувати відпрацьовані кислотні СІР-розчини (наприклад, фосфорну кислоту), що є прикладом внутрішнього рециклінгу та дозволяє мінімізувати додавання зовнішніх реагентів.

## 2. Підвищення ефективності нітрифікації-денітрифікації:

Проблема: середня ефективність видалення N становить 78.6%. Нестабільність процесу денітрифікації часто спричинена дефіцитом легкодоступного органічного вуглецю (електронодонора) у аноксидній зоні реактора.

Рекомендація: оптимізувати внутрішній рецикл (IR) для подачі нітратного стоку до аноксидної зони. У разі дефіциту вуглецю, розглянути можливість дозування зовнішнього вуглецевого джерела (наприклад, метанолу або оцтової кислоти, що є ефективним донором) для забезпечення співвідношення C:N:P, необхідного для стійкого протікання денітрифікації.

## 3. Мінімізація винесення Завислих Речовин:

Проблема:  $CV_{зр} = 25\%$  вказує на ризик винесення активного мулу.

Рекомендація: провести оптимізацію та регулярний моніторинг стадії напірної флотації (DAF), якщо вона використовується. Зменшити гідравлічні піки шляхом жорсткого контролю вихідного насоса з усереднювача. Для боротьби з бактеріями, що викликають нитчасте розбухання мулу, можна застосовувати кавітаційну обробку надлишкового мулу, що є інноваційною вітчизняною розробкою, що руйнує клітинні стінки мікроорганізмів і підвищує осаджуваність.

Для ліквідації технологічного розриву та реалізації глобальної амбіції «НУЛЬ втрат води» необхідне впровадження системи третинного доочищення ефлюенту.

### 1. Впровадження мембранного біореактора (MBR):

Технологія: заміна традиційного вторинного відстійника на модуль мембранної фільтрації (мікро- або ультрафільтрація).

Очікуваний результат: мембрани забезпечать повне видалення завислих речовин  $C_{зр} < 1$  мг/л та бактерій, що є критичним для подальшого рециклінгу. MBR дозволяє підтримувати вищу концентрацію активного мулу, що підвищує загальну ефективність видалення органіки та стійкість системи.

### 2. Впровадження зворотного осмосу (RO) як фінальної стадії:

Технологія: застосування RO після MBR для знесолення води.

Очікуваний результат: зворотний осмос видалить розчинені солі, іони та залишки мікробрудників. Якість води на виході з RO наблизатиметься до дистильованої, що дозволить використовувати її для технологічних процесів, які не контактують з продуктом (миття кегів, градирні, живлення парових котлів), як це реалізовано на еталонних заводах Carlsberg.

Впровадження такої інтегрованої схеми (Існуюча ЛОС + MBR + RO) дозволить перейти від моделі «очищення до ГДК» до моделі «відновлення ресурсів», перетворивши стічні води на чисту технологічну воду, що є єдиним шляхом до досягнення стратегічної цілі «НУЛЬ втрат води».

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Аналіз стану охорони праці на об'єкті дослідження

Ефективність функціонування будь-якого великого промислового підприємства, особливо в галузі харчової промисловості, як-от ПрАТ «Карлсберг Україна», нерозривно пов'язана з належним забезпеченням охорони праці (ОП) та розбудовою комплексної системи управління охороною праці (СУОП). Впровадження та постійне вдосконалення СУОП є критичним показником відповідального менеджменту і прямо впливає на фінансові результати та продуктивність компанії. Дослідження ефективності управлінських рішень на підприємстві вимагає не лише аналізу дотримання нормативно-правових актів, але й оцінки проактивних стратегій щодо ідентифікації ризиків та формування внутрішньої культури безпеки.

Для ПрАТ «Карлсберг Україна» базовою вимогою є забезпечення безперервного функціонування СУОП відповідно до статті 13 Закону України «Про охорону праці». Це законодавче зобов'язання вимагає від роботодавця не просто реагувати на інциденти, а створювати та підтримувати організаційно-технічну структуру, здатну систематично запобігати виробничому травматизму та професійним захворюванням. У контексті міжнародних корпорацій, таких як Carlsberg, дотримання національних вимог часто інтегрується у ширші корпоративні стандарти, які можуть включати міжнародні системи управління (наприклад, стандарти серії ISO 45001), що підвищує загальну надійність і прозорість СУОП [7; 24].

Особлива роль у цьому процесі відводиться службі охорони праці підприємства. Її функціонал включає контроль за дотриманням правил та гігієни праці всіма співробітниками. Крім загальних норм, діяльність пивоварних заводів регулюється специфічними галузевими нормативними актами. Зокрема, йдеться про Правила охорони праці для працівників виробництва солоду, пива та

безалкогольних напоїв. Ці правила встановлюють детальні вимоги до безпечного виконання робіт у технологічних процесах пивоваріння, які характеризуються наявністю факторів підвищеної небезпеки, таких як робота з високими температурами, тиском та хімічними реагентами. Суворе дотримання цих галузевих вимог є необхідною базою для збереження життя, здоров'я і працездатності працівників у процесі трудової діяльності та попередження виробничого травматизму.

Належна технічна підтримка є необхідною умовою для мінімізації ризиків, пов'язаних із відмовами обладнання. Для підприємства, що використовує складні автоматизовані лінії розливу та ферментаційні системи, забезпечення належного технічного обслуговування, сертифікації та діагностики обладнання має першочергове значення. Управлінські рішення щодо інвестицій у модернізацію та технічне обслуговування мають бути постійно оптимізовані на основі отриманих даних.

Основним елементом сучасної СУОП є проактивна ідентифікація небезпек та оцінювання ризиків. Законодавство вимагає від роботодавця, зокрема ПрАТ «Карлсберг Україна», розробити та запровадити методику ідентифікації небезпек та оцінювання ризиків по всіх ланках виробничих процесів та робочих місць. Ця вимога є основою для систематичного управління безпекою, оскільки вона дозволяє переходити від реактивного реагування на нещасні випадки до їх попередження.

Ефективне управління ризиками на підприємстві передбачає проведення систематичних аудитів та оцінок ризиків у всіх виробничих підрозділах.

Мета цих аудитів полягає у виявленні потенційних небезпек та вразливих місць, на основі чого розробляються плани їх усунення або мінімізації. Процес мінімізації ризиків не може бути ізольованим від економічної реальності.

Визначено, що роботодавець повинен знижувати негативний вплив небезпечних та шкідливих факторів на працівників до рівня, який є соціально обґрунтованим та економічно досяжним. Це створює постійну напругу між ідеалом абсолютної безпеки та фінансовою доцільністю. Компанія мусить

постійно обґрунтовувати інвестиції в безпеку, демонструючи, що обраний рівень ризику є оптимальним з точки зору мінімізації потенційних втрат (від травматизму, штрафів, простоїв) та максимізації виробничої ефективності.

Типові виробничі небезпеки у пивоварній галузі, які мають бути ідентифіковані та мінімізовані на ПрАТ «Карлсберг Україна», систематизовано нижче.

Таблиця 4.1 – Оцінка головних ризиків охорони праці у виробничих процесах пивоваріння

| Типовий<br>Небезпечний Фактор                                                                   | Можливі<br>Наслідки (Ризик)                               | Вимоги СУОП/<br>Законодавча<br>База                                               | Заходи мінімізації (Carlsberg<br>Україна)                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Підвищений рівень шуму (наприклад, у відділенні розливу та компресорних)                        | Професійні захворювання (нейросенсорна втрата слуху)      | Правила ОП для виробництва пива;<br>Забезпечення ЗІЗ                              | Регулярний моніторинг робочих місць; Використання індивідуальних засобів захисту слуху; Ротація персоналу та автоматизація.     |
| Робота з посудинами під високим тиском та температурою (ферментаційні танки, пастеризатори)     | Вибух, механічний травматизм, опіки, термічні пошкодження | Належна технічна підтримка та обслуговування;<br>Дотримання Правил ОП для галузі. | Сертифікація та періодичний експертний огляд обладнання; Впровадження захисних блокувань; Спеціальне навчання.                  |
| Хімічні та біологічні небезпеки (дезінфекційні засоби, лужні та кислотні розчини для СІР-миття) | Хімічні опіки, інтоксикація, дерматити                    | Забезпечення спеодягом та засобами гігієни;<br>Методика ідентифікації небезпек.   | Використання автоматизованих систем дозування; Застосування ЗІЗ хімічного захисту; Навчання безпечному поводженню з реагентами. |
| Небезпека падіння, ковзання (вологість, розливи у виробничих цехах)                             | Виробничий травматизм, переломи, удари                    | Розробка та впровадження системи звітності про безпеку.                           | Використання протиковзких покриттів; Постійний контроль за чистотою підлог; Забезпечення спеціальним взуттям.                   |

Один з найважливіших стратегічних імперативів для великих промислових об'єктів, як-от ПрАТ «Карлсберг Україна», є перехід від формального дотримання норм до активного формування культури безпеки. Важливо розвивати культуру безпеки серед всього персоналу, що є ознакою зрілої та

ефективної СУОП. Культура безпеки передбачає, що безпека розглядається не як набір приписів, а як інтегрована цінність, яку підтримує кожен працівник.

Невід'ємною частиною цього процесу є розробка та впровадження системи звітності про безпеку. Ця система має бути спроектована таким чином, щоб співробітники могли легко та без страху повідомляти про потенційні ризики, нещасні випадки або інші проблеми. Якщо персонал проактивно повідомляє про небезпечні умови або близькі до інциденту ситуації, це дозволяє керівництву вжити заходів для усунення кореневих причин, перш ніж відбудеться серйозний травматизм.

Впровадження ефективної системи звітності є прямим шляхом до підвищення загальної ефективності управлінських рішень. Проактивна ідентифікація ризиків через внутрішню звітність забезпечує керівництво даними, необхідними для регулярного вдосконалення процесів безпеки. Це, у свою чергу, знижує витрати, пов'язані з виробничим травматизмом (оплата лікарняних, штрафи, простої обладнання), що позитивно відображається на фінансовому становищі компанії. Таким чином, інвестиції у формування високої культури безпеки та прозорі системи звітності є стратегічною інвестицією, яка безпосередньо покращує фінансові показники та продуктивність компанії.

Безпека в надзвичайних ситуаціях вимагає від підприємства планування та готовності до непередбачуваних криз. Хоча надзвичайні ситуації можуть мати різний характер (техногенні аварії, природні катаклізми, воєнні дії), досвід реагування на кризові ситуації, такі як пандемія Covid-19, демонструє необхідність гнучкості та швидкого впровадження додаткових заходів захисту. На прикладі пивоварних заводів в Україні було відзначено, що навіть під час пандемії фахівцями Держпраці надавалися додаткові рекомендації, розроблені Міністерством охорони здоров'я, які вимагали негайного впровадження. Цей досвід підкреслює, що готовність до НС включає не лише технічні, але й адміністративні та гігієнічні протоколи.

Критичним фактором забезпечення безпеки є належне забезпечення гігієни праці та засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). Роботодавець зобов'язаний

обов'язково використовувати та забезпечувати працівників підприємства засобами індивідуального захисту, спецодягом та взуттям, а також засобами гігієни. Це особливо важливо у пивоварній галузі, де існує постійний контакт з вологою, високими температурами, хімічними миючими засобами та шумом. Якість, своєчасність видачі та відповідність ЗІЗ і гігієнічних засобів є прямим індикатором дотримання вимог законодавства та піклування про здоров'я працівників.

#### 4.2 Заходи щодо забезпечення екологічної безпеки на підприємстві

Екологічна безпека ПрАТ «Карлсберг Україна» розглядається як невід'ємна складова стратегічної стійкості та корпоративної відповідальності. У сучасних умовах екологічний менеджмент переходить від простого дотримання нормативів до активного впровадження принципів циркулярної економіки та «зелених ініціатив». Ці ініціативи мають значний вплив на бренд компанії та, що важливо, дозволяють покращити фінансове становище за рахунок оптимізації ресурсоспоживання та ефективної утилізації відходів.

Система екологічного менеджменту на великому підприємстві, як-от «Карлсберг Україна», спрямована на мінімізацію негативного впливу виробництва на навколишнє середовище, що включає контроль за водоспоживанням, викидами в атмосферу та, найголовніше, управління відходами. Впровадження «зеленої ініціативи» є стратегічним рішенням, яке підвищує ефективність в роботі компанії.

Ефективність управління, зокрема, в екологічній сфері, прямо корелює із загальною ефективністю управлінських рішень, яку оцінюють через фінансові дані та ринкові показники. Якщо компанія успішно реалізує екологічні проекти (наприклад, утилізацію відходів з отриманням доходу), це свідчить про високу якість її менеджменту та забезпечує додаткову конкурентну перевагу на

ринку. Таким чином, екологічна безпека та фінансова ефективність є взаємопов'язаними показниками.

Критичним екологічним викликом для пивної індустрії у всьому світі є утилізація органічних відходів, які з'являються в процесі виробництва. Щорічний глобальний обсяг таких відходів становить близько 30 мільйонів тонн. Основними органічними відходами пивоваріння є пивна дробина (пивна шротина), солодові паростки та дріжджі.

Пивна дробина становить найбільший обсяг відходів, складаючи приблизно 30% від початкової ваги солодового зерна. Традиційно більша частина цих відходів застосовується у сільському господарстві, де фермери активно вибирають їх в якості натурального корму для годування тварин. Це є класичним прикладом циркулярної економіки, де відхід одного процесу стає сировиною для іншого. Проте, саме фізико-хімічні властивості цього основного відходу створюють суттєві обмеження для екологічної та економічної ефективності його управління.

У таблиці 4.2 подано узагальнену характеристику основних органічних відходів, що утворюються в процесі виробництва на ПрАТ «Карлсберг Україна». Представлені дані відображають їхню частку у загальному обсязі сировини, традиційні напрями утилізації та головні екологічні виклики, пов'язані з подальшою переробкою чи використанням цих відходів. Такий аналіз дозволяє визначити потенціал для впровадження більш сталих технологій поводження з побічними продуктами пивоварного виробництва.

Таблиця 4.2 – Характеристика основних органічних відходів прат «Карлсберг Україна» та виклики утилізації

| Тип відходу | Приблизна частка від сировини | Традиційний шлях утилізації | Головні екологічні виклики та обмеження |
|-------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|
|-------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|

Продовження таблиці 4.2

|                               |                                 |                                         |                                                                                                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Пивна дробина (шротина)       | Висока (до 30% від ваги солоду) | Корм для тварин (сільське господарство) | Короткий термін зберігання, що значно ускладнює логістику та обмежує географію збуту. Висока вологість.         |
| Солодові паростки             | Середня/Низька                  | Кормові добавки, добрива                | Необхідність обробки (сушіння) для забезпечення тривалого зберігання та запобігання мікробіологічному псуванню. |
| Пивні дріжджі (відпрацьовані) | Середня/Низька                  | Кормові та фармацевтичні добавки        | Вимагають спеціалізованої переробки для екстракції високоцінних білкових компонентів.                           |

Головна екологічна та економічна проблема, з якою стикається ПрАТ «Карлсберг Україна» щодо утилізації органічних відходів, полягає у фізичній нестійкості основного відходу – пивної дробини. Пивна дробина має короткий термін зберігання, і це фізичне обмеження значно ускладнює логістику.

Короткий термін зберігання дробини перетворює її на швидкопсувний продукт. Це обмежує радіус ефективної доставки до фермерських господарств. Якщо компанія не може швидко реалізувати весь обсяг, вона стикається з необхідністю додаткових витрат на утилізацію або, у гіршому випадку, погіршенням екологічної ситуації на власній території. Це логістичне обмеження є критичним бар'єром, який перешкоджає реалізації високомаржинальних «зелених ініціатив», таких як централізована переробка дробини в біопаливо або біопластик, оскільки такі проекти вимагають стабільного та довготривалого ланцюга постачання сировини.

Отже, екологічна безпека Carlsberg Україна прямо залежить від здатності управлінського персоналу подолати цей логістичний виклик. Витрати на швидку, але неефективну логістику або вимушену низькорентабельну реалізацію знижують загальну фінансову ефективність компанії, що прямо суперечить меті покращення фінансового становища через підвищення ефективності управлінських рішень. З точки зору управлінської ефективності, будь-яке

рішення, яке подовжує термін зберігання цього цінного вторинного ресурсу, розширює ринок збуту та підвищує рентабельність утилізації.

Для забезпечення довгострокової екологічної безпеки та підвищення фінансової ефективності, ПрАТ «Карлсберг Україна» має сфокусуватися на інноваційних рішеннях, що стосуються управління відходами, а також систематичному вдосконаленні екологічних процесів на основі даних.

Подолання логістичного бар'єра, спричиненого коротким терміном зберігання пивної дробини, вимагає інвестицій у технології консервації. Рекомендовано вивчити та впровадити технології сушіння, грануляції або силосування дробини. Ці процеси можуть бути енергоємними, але вони перетворюють відхід із швидкопсувного товару на стабільний, довготривалий вторинний ресурс. Це відкриває доступ до ширших, можливо, експортних ринків, де дробина може бути використана не лише як корм, а й як субстрат для виробництва біогазу або розробки нових функціональних харчових інгредієнтів. Перетворення логістичного тягаря на стабільне джерело доходу буде прямим свідченням підвищення ефективності управлінських рішень.

Хоча первинні дослідні матеріали акцентують увагу на органічних відходах, для пивоварної галузі критично важливим є також управління водним слідом та стічними водами. Рекомендації мають включати вдосконалення систем очищення стічних вод та впровадження внутрішніх технологій рециклінгу води. Систематичні аудити та оцінки ризиків, згадані у контексті ОП, мають бути поширені й на екологічні процеси, забезпечуючи регулярне вдосконалення екологічних практик на основі отриманих емпіричних даних.

## ВИСНОВКИ

За результатами виконаного дослідження, що включало комплексний огляд наукової літератури, емпіричний лабораторний експеримент, статистичну обробку даних та порівняльний аналіз із національними нормативами і корпоративною екологічною стратегією, було досягнуто поставленої мети кваліфікаційної роботи. Виходячи з детальної еколого-технологічної оцінки ефективності локальних очисних споруд ПрАТ «Карлсберг Україна» та аналізу системи управління органічними відходами, сформульовано наступні висновки, які узагальнюють результати розв'язання поставлених завдань.

1. В рамках першого завдання було здійснено систематизацію та критичний аналіз міжнародного та вітчизняного досвіду очищення висококонцентрованих стічних вод пивоварного виробництва. Аналіз підтвердив, що сучасна світова практика тяжіє до інтегрованих біо-мембранних технологій (MBR, UASB) з подальшим застосуванням зворотного осмосу (RO) та інших третинних методів доочищення. Це дозволяє не лише досягати високих нормативів скиду, але й реалізовувати стратегії рециклінгу (повторного використання) води, що є основою концепції циркулярної економіки.

Було встановлено, що існуючі біологічні очисні споруди (як правило, UASB або активний мул) є достатніми для первинного видалення органіки, але не забезпечують необхідної якості для високотехнологічного рециклінгу, що вимагає впровадження саме мембранних технологій (як-от MBR або RO), які було обрано в подальшому як основу для інженерних рекомендацій.

2. Проведено повну еколого-технологічну характеристику ПрАТ «Карлсберг Україна» в середовищі його впливу на довкілля та інтеграції в глобальну корпоративну стратегію «Together Towards ZERO and Beyond» (TTZAB). Об'єкт дослідження демонструє відповідальний підхід до екологічного управління, що проявляється у:

- використанні локальних очисних споруд, здатних обробляти значні обсяги висококонцентрованого стоку;
- прагненні до реалізації цілей ТТЗАВ, зокрема до амбітної цілі «НУЛЬ втрат води» до 2030 року, що вимагає переходу від моделі «очищення-скид» до моделі «очищення-рециклінг».

Застосування методів аналізу та синтезу дозволило визначити, що початковий склад стічних вод є типовим для галузі: високе органічне навантаження (ХСК до 5200 мг  $O_2$ /л), висока біодеградабельність ( $БСК_5/ХСК$  0.57) та значна нестабільність рН, що підтверджує складність технологічного процесу очищення.

3. В ході лабораторного експерименту та подальшого статистичного аналізу було теоретично та експериментально визначено якісні та кількісні показники функціонування існуючих ЛОС:

- висока ефективність органічного видалення. Встановлена ефективність видалення основних органічних забруднень сягає  $ХСК = 97.1\%$  та  $БСК_5 = 99.2\%$ . Це свідчить про високу якість роботи основного біологічного реактора та дотримання базових технологічних регламентів;

- відповідність національним нормативам (ГДК). Якість очищеної води (ефлюенту) на виході ЛОС ( $ХСК$  150 мг  $O_2$ /л,  $БСК_5$  25 мг  $O_2$ /л) значно нижча за встановлені національні гранично допустимі концентрації (ГДК), що підтверджує повну екологічну безпеку поточного скиду у водоприймач та відсутність ризику накладення штрафних санкцій;

- виявлення технологічного розриву. Проте, порівняльний аналіз із корпоративними вимогами для повторного використання (рециклінгу) виявив технологічний розрив. Існуюча якість очищення не відповідає вимогам для використання води у високоякісних технологічних процесах. Цей розрив є головним висновком дослідження, який науково обґрунтовує необхідність подальшої модернізації.

4. Проаналізовано стан охорони праці та розроблено заходи для забезпечення екологічної безпеки, інтегровані з ефективним управлінням основними органічними відходами:

- ідентифіковано головні ризики пивоварного виробництва (шум, хімічна небезпека, пов'язана з СІР-мийками, ризики роботи під тиском) та запропоновано системні підходи до їх мінімізації. Було обґрунтовано, що перехід до проактивної культури безпеки та впровадження ефективної системи звітності є необхідною умовою для забезпечення стабільності технологічного процесу та зниження виробничих втрат;

- встановлено, що головним викликом в управлінні органічними відходами (пивна дробина) є її короткий термін зберігання. Цей логістичний бар'єр ускладнює своєчасну утилізацію та перешкоджає реалізації її високої економічної цінності як корму чи сировини для біоенергетики.

4. На основі виявленого технологічного розриву та логістичного бар'єра було обґрунтовано та розроблено конкретні інженерно-технологічні та управлінські рекомендації, спрямовані на досягнення корпоративної стратегії «НУЛЬ втрат води» та підвищення загальної екологічної та економічної стійкості.

Для досягнення якості води, придатної для рециклінгу, обґрунтовано необхідність впровадження третинної стадії доочищення:

1. Мембранний Біореактор (MBR) забезпечить повне видалення завислих речовин та мікроорганізмів, захищаючи подальше обладнання.

2. Зворотний Осмос (RO) забезпечить знесолення води, доводячи її якість до рівня, необхідного для високотехнологічних процесів (наприклад, живлення парових котлів, технологічне миття).

Для ефективного управління пивною дробиною та перетворення відходу на дохід обґрунтовано інвестиції в технології консервації (сушіння, грануляція). Це дозволить усунути логістичне обмеження, розширити ринок збуту та забезпечити підприємству стабільне джерело доходу, інтегруючи його в модель циркулярної економіки.

Кваліфікаційна робота підтвердила високий рівень поточної локальної очисної ефективності ПрАТ «Карлсберг Україна» щодо національних стандартів. Водночас, дослідження чітко ідентифікувало ключові вузькі місця (технологічний розрив у якості очищення для рециклінгу та логістичний бар'єр утилізації дробини). Розроблені інженерно-управлінські рекомендації надають чіткий, науково обґрунтований план дій, необхідний для подолання цих бар'єрів та повної реалізації корпоративної стратегії «НУЛЬ втрат води».

## ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Реалізація глобальної корпоративної стратегії «Разом до НУЛЯ і далі» (Together Towards ZERO and Beyond, TTZAB) вимагає від ПрАТ «Карлсберг Україна» не лише дотримання місцевих екологічних нормативів, а й впровадження принципів циркулярної економіки. Центральною амбіцією цього напрямку є досягнення «НУЛЬ втрат води», що можливо лише через високоякісний рециклінг технологічної води. Для забезпечення цього переходу необхідно провести модернізацію локальних очисних споруд (ЛОС) шляхом інтеграції передових технологій третинного очищення.

Комплексний аналіз роботи існуючих ЛОС підтвердив їхню високу ефективність у видаленні основних органічних забруднень, що є результатом якісно налагодженого біологічного процесу. Ефективність видалення хімічного споживання кисню (ХСК) досягає 97.1%, а біохімічного споживання кисню (БСК<sub>5</sub>) – 99.2%. Фінальна якість очищеної води (ефлюенту) зі значеннями ХСК  $150 \pm 10$  мг О<sub>2</sub>/л та БСК  $25 \pm 5$  мг О<sub>2</sub>/л значно нижча за встановлені національні гранично допустимі концентрації для скиду у водоприймач.

Незважаючи на цю відмінну відповідність національним вимогам, досягнута якість очищеної води не задовольняє внутрішніх корпоративних вимог для її повторного використання у технологічних процесах. Високоякісний рециклінг, необхідний для миття обладнання або живлення парових котлів, вимагає, наприклад, ХСК  $\leq 50$  мг/л для мийки та  $\leq 10$  мг/л для котлів, а також майже повну відсутність завислих речовин ( $ЗР \leq 5$  мг/л). Таким чином, встановлено чіткий технологічний розрив між поточною ефективністю очищення, орієнтованою на скид, та стратегічними вимогами, орієнтованими на відновлення ресурсу. Подолання цього розриву є обов'язковою передумовою для досягнення стратегічної цілі «НУЛЬ втрат води».

Для подолання технологічного розриву та досягнення якості води, придатної для рециклінгу, рекомендовано запровадити двостадійну систему

третинного доочищення, що включає мембранний біореактор та зворотний осмос.

Першим кроком має стати інтеграція Мембранного Біореактора (MBR) в технологічну схему. Ця технологія поєднує біологічне очищення з фізичною мембранною фільтрацією, ефективно замінюючи традиційне вторинне відстоювання. Використання мембран (мікро- або ультрафільтраційних) дозволяє повністю затримати активний мул, бактерії та всі завислі частинки.

Результатом впровадження MBR є отримання ефлюенту надзвичайно високої якості, в якому концентрація завислих речовин становить менше 1 мг/л. Така ступінь чистоти є критичною для захисту наступного дороговартісного обладнання – мембран зворотного осмосу – від забруднення та механічних пошкоджень, забезпечуючи стабільну роботу всього циклу рециклінгу.

Зворотний осмос (RO) є фінальним, обов'язковим етапом для досягнення цілей TTZ. Мембрани RO здатні видаляти розчинені солі, іони та мікромолекули, які не були видалені на попередніх стадіях.

Впровадження RO дозволяє довести якість води майже до дистильованої, що дає можливість використовувати її у найбільш чутливих технологічних процесах, які не контактують з продуктом (наприклад, для живлення високотискових парових котлів, миття ємностей, а також як підживлення систем охолодження – градирень). Цей інженерний вибір безпосередньо відповідає світовій практиці Carlsberg Group, зокрема еталонному заводу у Фредерісії (Данія), де завдяки MBR та RO (з використанням DesaliTec™ Closed Circuit Reverse Osmosis – CCRO) досягається 90% повторного використання технологічної води. Інвестиція у схему ЛОС + MBR + RO перетворює підприємство на лідера із замкненого циклу водокористування.

Впровадження RO несе ризик створення нового відходу – висококонцентрованого сольового розчину (концентрату). Це високомінералізований стік, який не можна скидати безпосередньо у довкілля. Для мінімізації впливу рекомендовано вивчити та застосувати передові

технології, що забезпечують максимальне вилучення чистої води та мінімізацію об'єму кінцевого відходу:

1. Технології з нульовим скидом рідини (ZLD). Використання енергоефективних систем, таких як механічна рекомпресія пари (MVR) або кристалізація, для перетворення концентрату на тверді солі, які простіше утилізувати.

2. Застосування CCRO. Технологія Closed Circuit Reverse Osmosis (CCRO), яка вже використовується Carlsberg, дозволяє знизити обсяг концентрату порівняно з традиційним зворотним осмосом.

Перед капітальними інвестиціями у третинне очищення необхідно підвищити операційну надійність існуючих ЛОС, оскільки помірна нестабільність ключових показників ефлюенту (ХСК, ЗР, Р) з коефіцієнтом варіації (CV) до 25.0% свідчить про чутливість системи до шоків навантажень.

Критичною проблемою пивоварних стоків є екстремальні та швидкі коливання рН у діапазоні 4.2-11.8, спричинені періодичними циклами безрозбірної мийки (Clean-in-Place, CIP). Такі коливання можуть викликати шок і пригнічення мікроорганізмів у біореакторі.

Рекомендовано модернізувати усереднювальний резервуар шляхом впровадження автоматизованої системи пропорційного дозування реагентів. З точки зору ресурсозбереження та зниження експлуатаційних витрат, пріоритет має надаватися внутрішньому рециклінгу: відпрацьовані кислотні CIP-розчини (наприклад, фосфорна кислота) мають використовуватися для нейтралізації лужних стоків CIP, що знижує потребу у закупівлі зовнішніх нейтралізуючих хімікатів.

Ефективність видалення загального Азоту (N) на рівні 78.6% є найнижчою серед усіх основних показників. Хоча це відповідає ГДК, поліпшення цього показника підвищить загальну стабільність системи. Низька ефективність, ймовірно, обумовлена дефіцитом легкодоступного органічного вуглецю в аноксидній зоні, який є необхідним електронодонором для перетворення нітратів на газоподібний азот.

Для посилення процесу денітрифікації необхідно:

1. Оптимізувати внутрішній рецикл (IR) нітратного стоку до аноксидної зони.

2. У разі підтвердження дефіциту вуглецю, запровадити контрольоване дозування зовнішнього вуглецевого донора (наприклад, метанолу або оцтової кислоти) для забезпечення оптимального співвідношення C:N, що гарантує стійке та повне видалення азоту.

Мінливість показників ЗР ( $CV = 25.0\%$ ) свідчить про ризики, пов'язані з винесенням активного мулу або нестабільною роботою розділювальних апаратів (наприклад, напірної флотації – DAF).

Рекомендовано вжити таких заходів:

1. Провести повний аудит та оптимізацію роботи DAF (якщо вона використовується) та вторинного відстоювання.

2. Мінімізувати гідравлічні шоки шляхом жорсткого контролю вихідного насоса з усереднювача.

3. Розглянути можливість застосування інноваційних методів, зокрема кавітаційної обробки надлишкового активного мулу. Вітчизняні наукові розробки підтверджують, що кавітація може руйнувати структуру нитчастих бактерій, які спричиняють розбухання мулу, підвищуючи його осаджуваність та загальну надійність вторинного очищення.

Екологічна та фінансова стійкість ПрАТ «Карлсберг Україна» залежить від ефективного управління основними органічними відходами, насамперед пивною дробиною, яка становить до 30% від початкової ваги солодового зерна. Традиційно дробина використовується як корм для тварин, що є класичним прикладом циркулярної економіки. Однак, внутрішні властивості цього відходу створюють серйозні управлінські та логістичні виклики.

Ключовим обмеженням для валоризації (підвищення цінності) пивної дробини є її висока вологість (75-80%) та, як наслідок, короткий термін зберігання (2-3 дні). Цей фізичний фактор створює критичний логістичний бар'єр. Підприємство змушене реалізовувати швидкопсувний товар у

обмеженому радіусі, що знижує його ринкову вартість і створює ризик псування, якщо не вдається швидко знайти споживача. Це логістичне обмеження прямо перешкоджає підвищенню фінансової стійкості, оскільки унеможлиблює вихід на високорентабельні ринки.

Подолання логістичного бар'єра вимагає інвестиційного переходу від реалізації рідкої дробини до її консервації. Технології консервації (зокрема, сушіння або грануляція) знижують вологість до 10-12%. Сушіння забезпечує тривалий термін зберігання (6+ місяців), роблячи продукт стабільним, рентабельним для виробництва та транспортування на великі відстані. Це стратегічне управлінське рішення перетворює екологічний тягар на стабільне джерело доходу.

Для забезпечення економічної доцільності проєкту сушіння необхідно застосовувати енергоефективні технології, зважаючи на високу вартість енергоресурсів.

Технічні рекомендації:

1. Обов'язкове механічне зневоднення. Перед термічним сушінням необхідна стадія механічного зневоднення (наприклад, за допомогою стрічкового або шнекового преса) для зниження вологості з 80% до 60-68%. Це зменшує об'єм води, яку потрібно випарувати, що критично мінімізує споживання теплової енергії.

2. Сушіння у псевдозрідженому шарі. Рекомендовано впровадження сучасних сушильних комплексів, які використовують принцип псевдозрідженого (киплячого) шару (наприклад, моделі СКСП, що працюють у паро-газовому режимі). Цей метод забезпечує інтенсивний теплообмін та високу рівномірність просушування, що є важливим для термолабільних речовин дробини.<sup>7</sup>

3. Енергозбереження. При виборі обладнання перевагу слід надавати тим, які дозволяють використовувати вторинні джерела тепла або дешеві місцеві паливні ресурси (брикети, щепи) замість дорогого газу чи електроенергії. Деякі рішення, запропоновані вітчизняними постачальниками, демонструють зниження питомого споживання електроенергії на 30-35%.

Пивні дріжджі також є цінним відходом, багатим на протеїн.<sup>1</sup> Рекомендовано інтегрувати утилізацію дріжджів у процес сушіння дробини.

Слід запровадити етап змішування відпрацьованих (автолізованих або термолізованих) дріжджів зі зневодненою пивною дробиною перед подачею у сушильний апарат.

Додавання дріжджів підвищує кінцевий рівень протеїну в сушеній дробині. Вищий вміст протеїну прямо підвищує якість та ринкову вартість готового продукту як преміального високобілкового корму. Це перетворює утилізацію двох видів відходів (дробини та дріжджів) на єдиний, високорентабельний потік доходу. Оптимізація управління органічними відходами таким чином є стратегічною інвестицією, що підвищує фінансову стійкість компанії.

Ефективна система управління охороною праці (СУОП) та оперативна безпека є невід'ємною частиною корпоративної стратегії ТТЗАВ, що включає амбіцію «НУЛЬ нещасних випадків». Впровадження проактивних управлінських інструментів забезпечує стабільність виробництва та мінімізує виробничі втрати.

СУОП має фокусуватися на запобіганні, а не лише на реагуванні на інциденти. Рекомендовано впровадити обов'язкову та заохочувальну систему добровільної звітності про «Ситуації, близькі до нещасного випадку» (Near Misses) та небезпечні умови. Забезпечення анонімності та відсутність каральних заходів за звітність про дрібні помилки створює культуру безпеки. Аналіз кореневих причин цих «майже аварій» дозволяє ідентифікувати та усунути системні ризики, перш ніж вони призведуть до серйозного травматизму, що є ключем до підвищення ефективності управлінських рішень.

Слід проводити систематичну оцінку ризиків згідно з галузевими нормативними актами для пивоварного виробництва. Особлива увага має приділятися специфічним небезпекам:

1. Хімічна небезпека. Ризики, пов'язані з роботою з концентрованими лужними та кислотними реагентами під час СІР-миття. Необхідне забезпечення автоматизованих систем дозування та наявність станцій екстреного промивання.

2. Фізична небезпека. Робота з обладнанням під високим тиском і температурою (пастеризатори, ферментаційні танки). Ризик вибуху, механічного травматизму та опіків.

3. Ергономічні/гігієнічні ризики. Підвищений рівень шуму у цеху розливу та ризик падіння/ковзання через постійну вологість у виробничих цехах.

Роботодавець зобов'язаний забезпечувати працівників спецодягом, взуттям та засобами індивідуального захисту.<sup>1</sup> Для ПрАТ «Карлсберг Україна» критичним є встановлення жорсткого внутрішнього стандарту, що гарантує відповідність ЗІЗ специфічним ризикам (наприклад, хімічні рукавички, протишумові навушники/беруші, протиковзке взуття).<sup>1</sup> Контроль за своєчасним виданням та використанням ЗІЗ є прямим індикатором дотримання вимог законодавства та піклування про здоров'я працівників.

Необхідно суворо дотримуватись графіків технічного обслуговування, сертифікації та експертного огляду всього критично важливого обладнання, що працює під тиском або з високими температурами. Це запобігає техногенним аваріям, які можуть призвести до виробничого травматизму, а також до значних фінансових втрат через простої виробництва та відновлення обладнання.

Екологічна безпека підприємства не обмежується лише очищенням води; вона також залежить від управління відходами, які можуть становити загрозу забруднення.

Слід розглядати консервацію пивної дробини не лише як економічну можливість, але і як захід екологічної безпеки.<sup>1</sup> Неефективна логістика рідкої дробини та її швидке псування несуть ризик локального мікробіологічного забруднення ґрунтів та стоків. Перехід до сушіння дробини усуває цей ризик, підвищуючи екологічну безпеку прилеглих територій.

Необхідно розробити деталізовані протоколи дій у разі відмови основних вузлів ЛОС (наприклад, вихід з ладу аераторів або біореактора). Слід забезпечити наявність резервних ємностей достатнього об'єму для тимчасового накопичення висококонцентрованих стоків, щоб запобігти аварійному скиду неочищеної води, що може призвести до значних екологічних штрафів і шкоди.

Результати дослідження підтверджують високий рівень поточної ефективності ЛОС ПрАТ «Карлсберг Україна» щодо національних нормативів, однак виявляють критичні вузькі місця, які перешкоджають реалізації глобальної стратегії сталого розвитку.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Анаеробна біологічна очистка стічних вод виробництва цукру. *Головна сторінка*. URL: <https://docs.academia.vn.ua/handle/123456789/609> (дата звернення: 26.09.2025).
2. Анаеробна біологічна технологія очищення промислових стічних вод. URL: <https://ua.sewageclean.com/info/industrial-wastewater-treatment-anaerobic-biol-63875460.html> (дата звернення: 26.09.2025).
3. Гнатюк Н. О. Загальнонаукові методи дослідження. URL: <https://dspace.udpu.edu.ua/bitstream/6789/1751/1/Загальнонаукові%20методи%20дослідження.pdf> (дата звернення: 11.10.2025).
4. Детальніше про механічне очищення стічних вод. *Акваполімер інжиніринг*. URL: <https://aquapolymer.com.ua/blog/detalnishe-pro-mehanichne-ochyshhennya-stichnyh-vod/> (дата звернення: 26.09.2025).
5. ДСТУ 4077-2001 Якість води. Визначення pH (ISO 10523:1994, MOD). *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України*. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=52791](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=52791) (дата звернення: 12.10.2025).
6. ДСТУ EN 872:2013 Якість води. Визначення вмісту завислих твердих частинок методом фільтрування через фільтри зі скловолокна (EN 872:2005, IDT). *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України*. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=60387](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=60387) (дата звернення: 12.10.2025).
7. ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України*. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=88004](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88004) (дата звернення: 15.10.2025).

8. ДСТУ ISO 5663:2007 Якість води. Визначення азоту за К`ельдалем. Метод після мінералізації із застосуванням селену як каталізатора (ISO 5663:1984, IDT). *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України.* URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=50529](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50529) (дата звернення: 12.10.2025).

9. ДСТУ ISO 5667-10:2005 Якість води. Відбирання проб. Частина 10. Настанови щодо відбирання проб стічних вод (ISO 5667-10:1992, IDT). *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України.* URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=52415](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=52415) (дата звернення: 12.10.2025).

10. ДСТУ ISO 5667-15:2007 Якість води. Відбирання проб. Частина 15. Настанови щодо зберігання та поводження з пробами мулу і осадів (ISO 5667-15:1999, IDT). *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України.* URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=67555](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=67555) (дата звернення: 12.10.2025).

11. ДСТУ ISO 5667-3:2001 Якість води. Відбирання проб. Частина 3. Настанови щодо зберігання та поводження з пробами (ISO 5667-3:1994, IDT). *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України.* URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=54648](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54648) (дата звернення: 12.10.2025).

12. ДСТУ ISO 5815-1:2009 Якість води. Визначення біохімічного споживання кисню після n днів (БСК<sub>n</sub>). Частина 1. Метод розведення та засівання з додаванням алілтіосечовини (ISO 5815-1:2003, IDT). *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України.* URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=29531](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=29531) (дата звернення: 12.10.2025).

13. ДСТУ ISO 6878:2008 Якість води. Визначення фосфору. Спектрометричний метод із застосуванням амонію молібдату (ISO 6878:2004, IDT). *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України.*

URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=58908](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=58908) (дата звернення: 12.10.2025).

14. Екологічні проблеми крафтових пивоварень та способи їх вирішення. *DSpace Repository*. URL: <https://ena.lpnu.ua/items/4099b3cb-0704-49ad-a92a-8ca03f35139f> (дата звернення: 26.09.2025).

15. Звіт про прозорість. URL: <https://www.pwc.com/ua/uk/about/pwc-audit-transparency-report-2024.pdf> (дата звернення: 11.10.2025).

16. Карлсберг Україна ⇔ все про компанію ► MIND.BRAND | Mind.ua. *Mind.ua*. URL: <https://mind.ua/companies/1555-karlsberg-ukrayina> (дата звернення: 10.10.2025).

17. Карлсберг Україна, Прат |Україна, м. Запоріжжя, вул. Стуса Василя, 6 |00377511. *КАРЛСБЕРГ УКРАЇНА, ПРАТ |Україна, м. Запоріжжя, вул. Стуса Василя, 6 |00377511*. URL: <https://carlsbergukraine.business-guide.com.ua/> (дата звернення: 10.10.2025).

18. КНД 211.1.4.021-95. Методика визначення хімічного споживання кисню (ХСК) в поверхневих і стічних водах. *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України*. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=53450](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=53450) (дата звернення: 12.10.2025).

19. Корницький В. В. Застосування кавітації для очищення води. *ELARTU – Інституційний репозитарій ТНТУ імені Івана Пулюя: Домівка*. URL: [https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/43796/2/MNPK\\_2023\\_Kornytskyi\\_V\\_V-Application\\_of\\_cavitation\\_297-298.pdf](https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/43796/2/MNPK_2023_Kornytskyi_V_V-Application_of_cavitation_297-298.pdf) (дата звернення: 26.09.2025).

20. Левандовський Л.В. Природоохоронні технології та обладнання. Київ : НУХТ, 2013. 243 с.

21. Мальований М. Проблема негативного впливу поверхнево-активних речовин і синтетичних мийних засобів на гідросферу. URL: [https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2015/25\\_2/18.pdf](https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2015/25_2/18.pdf) (дата звернення: 25.09.2025).

22. Методи і техніка досліджень. *Навчальні матеріали ТДАТУ*. URL: [https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv\\_10/page3.html](https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_10/page3.html) (дата звернення: 11.10.2025).

23. Про затвердження Порядку перевірки, взяття проб води та проведення їх аналізу: Постанова Каб. Міністрів України від 21.08.2019 № 828. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/828-2019-п#Text> (дата звернення: 12.10.2025).

24. Про охорону праці. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (дата звернення: 15.10.2025).

25. Розробка заходів екологізації технологій очищення концентрованих стічних вод харчових виробництв. URL: <https://ontu.edu.ua/download/Winning-entries-TZNS.pdf> (дата звернення: 25.09.2025).

26. Савчук Л. В., Курилець О. Г., Оленич Р. Р. Шляхи зменшення негативного впливу стічних вод пивзаводів на довкілля. *Academic Journals and Conferences* |. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/3994/savchuk.pdf> (дата звернення: 25.09.2025).

27. Технологічний опис схеми очищення стічних вод від пивзаводів. URL: <https://ete.net.ua/ochyshhennya-stichnyh-vod-vid-pyvzavodiv/> (дата звернення: 26.09.2025).

28. Який метод очищення стічних вод необхідно застосовувати на підприємстві? *Журнал ECOBUSINESS*. URL: <https://ecolog-ua.com/news/yakyy-metod-ochyshchennya-stichnyh-vod-neobhidno-zastosovuvaty-na-pidpryyemstvi> (дата звернення: 26.09.2025).

29. Anaerobic digestion model to enhance treatment of brewery wastewater for biogas production using UASB reactor. / A. M. Enitan et al. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*. 2015. URL: <https://hdl.handle.net/10321/2321> (date of access: 25.09.2025).

30. Arimieari L. W., Akari C. D. Physicochemical characteristics of wastewater from brewery in port Harcourt, Nigeria. *IRE Journals - International Science &*

- Engineering Academic Research Journal.*  
 URL: <https://www.irejournals.com/formatedpaper/1702540.pdf> (date of access: 25.09.2025).
31. Brewery saves 1 billion litres of water - WaterCycle Denmark. *WaterCycle Denmark*. URL: <https://watercycledenmark.com/showcase/carlsberg/> (date of access: 10.10.2025).
32. Brewery Wastewater Treatment | Specialty Treatment Solutions. *Specialty Treatment Solutions*. URL: <https://www.stswatertreatment.com/applications/brewery-wastewater-treatment/> (date of access: 26.09.2025).
33. Brewery Wastewater Treatment. *The Brewer's Handbook: A Complete Book to Brewing Beer*. URL: [https://www.beer-brewing.com/beer\\_brewing/beer\\_brewing\\_brewery\\_wastewater\\_management/brewery\\_wastewater\\_treatment%20.htm](https://www.beer-brewing.com/beer_brewing/beer_brewing_brewery_wastewater_management/brewery_wastewater_treatment%20.htm) (date of access: 26.09.2025).
34. Budgen J., Le-Clech P. Assessment of brewery wastewater treatment by an attached growth bioreactor. *H2. Open Journal*. 2020. Vol. 3, no. 1. P. 32–45. URL: <https://doi.org/10.2166/h2oj.2020.023> (date of access: 28.09.2025).
35. Carlsberg Group concludes Together Towards ZERO programme, exceeding targets on carbon and water. *Carlsberg Group*. URL: <https://www.carlsberggroup.com/newsroom/carlsberg-group-concludes-together-towards-zero-programme-exceeding-targets-on-carbon-and-water/> (date of access: 10.10.2025).
36. Carlsberg taps into process water reuse with onsite treatment. URL: <https://www.grundfos.com/us/about-us/cases/carlsberg-taps-into-process-water-reuse-with-onsite-treatment> (date of access: 26.09.2025).
37. Carlsberg to Achieve Zero Carbon Emissions at Its Breweries by 2030. URL: <https://stateofgreen.com/en/news/carlsberg-to-achieve-zero-carbon-emissions-at-its-breweries-by-2030/> (date of access: 10.10.2025).
38. Carlsberg Ukraine. *Carlsberg Ukraine*. URL: <https://carlsbergukraine.com/> (date of access: 10.10.2025).

URL: [https://carlsbergvietnam.vn/media/jb3ogk3n/pr\\_together-towards-zero.pdf](https://carlsbergvietnam.vn/media/jb3ogk3n/pr_together-towards-zero.pdf) (дата звернення: 10.10.2025).

40. Characterization of brewery wastewater composition / A. M. Enitan et al. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*. 2015. Vol. 9, no. 9. P. 1073–1076. URL: <https://doi.org/10.51415/10321/2992> (date of access: 28.09.2025).

41. Devolli A. Evaluation of brewery waste and its reduction methods. URL: [https://www.researchgate.net/publication/329529123\\_Evaluation\\_of\\_brewery\\_waste\\_and\\_its\\_reduction\\_methods](https://www.researchgate.net/publication/329529123_Evaluation_of_brewery_waste_and_its_reduction_methods) (date of access: 25.09.2025).

42. ESG 3BIT CARLSBERG UKRAINE. URL: [https://carlsbergukraine.com/media/viedo2a3/2022\\_report\\_ukr-1.pdf](https://carlsbergukraine.com/media/viedo2a3/2022_report_ukr-1.pdf) (дата звернення: 11.10.2025).

43. Fadini P. S., Jardim W. F., Guimarães J. R. Evaluation of organic load measurement techniques in a sewage and waste stabilisation pond. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 2004. Vol. 15, no. 1. P. 131–135. URL: <https://doi.org/10.1590/s0103-50532004000100020> (date of access: 25.09.2025).

44. Inyang U. E. Thermodynamic and Isotherms Studies on the Application of Modified Activated Carbon Developed From Periwinkle Shells for the Adsorption of Heavy Metals from Waste Water *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2025 URL: [https://www.researchgate.net/publication/394460665\\_Thermodynamic\\_and\\_Isotherms\\_Studies\\_on\\_the\\_Application\\_of\\_Modified\\_Activated\\_Carbon\\_Developed\\_From\\_Periwinkle\\_Shells\\_for\\_the\\_Adsorption\\_of\\_Heavy\\_Metals\\_from\\_Waste\\_Water](https://www.researchgate.net/publication/394460665_Thermodynamic_and_Isotherms_Studies_on_the_Application_of_Modified_Activated_Carbon_Developed_From_Periwinkle_Shells_for_the_Adsorption_of_Heavy_Metals_from_Waste_Water) (date of access: 25.09.2025).

45. Inyang U. E., Bassey E. N., Inyang J. D. Characterization of brewery effluent fluid. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2012 URL: [https://www.researchgate.net/publication/304748290\\_Characterization\\_of\\_Brewery\\_Effluent\\_Fluid](https://www.researchgate.net/publication/304748290_Characterization_of_Brewery_Effluent_Fluid) (date of access: 25.09.2025).

46. Transforming Brewery Wastewater into a Valuable Resource - Water Reuse Europe. *Water Reuse Europe*. URL: <https://www.water-reuse-europe.org/transforming-brewery-wastewater-into-a-valuable-resource/> (date of access: 26.09.2025).

47. Treatment of a Real Brewery Wastewater with Coagulation and Flocculation: Impact on Organic Substance and Nutrient Concentrations / M. Carnevale Miino et al. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, no. 6. P. 2999. URL: <https://doi.org/10.3390/app15062999> (date of access: 28.09.2025).

48. Wastewater Best Management Practices for Breweries. *Access Denied*. URL: <https://www.des.nh.gov/sites/g/files/ehbemt341/files/documents/2020-01/wastewater-bmps-breweries.pdf> (date of access: 26.09.2025).

49. Wastewater Treatment | Alchemist Beer. *Alchemist Beer*. URL: <https://alchemistbeer.com/sustainability/wastewater-treatment/> (date of access: 26.09.2025).

50. Wastewater treatment in the brewery industry | Waterleau. *A world-leading water technology company* | Waterleau. URL: <https://www.waterleau.com/en/projects/brewery-wastewater-treatment#:~:text=These%20systems%20typically%20involve%20a,aerobic%20treatment%20and%20membrane%20filtration.> (date of access: 26.09.2025).

51. Wastewater Treatment Services: What to Know. *Fveng*. URL: <https://www.fveng.com/brewery-wastewater-treatment-services-the-ins-outs/> (date of access: 25.09.2025).

52. What is the difference between BOD, COD or TOC?. *H2O Engineering & Trading*. URL: <https://h2o-engineering.com/what-is-the-difference-between-bod-cod-or-toc/> (date of access: 25.09.2025).