

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології  
кафедра технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР**

на тему:

«Зниження екологічного впливу заводу харчової промисловості на  
поверхневу водойму»

Богомазюк Борис Петрович

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології  
кафедра технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТЗНСтаОП

\_\_\_\_\_ Т.М. Ткаченко

„\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО РІВНЯ МАГІСТР**

**«Удосконалення технології очищення стічних вод у дріжджовому  
виробництві»**

Виконав студент групи ЕКм-24

Богомазюк Борис Петрович

Спеціальність: 101«Екологія»

Керівник: к.т.н., доц Жукова О.Г.

Рецензент: \_\_\_\_\_

Київ 2025 р

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології  
Кафедра технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці  
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр  
Спеціальність: 101 «Екологія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТЗНС та ОП

\_\_\_\_\_ Т.М. Ткаченко

„\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2025 року

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломну роботу студенту**

1.Тема роботи: Удосконалення технології очищення стічних вод у дріжджовому виробництві

керівник роботи: к.т.н., доц Жукова О.Г.

затверджена наказом вищого навчального закладу від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2.Строк подання студентом роботи «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

3.Вихідні дані до роботи а) дані надані підприємством

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. Характеристика виробничої діяльності дріжджових заводів Відходи дріжджових заводів. Об'єкти і методи дослідження. Характеристика технології очищення стічних вод дріжджових заводів. Технологія біологічної очистки стічних вод дріжджового виробництва. Охорона праці на підприємстві. Висновки. Список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу а) Таблиці; б) Рисунки; в) Схеми.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Характеристика виробничої діяльності дріжджових заводів	березень	виконано
2	Відходи дріжджових заводів	березень	виконано
3	Об'єкти і методи дослідження	квітень	виконано
4	Характеристика технології очищення стічних вод дріжджових заводів	травень	виконано
5	Технологія біологічної очистки стічних вод дріжджового виробництва	травень	виконано
6	Охорона праці на підприємстві	травень	виконано
7	Висновки	червень	виконано
8	Список використаної літератури	вересень	виконано
9	Остаточне оформлення роботи	жовтень	виконано
10	Направлення роботи на рецензування, перевірку на плагіат	листопад	виконано
11	Попередній захист роботи на кафедрі	листопад	виконано

### 7. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		Дата	Підпис
Розділ 1.			
Розділ 2.			
Розділ 3.			
Розділ 4.			
Розділ 5.			
Розділ 6.			

8. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

ВСТУП .....	10
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ДРІЖДЖОВИХ ЗАВОДІВ.....	12
1.1. Роль дріжджів у харчовій промисловості .....	12
1.2. Технологічний процес виробництва дріжджів .....	23
РОЗДІЛ 2 ВІДХОДИ ДРІЖДЖОВИХ ЗАВОІВ .....	36
2.1. Утворення відходів дріжджових виробництв.....	36
2.2. Характеристика стічних вод дріжджових виробництв .....	37
2.3. Поводження з твердими відходами .....	41
РОЗДІЛ 3 ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	43
3.1. Об'єкти дослідження.....	43
3.2.Методи дослідження.....	45
3.3.Результати та їх обговорення.....	55
3.3.1.Характеристика апаратурно-технологічної схеми .....	55
3.3.3 Дослідження впливу різних рас дріжджів на їх зброджуванність та культивування.....	63
РОЗДІЛ 4 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ДРІЖДЖОВИХ ЗАВОДІВ.....	67
4.1. Методи очищення стічних вод дріжджових заводів.....	67
4.2. Сучасні тенденції очистки стічних вод дріжджового виробництва	76

4.3. Очищення стічних вод дріжджових підприємств за допомогою електричного поля .....	77
4.4. Дослідження показників стічних вод очищених електрохімічним способом.....	78
<b>РОЗДІЛ 5 ТЕХНОЛОГІЯ БІОЛОГІЧНОЇ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД ДРІЖДЖОВОГО ВИРОБНИЦТВА .....</b>	<b>82</b>
5.1. Основні аспекти процесу біологічної очистки стічних вод дріжджового виробництва.....	82
5.2. Біотехнологія очистки стічних вод дріжджових підприємств .....	85
5.3. Опис схеми біогазового реактора .....	90
5.4. Умови експлуатації біогазової установки.....	94
<b>РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ .....</b>	<b>95</b>
6.1. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час експлуатації біогазових установок .....	95
6.2. Технічні та організаційні заходи для зменшення рівню впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів при використанні біогазових установок. ....	99
6.3. Розрахунок надлишкового тиску під час згоряння сумішей горючих газів з повітрям у навколишньому просторі. ....	103
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>109</b>
<b>СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>110</b>

## Анотація

Магістерська атестаційна робота присвячена удосконаленню технології очищення стічних вод у дріжджовому виробництві з метою зниження екологічного навантаження на поверхневі водойми. Актуальність теми зумовлена зростанням обсягів виробництва харчової продукції, що супроводжується утворенням значної кількості органічних забруднень, зокрема післядріжджової барди, вод сепарації та промивних стоків. Відсутність ефективної системи утилізації таких відходів призводить до погіршення стану довкілля, особливо водних екосистем.

Об'єктом дослідження є стічні води, що утворюються в процесі виробництва дріжджів. Предметом дослідження — процеси формування, очищення та утилізації цих вод із застосуванням електродіалізу та біогазових технологій. У роботі проведено аналіз виробничої діяльності ПрАТ «АБІНБЕВ ЕФЕС Україна», виявлено основні джерела забруднення, охарактеризовано хімічний склад стічних вод та тверді залишки, що утворюються в процесі виробництва.

Розглянуто сучасні методи очищення стічних вод, зокрема електрохімічні, біологічні та комбіновані технології. Запропоновано технологічну схему біогазового реактора, що дозволяє перетворювати органічні залишки на біопаливо, яке може використовуватись для енергозабезпечення підприємства. Проведено дослідження впливу різних рас дріжджів на ефективність зброджування, а також аналіз показників очищених вод після електрохімічної обробки.

Окрему увагу приділено питанням охорони праці при експлуатації біогазових установок, зокрема виявленню небезпечних виробничих факторів та розробці технічних і організаційних заходів щодо їх мінімізації. Наведено розрахунок надлишкового тиску при згорянні горючих газів у біореакторах.

Результати дослідження мають практичне значення для впровадження екологічно безпечних та енергоефективних технологій на підприємствах харчової промисловості, сприяють зменшенню антропогенного навантаження на довкілля та оптимізації систем водоочищення.

## **Abstract**

This master's thesis focuses on improving wastewater treatment technologies in yeast production to reduce environmental impact on surface water bodies. The relevance of the topic stems from the growing scale of food industry enterprises, which generate significant volumes of organic pollutants, including post-fermentation slops, separation waters, and equipment wash residues. Inefficient waste management systems contribute to the deterioration of aquatic ecosystems and overall environmental quality.

The research object is wastewater generated during yeast production. The subject of the study is the processes of wastewater formation, treatment, and utilization using electrodialysis and biogas technologies. The study analyzes the production activities of PJSC “AB InBev Efes Ukraine,” identifies key pollution sources, and characterizes the chemical composition of wastewater and solid residues.

Modern treatment methods are reviewed, including electrochemical, biological, and combined technologies. A technological scheme of a biogas reactor is proposed, enabling the conversion of organic residues into biofuel for internal energy needs. The study investigates the influence of different yeast strains on fermentation efficiency and analyzes the quality indicators of wastewater treated via electrochemical methods.

Special attention is given to occupational safety during the operation of biogas installations, including the identification of hazardous production factors and the development of technical and organizational measures to mitigate risks. A calculation of excess pressure during the combustion of gas-air mixtures in bioreactors is provided.

The results of this research have practical significance for the implementation of environmentally safe and energy-efficient technologies in food

industry enterprises. They contribute to reducing anthropogenic pressure on the environment and optimizing wastewater treatment systems.

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Дріжджова промисловість займає важливе місце в харчовій галузі, зокрема у виробництві хлібопекарських дріжджів. Разом зі збільшенням масштабів заводів виникає нагальна необхідність вирішення питань поводження з відходами цієї індустрії. Особливу увагу привертають стічні води, які містять значну кількість органічних речовин, а також осади, що утворюються під час біологічного очищення води. Для утилізації таких відходів найефективнішим є застосування біологічних методів, зокрема їх перетворення на біогаз за допомогою спеціальних установок. Однак перед надходженням стічних вод до біогазових систем необхідне попереднє очищення, зважаючи на високий рівень забруднення.

Переробка післядріжджової барди у біогаз є економічно вигідним рішенням, оскільки отриманий газ може використовуватися як паливо для внутрішніх потреб підприємства. Це дозволяє суттєво скоротити закупівлі інших видів палива та виключити витрати на упарювання (під час виробництва сушеної барди) й сушіння (при створенні кормових продуктів). Додатково зменшується споживання електроенергії, особливо у тих випадках, коли відбувається ліквідація промислового виробництва дріжджів.

**Метою роботи.** Розробка рекомендацій щодо вдосконалення утилізації дріжджових відходів спрямована на забезпечення екологічної безпеки виробничих процесів. Для досягнення цієї мети було визначено такі ключові завдання:

1. Проведення аналізу особливостей виробничої діяльності дріжджових заводів, а також виявлення стадій технологічного процесу, які становлять найбільшу екологічну загрозу.

2. Дослідження джерел утворення стічних вод на таких підприємствах, їх хімічного складу та способів поводження з відходами.
3. Вивчення поточного стану систем очищення стічних вод дріжджових виробництв із визначенням перспективних шляхів для підвищення екологічної безпеки

при утилізації відходів.

4. Розробка та впровадження сучасної технології очищення стоків, що утворюються в процесі переробки дріжджових відходів. Завдяки комплексному підходу до вирішення зазначених задач можливо значно мінімізувати вплив виробництва на навколишнє середовище та забезпечити більш ефективне управління відходами.

**Об'єкт дослідження** – стічні води, утворені після дріжджового виробництва, включають післядріжджову бражку, стічні води першого, другого та третього ступенів сепарації, теплообмінні води, а також стічні води, що залишаються після процесу миття обладнання.

**Предмет дослідження:** Процес формування та утилізації стічних вод у виробництві дріжджів, з використанням технології електродіалізу.

# РОЗДІЛ 1

## ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ДРІЖДЖОВИХ ЗАВОДІВ

### 1.1. Роль дріжджів у харчовій промисловості

Людство здавна на практиці освоювало різні аспекти біотехнології. Вже в біблійські часи було відоме виноробство, випікання хліба, а трохи пізніше почали виробляти кисломолочні продукти, квашену капусту, медові алкогольні напої, силосовані корми тощо.

Давні народи інтуїтивно застосовували методи і техніки створення продуктів, які сьогодні належать до сфери біотехнології. Важливим етапом у розвитку цієї галузі стали видатні дослідження французького вченого Луї Пастера (1822–1895), одного із засновників сучасної мікробіології. Він зумів розкрити мікробний характер бродіння, довів можливість існування організмів у безкисневому середовищі, спростував теорію спонтанного виникнення життя, заклав основи вакцинопрофілактики та вакцинотерапії, а також запропонував метод стерилізації — пастеризацію, яку наразі широко використовують. [1]

З середини ХХ століття почалось активне впровадження великого герметизованого обладнання, здатного забезпечувати процеси в стерильних умовах. Особливий прорив стався під час активного розвитку промислових біотехнологій у період виробництва антибіотиків. У роки Другої світової війни (1939–1945) виникла критична потреба в протимікробних препаратах для лікування інфікованих ран. Саме тоді було успішно вирішено ключові завдання зі створення і впровадження біореакторів, що досі використовуються у виробництві.

Проте досягнення сучасної біотехнології були б неможливими без фундаментальної роботи Френсіса Кріка і Джеймса Уотсона (1953) щодо визначення структури молекули ДНК. З'ясування принципів функціонування та регуляції ДНК стало основою для багатьох сучасних

відкриттів у цій сфері. Вивчення специфічних ферментів стало основою для формування систематизованого наукового підходу.

Сьогодні біотехнологія відіграє важливу роль у народному господарстві, сприяючи створенню біологічних об'єктів із новими корисними властивостями, підвищенню ефективності виробничих процесів та покращенню якості продукції на основі екологічно безпечних інноваційних технологій.

З найдавніших часів людство використовувало біотехнологічні процеси, такі як хлібопечення, пивоваріння, виноробство та виготовлення кисломолочних продуктів. Зброджування за допомогою мікроорганізмів вже тоді відіграло ключову роль у практичній діяльності людини. У сучасному світі ці процеси проводяться із застосуванням бактерій, дріжджів, мікроскопічних грибів та водоростей, метаболічні та біосинтетичні можливості яких дають змогу синтезувати специфічні речовини. Сьогодні біотехнологія активно розвивається і займає провідні позиції в науково-технічному прогресі. Цьому сприяє інтенсивний розвиток біологічної науки, що базується на досягненнях хімії та фізики. Їхні відкриття дозволяють ефективніше використовувати потенціал живих організмів у вирішенні задач народного господарства, медицини та охорони довкілля.

Досягнення у сферах біохімії, біоорганічної хімії та молекулярної біології заклали фундамент для управління складними механізмами клітинної життєдіяльності, забезпечивши потужний стимул для подальшого розвитку біотехнології.

Сучасними пріоритетами біотехнології є розробка та масштабне впровадження нових біологічно активних речовин і лікарських засобів для лікування, діагностики та профілактики захворювань; створення біологічних препаратів для захисту рослин від хвороб і шкідників; виготовлення бактеріальних добрив і регуляторів росту рослин; формування кормових добавок для підвищення продуктивності тваринництва; селекція

високопродуктивних і стійких до зовнішніх несприятливих впливів сортів сільськогосподарських рослин; впровадження нових технологій виробництва продукції для харчової промисловості; розробка систем ефективної переробки відходів сільськогосподарського, виробничого та побутового походження; покращення стану ґрунту та його мікрофлори; оптимізація видобутку й переробки корисних копалин; використання активних мікроорганізмів для руйнування полімерів; сприяння біодеградації шкідливих речовин, таких як пестициди; а також зменшення масштабу негативного впливу на довкілля. Забруднення довкілля можна суттєво зменшити, впроваджуючи безвідходні технології.

Для створення та реалізації біотехнологічних проєктів потрібні висококваліфіковані фахівці: генетики, молекулярні біологи, біохіміки, біоорганіки, вірусологи, мікробіологи, ензимологи, ентомологи, екологи, інженери-технологи, програмісти та конструктори обладнання для біотехнологій. [2]

Розвиток біотехнології залежить не лише від удосконалення й автоматизації традиційних процесів, але й від пошуку принципово нових рішень. Серед перспективних напрямів — створення полімерів, сировини для текстильної промисловості, екологічно чистого палива; вилучення нафти з виснажених родовищ; використання бактеріальних демульгаторів для розділення нафтової й водної фаз, очищення стічних вод від нафтових забруднень. Застосування штамів псевдомонад, які утилізують сиру нафту, дає змогу боротися з нафтовим забрудненням довкілля, очищуючи води морів та річок від нафтових плівок.

Сучасна біотехнологія також відіграє важливу роль у сфері охорони здоров'я. Зокрема, вона забезпечує створення інсуліну, інтерферонів, факторів згортання крові та імунної системи, тромболітичних ферментів і антибіотиків із використанням біотехнологічних методів. Окрім того, можливість ранньої діагностики захворювань завдяки антигенам, моноклональним антитілам та ДНК/РНК-пробам стає реальністю. Новітні

вакцини дозволяють профілактику інфекційних хвороб.

Біотехнологія допомагає скоротити рівень забруднення країни, спричиненого промисловими, сільськогосподарськими та побутовими відходами, а також токсичними викидами в атмосферу. Важливо зазначити її інтеграцію в різні галузі, зокрема технологічну біоенергетику, аграрний сектор, медицину та біогеотехнології, що є ключовою особливістю сучасного етапу її розвитку.

Бродіння (або ферментація) — це анаеробний метаболічний розпад органічних молекул (наприклад, глюкози) за участю мікроорганізмів. У більшості випадків під бродінням мається на увазі перетворення цукру на спирт за допомогою дріжджів. Проте інші приклади включають виробництво кефіру, де застосовується інший вид бродіння. За різних виробничих процесів. Бродіння є одним із ключових біохімічних процесів, спричинених мікроорганізмами. Воно охоплює перетворення вуглеводів і інших органічних сполук у нові речовини завдяки впливу ферментів, які виробляють мікроорганізми. [3]

Існує кілька типів бродіння, які зазвичай називають за основними продуктами, що утворюються в результаті цього процесу: спиртове, молочнокисле, оцтовокисле та інші. Різновиди бродіння, такі як спиртове, молочнокисле, ацетонобутилове, оцтовокисле і лимоннокисле, широко застосовуються в промисловості. Наприклад, для виготовлення етилового спирту, хліба і пива використовують дріжджі. Виробництво лимонної кислоти відбувається за допомогою цвілевих грибів, а отримання оцтової та молочної кислот, ацетону базується на використанні бактерій. Основна задача таких виробництв полягає у перетворенні субстрату (живильного середовища) під дією ферментів мікроорганізмів у необхідні продукти. Однак у інших виробництвах, наприклад у створенні хлібопекарських дріжджів, головною метою є отримання максимальної кількості вирощених дріжджових клітин.

Основні групи мікроорганізмів, що активно застосовуються у

харчовій промисловості, включають бактерії, дріжджі та цвілеві гриби.



Рис.1.1.Основні групи мікроорганізм

**Бактерії**, відіграють важливу роль як каталізатори молочнокислого, оцтовокислого, маслянокислого та ацетонобутилового бродіння. Так, молочнокислі бактерії використовуються для виготовлення молочної кислоти, в хлібопекарській промисловості, а також іноді в спиртовому виробництві, де вони перетворюють цукор на молочну кислоту. У процесі виробництва житнього хліба молочнокислі бактерії впливають на його смак і властивості. Вони визначають кислотний баланс хліба, який безпосередньо формує його аромат і смакові характеристики. Крім цього, молочна кислота впливає на структуру і механічні властивості тіста.

**Маслянокисле бродіння**, зумовлене маслянокислими бактеріями, застосовується для отримання масляної кислоти, із похідними якої виготовляють ароматизатори. Але в спиртовому виробництві ці бактерії можуть створювати проблеми через пригнічення розвитку дріжджів і дезактивацію амілази під впливом масляної кислоти. Особливий інтерес викликають ацетонобутилові бактерії, які здатні перетворювати крохмаль та інші вуглеводи на ацетон, бутиловий та етиловий спирти. Їх активно використовують як ініціаторів бродіння у різних галузях ацетонобутилового виробництва.

Оцтовокислі бактерії застосовуються для виробництва оцту, тобто розчину оцтової кислоти, завдяки їхній здатності окислювати етиловий спирт до оцтової кислоти.

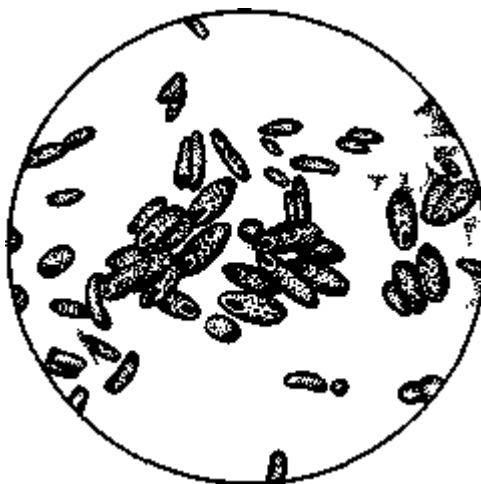


Рис.1.2. Масляні бактерії

**Дріжджі.** Дріжджі широко використовуються як збудники бродіння для отримання спирту та пива, у виноробстві, виробництві хлібного квасу, а також у хлібопекарстві для розпушення тіста. [4]

Історія відкриття процесу спиртового бродіння починається з Антуана Лавуазьє, засновника сучасної хімії. Наприкінці XVIII століття він встановив, що у процесі бродіння цукор розщеплюється на спирт і вуглекислий газ. Згодом інший французький вчений, Жозеф Гей-Люссак, уточнив, що маса розщепленого цукру дорівнює сумарній масі отриманих спирту та вуглекислого газу. Паралельно з дослідженням бродіння починається вивчення дріжджів. Нідерландський натураліст Антоні ван Левенгук, відкривач одноклітинних організмів, описав дріжджі як мікроскопічні грибки, що беруть участь у процесі бродіння. У 1830-х роках французький барон Шарль Каньяр де Ла-Тур і німецький біолог Теодор Шванн науково довели, що дріжджі є живими організмами, а бродіння — результат їхньої життєдіяльності.

Однак багато сучасних хіміків того періоду скептично поставилися до цих висновків. Французькі імена мають визначне значення в історії

дослідження бродіння. У другій половині XIX століття мікробіолог Луї Пастер переконав наукову спільноту в тому, що бродіння є суто біологічним процесом і може відбуватися лише за умови участі живих мікроорганізмів.

Революцію в розумінні процесу спиртового бродіння здійснив німецький біохімік Едуард Бухнер у 1897 році. У своїй роботі «Про спиртове бродіння без участі дріжджових клітин» він запропонував новаторську ідею про можливість бродіння без живих клітин дріжджів. Його дослідження викликало палкі дискусії в наукових колах, змусивши його витратити багато часу та зусиль на підтвердження своєї теорії. У 1902 році Бухнер опублікував докладну статтю, що підтвердила його попередні висновки. На знак визнання його внеску в науку він отримав Нобелівську премію. Бродіння класифікують залежно від кінцевих продуктів, що утворюються в процесі.[5]

**Молочнокисле бродіння.** Анаеробне окислення вуглеводів, основним кінцевим продуктом якого є молочна кислота, отримало назву молочнокислого бродіння завдяки характерному результату процесу.



Рис 1.4. Молочнокисле бродіння

Для молочнокислих бактерій цей механізм є ключовим шляхом катаболізму вуглеводів і забезпечує головне джерело енергії у вигляді аденозинтрифосфату (АТФ). Крім того, молочнокисле бродіння може відбуватися в тканинах тварин у випадках недостатньої кількості кисню,

наприклад під час інтенсивних фізичних навантажень. Найкращі умови для перебігу молочнокислого бродіння цукрових розчинів забезпечує застосування чистих культур молочнокислих бактерій (*Bacillus Delbrückii*) при температурі 34–45 °С. До середовища додаються необхідні для життєдіяльності бактерій мінеральні речовини, крейда або карбонат цинку для нейтралізації надлишкової кислотності. Це критично важливо, адже при високій концентрації молочної кислоти бактерії можуть загинути, що призведе до зупинки процесу бродіння.

Молочнокисле бродіння активно використовується у виробництві кисломолочної продукції (кефір, ряжанка, йогурт, сметана), при дозріванні сиру, виготовленні вершкового масла з кислого молока, квашенні капусти, силосуванні кормів та інших процесах. Як і у випадку спиртового бродіння, для цього процесу характерне існування специфічного ферменту — зимази молочнокислого бродіння, який здатен викликати бродіння навіть без участі живих бактерій.

Окрім харчової промисловості, молочнокисле бродіння виконує важливу роль у консервації продуктів завдяки зниженню рН та інгібуванню росту небажаних мікроорганізмів. Цей процес дозволяє продовжити термін зберігання продуктів, таких як квашені овочі та сирокочена продукція. Молочнокисле бродіння також використовується для біотехнологічного виробництва молочної кислоти та силосування рослинної маси.

**Маслянокисле бродіння.** Масляна кислота, бутанол, ацетон, ізопропанол та низка інших органічних кислот, включаючи оцтову, капронову, валер'янову і пальмітинову, утворюються в процесі зброджування вуглеводів цукролітичними анаеробами, до яких належать анаеробні бактерії роду *Clostridium*, а також бактероїди. Спектр цих кислот, визначений методом газорідинної хроматографії, застосовується як швидкий і ефективний спосіб для ідентифікації анаеробів.

**Пропіоновокисле бродіння.** Збудники належать до роду анаеробів, зокрема пропіонобактерій Рис 1.5, які активно використовуються у процесі

виробництва сирів. Основним продуктом їх бродіння є пропіонова кислота. Пропіонобактерії природно мешкають на шкірі та слизових оболонках людей і тварин, але в деяких випадках можуть спричиняти анаеробні інфекції.

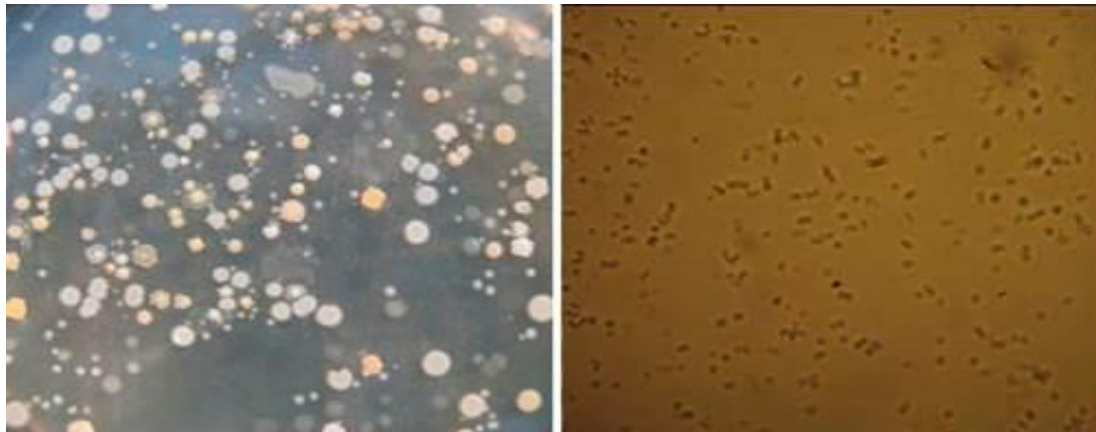


Рис 1.5. Пропіоновокислі бактерії

**Спиртове бродіння.** Ферментація – це біохімічний процес, у якому цукри, такі як глюкоза і фруктоза, розщеплюються під дією ферментів, виділяючи енергію та утворюючи етиловий спирт і вуглекислий газ зображено на Рис 1.6.

Цей процес дозволяє отримувати два молі АТФ з одного моля глюкози в анаеробному середовищі. Спиртове бродіння є характерним для багатьох організмів, включаючи гриби (дріжджі, дріжджоподібні і деякі цвілеві грибки), водорості, найпростіші та бактерії. Воно здавна використовується у випічці хліба (забезпечуючи «підйом» дріжджового тіста) і виробництві алкогольних напоїв.

Останнім часом цей процес знайшов застосування у виробництві етанолу як екологічного та економічного біопалива. Розщеплення глюкози під час спиртового бродіння починається з гліколізу, в ході якого молекула глюкози перетворюється на дві молекули пірувату.

У цьому процесі дві молекули АДФ субстратно фосфорилуються до АТФ, а дві молекули НАД<sup>+</sup> відновлюються до НАДН. У аеробних умовах НАДН окиснюється, віддаючи електрони через серію переносників до

молекулярного кисню, що забезпечує його повторне використання у гліколізі. Натомість в анаеробному середовищі регенерація НАД<sup>+</sup> здійснюється на фінальних етапах бродіння, де піруват або його похідні виступають акцепторами електронів.

У спиртовому бродінні роль акцептора виконує ацетальдегід. Ацетальдегід утворюється з пірувату в процесі декарбоксілювання, яке каталізується ферментом піруватдекарбоксілазою. Для його активності потрібно наявність іонів Mg<sup>2+</sup> та коферменту тіамінпірофосфату, який приєднується ковалентно. Далі ацетальдегід відновлюється до етилового спирту шляхом перенесення гідрид-іона з НАДН, що утворився під час гліколізу. Цю реакцію здійснює фермент алкогольдегідрогеназа, активний центр якої містить іон цинку. Цинк поляризує карбонільну групу субстрату, полегшуючи приєднання гідрид-іона.

В результаті спиртового бродіння з однієї молекули глюкози утворюються дві молекули етилового спирту, дві молекули CO<sub>2</sub> і дві молекули АТФ. При цьому не відбувається ні загальне окиснення, ні відновлення глюкози, адже співвідношення С:Н залишається незмінним як у вихідних речовинах (глюкоза), так і в продуктах (етанол і CO<sub>2</sub>), становлячи 1:2. [6]

Цей метаболічний шлях широко поширений серед багатьох організмів: грибів (дріжджів, дріжджеподібних і деяких цвілевих грибків), водоростей, найпростіших, бактерій і деяких рослин. Для частини анаеробних організмів він є основним способом отримання енергії.

Багато факультативних анаеробів, таких як пекарські дріжджі, використовують спиртове бродіння лише за умови відсутності кисню як альтернативу аеробному диханню.

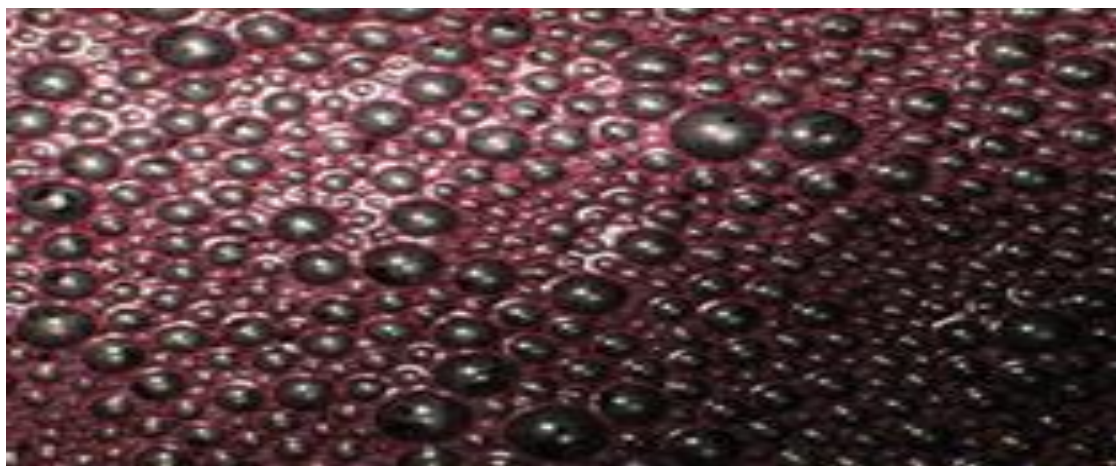


Рис 1.6. Спиртове бродіння

**Бутиленгліколеве бродіння.** У процесі ферментації формуються бутиловий спирт, етиленгліколь, сірководень та інші токсичні сполуки. Цей тип бродіння спричиняється кишковою паличкою та низкою ентеробактерій, зокрема збудниками кишкових інфекцій, такими як сальмонельоз і дизентерія.

**Мурашинокисле (змішане) бродіння.** Зустрічається серед представників родин Enterobacteriaceae та Vibrionaceae. Глюкоза метаболізується через ФДФ-шлях, а глюконат розщеплюється за КДФГ-шляхом.

**Лимоннокисле бродіння** Під впливом пліснявих грибів проходить певний процес. У промисловості отримання лимонної кислоти здійснюють шляхом ферментації розчину сахарози за допомогою гриба *Aspergillus niger* Рис 1.7.

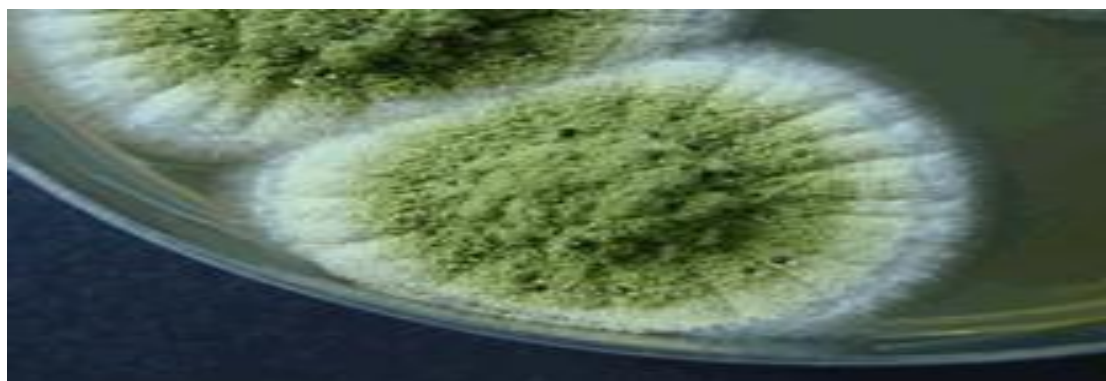


Рис 1.7. Гриб *Aspergillus niger*

## 1.2. Технологічний процес виробництва дріжджів

Дріжджі представляють собою одноклітинні мікроорганізми з класу грибів цукроміцетів, які широко використовуються у харчовій промисловості. Їх склад включає приблизно 67% води та 33% сухої речовини. У сухій масі дріжджів містяться основні компоненти: 37-50% білків, 35-40% вуглеводів, 1,2-2,5% жирів і 6-10% мінеральних (зольних) сполук.

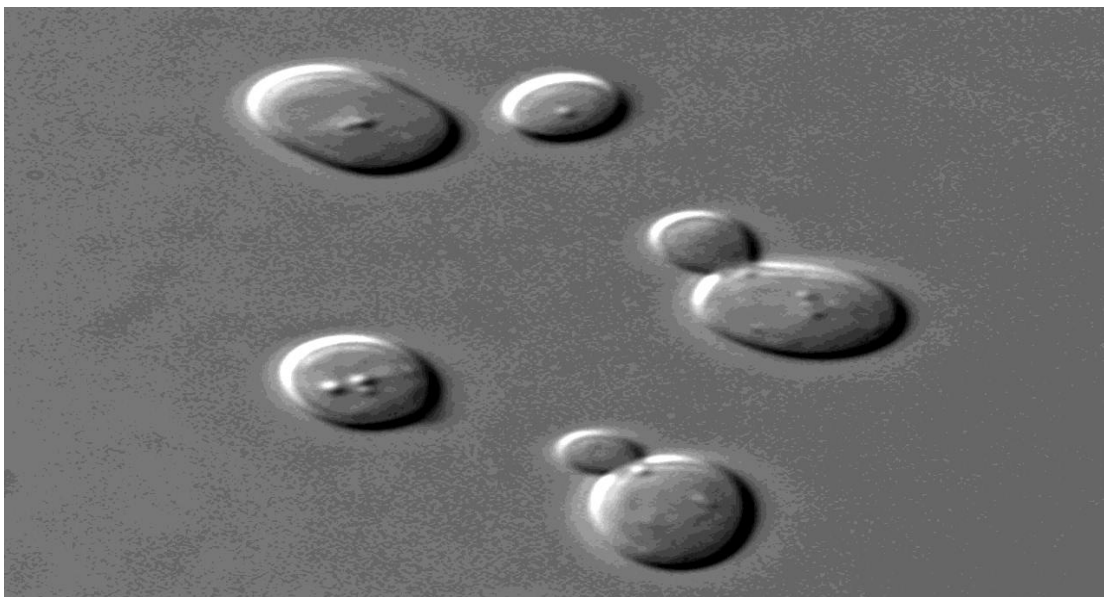


Рис 1.8. Дріжджі

Якість хлібопекарських дріжджів визначається їх відповідністю технологічним вимогам хлібного виробництва: вони повинні мати щільну консистенцію, легко ламатися, володіти сірим кольором із легким жовтуватим відтінком, характерним дріжджовим ароматом та прісним смаком.

Вологість дріжджів не повинна перевищувати 75%, а кислотність — у межах 120 мг оцтової кислоти на 100 г продукту в день виготовлення. Через 12 днів цей показник може зростати до максимуму 360 мг.

Дріжджі, які виробляються на спеціалізованих заводах, повинні демонструвати стійкість при температурі 35 °С протягом не менш ніж 60 годин для хлібопекарських та 48 годин для спиртових дріжджів. Їх підйомна

сила, що визначається часом підйому тіста до висоти 70 мм, становить трохи більше 70 хвилин.

Заплановано виробництво сушених хлібопекарських дріжджів двох сортів — вищого та першого, які пропонуватимуться у вигляді гранул, вермішелі, круп або порошку. Їхній колір варіюватиметься від світло-жовтуватого до світло-коричневого. Вміст вологи у дріжджах вищого сорту становитиме 8%, а у першого сорту — 10%. Швидкість підйому тіста до висоти 70 мм для дріжджів вищого сорту має складати 70 хвилин, тоді як для дріжджів першого сорту — 90 хвилин. Термін зберігання з моменту виробництва становитиме не менше 12 місяців для дріжджів вищого сорту і 5 місяців для першого сорту. [7]

Якість готових дріжджів та їхньої суспензії визначатиметься такими показниками: концентрація не менше 450 г/л при вологості 75%, підйомна сила не більше 75 хвилин, кислотність — не більше 120 мг на 100 г дріжджів у день випуску та після 72 годин зберігання. Технологічний процес виробництва хлібопекарських дріжджів на спеціалізованих заводах складається з наступних етапів:

1. Підготовка живильного середовища : Заводи готують живильні суміші, що містять мелясу та воду. Меляса є джерелом цукру — основної енергії для росту дріжджів.

2. Вирощування дріжджів: Культивування дріжджів відбувається у спеціальних апаратах із постійною аерацією.

Під час цього процесу цукор у живильному середовищі окислюється до води та діоксиду вуглецю. Вивільнена теплова енергія використовується для синтезу клітинної речовини та підтримки обмінних процесів.

3. Виділення дріжджів із культурального середовища: Після вирощування проводиться відокремлення дріжджів, для чого використовуються сепаратори, фільтр-преси або барабанні вакуум-фільтри.

4. Формування та пакування дріжджів: Отримані дріжджі піддаються обробці, після чого формуються у вигляді брикетів чи гранул і

упаковуються для подальшого використання.

5. Сушіння дріжджів (за необхідності) : У разі потреби продукт проходить процес сушіння для збільшення строку придатності та захисту від псування під час тривалого зберігання.

На мелясково-спиртових заводах виробництво дріжджів із спиртової бражки здійснюється у декілька етапів:

1. Виділення дріжджів із зрілої бражки шляхом сепарування: Дріжджові клітини відділяються від спиртової бражки за допомогою сепараторів, після чого їх промивають і концентрують.

2. Дозрівання дріжджів: Отримана дріжджова суспензія проходить стадію дозрівання, що покращує її якісні характеристики.

3. Остаточне промивання та концентрування: Дріжджі додатково очищають і концентрують для забезпечення необхідної чистоти продукту.

4. Пресування, формування й упаковка: Дріжджі пресуються, формуються у брикети й упаковуються для збереження продукту в зручній формі.

5. Зберігання: Готовий продукт зберігається згідно з технологічними вимогами і нормами.

Для виконання цих операцій на заводах використовуються спеціалізовані комплекси устаткування, які включають таке обладнання:

- Апарати для приготування живильних середовищ і сепаратори-кларифікатори, що використовуються для роботи з меляси.

- Пароконтактні установки для стерилізації.

- Дріжджоростільні апарати з аераційною системою для насичення суспензії киснем.

- Повітродувні машини, які забезпечують подачу повітря під необхідним тиском.

- Сепаратори, фільтр-преси та барабанні вакуум-фільтри для відділення дріжджів із культурального середовища.

– Сушильні установки, включаючи стрічкові сушарки, віброкиплячі

шарові установки, вакуумні та сублимаційні сушарки, що застосовуються при потребі у сушінні продукту.

- Устаткування для формування та пакування дріжджових брикетів.

Ця техніка сприяє ефективному виробництву дріжджів, оптимізуючи всі етапи обробки та забезпечуючи отримання якісної готової продукції. Кожен елемент має свою унікальну роль у виробничому процесі, допомагаючи досягти високих стандартів під час виробництва.

Технологічна схема виробництва дріжджів зображена на рис. 1.9

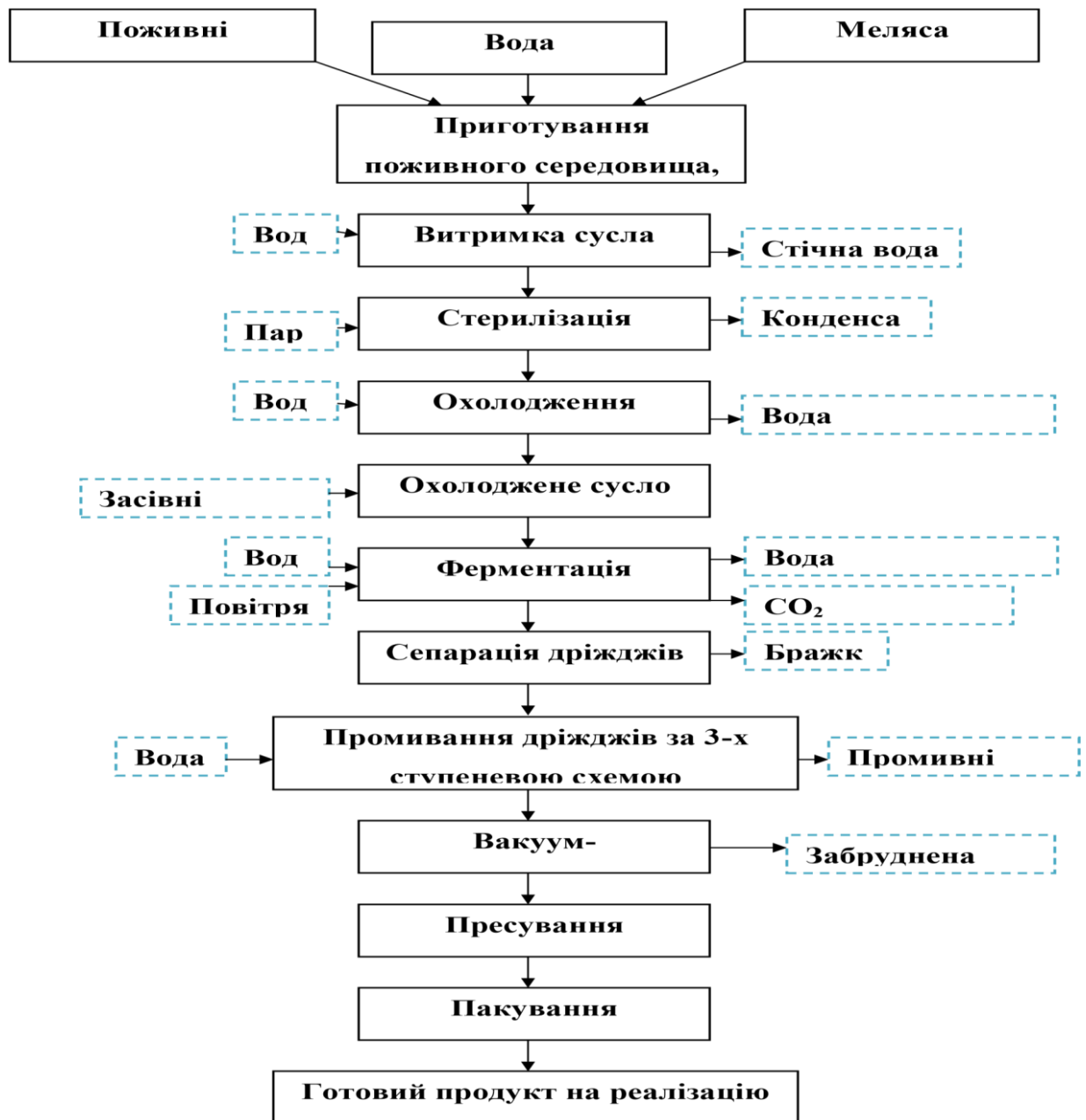


Рис.1.9. Технологічна схема виробництва дріжджів

Технологічний процес виробництва хлібопекарських дріжджів передбачає низку заходів, спрямованих на забезпечення санітарно-гігієнічного стану обладнання, комунікацій та виробничих приміщень.

Для запобігання забрудненню технологічного обладнання сторонньою мікрофлорою проводиться систематичне миття та дезінфекція. Це включає використання засобів для очищення, як-от розчини їдкого натру (3%) та азотної кислоти (1%).

Після ретельного миття виконуються дезінфекційні процедури із застосуванням хлораміну, формаліну чи хлорного вапна. Формалін для дезінфекції використовують у вигляді водного розчину або порошку.

Витрата розчину формаліну (40%) залежить від ступеня забрудненості обладнання і становить від 10 до 20 г на кубічний метр апарату. Перед обробкою апарати нагрівають до 45°C, потім додають формалін і витримують одну годину при температурі 65°C. Залишки формаліну нейтралізують аміаком (розчин аміаку 25% у кількості 10–12 г на 80 г формальдегіду), після чого обладнання продувають повітрям протягом 15–20 хвилин. Для дезінфекції комунікацій їх заповнюють формаліновим розчином (1%), витримують до години, промивають гарячою водою і обробляють парою. [9]

Основною сировиною у виробництві дріжджів є бурякова меляса. Вона доставляється автоцистернами або залізничними цистернами, зважується на вагах і, за потреби, нагрівається до температури ( $40 \pm 2^\circ\text{C}$ ) в осінньо-зимовий період. Через герметичну систему нижнього зливу меляса потрапляє в зливний бак і перекачується насосами спочатку у витратну ємність, а потім у резервуар для зберігання.

Перед використанням меляса може бути додатково прогріта до температури ( $40 \pm 2^\circ\text{C}$ ) шляхом подачі пари. Далі мелясу перемішують з водою у збірнику, після чого вона подається насосами у заторний бак або мелясовий сепаратор, де очищується від механічних домішок і колоїдів.

Після лабораторного контролю та перевірки гомогенності мелясу направляють у відділення приготування поживних середовищ.

Приготування поживних середовищ є ключовим етапом у вирощуванні дріжджів. Для підтримки виробничої культури використовуються два методи: на сушло-агаровому середовищі та на напіврідкому живильному середовищі.

У першому випадку готується суміш солодового сушла (8%) і агару (2%).

У другому – середовище складається з глюкози (0,5%), дріжджового автолізату (0,5%), хлориду натрію (0,8%) та агару (0,1%).

Це середовище розливають у пробірки по 50 мл і стерилізують в автоклаві при температурі ( $118 \pm 2^\circ\text{C}$ ) протягом ( $30 \pm 1$ ) хвилин. Для приготування посівного поживного середовища мелясу розрахованої кількості змішують із водою і солями у ємності з мішалкою. Об'єм поживного середовища складає 5 м<sup>3</sup>, після ретельного перемішування його направляють у ферментери для подальших процесів виробництва.

Відбір проби для подальшого лабораторного аналізу є важливим етапом у процесі виробництва дріжджів. Після завершення стерилізації апаратури для засіву відбувається стерилізація поживного середовища, яке потім охолоджується.

Вирощування культури дріжджів базується на двох ключових стадіях: вирощування посівних дріжджів і товарних дріжджів. Ці стадії мають свої етапи: чистої культури, лабораторної стадії та виробництва товарних дріжджів.

Процес вирощування посівних дріжджів бере початок із засіву чистої культури в пробірки з агаросолодовим сушлом. Засів здійснюється мікробіологічною петлею з агару в пробірки з солодовим сушлом. Наступні стадії розмноження посівних дріжджів проводяться у відділі чистих культур, малому інокуляторі, великому інокуляторі та апараті чистої

культури. Як поживне середовище використовується мелясне сусло, до якого додаються мінеральні солі, сірчана кислота та стимулятори росту. На всіх трьох стадіях дріжджовий матеріал культивується за концентрації поживного середовища 12% за цукром, рН 4,5 і температурі 28–30 °С протягом 30–36 годин.

Незалежно від технологічної схеми виробництва, вирощування дріжджів проходить три основні генерації: генерація А – отримання маткових дріжджів чистої культури; генерація Б – отримання посівних дріжджів; генерація В – культивування товарних дріжджів. Маткові дріжджі використовуються для засіву поживного середовища при вирощуванні посівних дріжджів, а посівні слугують вихідним матеріалом для отримання товарних дріжджів. Товарні дріжджі – це готовий продукт, який відповідає всім вимогам стандарту і може бути використаний у промисловості.

Технологія вирощування маткових дріжджів (генерація А) передбачає отримання чистої культури з музейних культур дріжджів і природно чистої культури з чистої культури. На ранніх етапах вирощування чистої культури процес проходить в лабораторії, а потім переноситься у відділ чистих культур.

Лабораторний процес складається з чотирьох стадій, кожна з яких проходить під суворими умовами стерильності. У перших трьох стадіях використовується солодове сусло як поживне середовище, тоді як на четвертій стадії переходять до змішаного середовища.

На першій стадії розмноження чотири пробірки місткістю 10–15 мл заповнюють стерильним поживним середовищем та засівають музейною культурою.

У другій стадії процес відбувається у чотирьох колбах об'ємом 100 мл, кожна з яких містить 50 мл стерильного середовища, що засівають вмістом пробірок із першої стадії.

Третя стадія включає вирощування дріжджів у чотирьох колбах

місткістю 0,75–1 л з 0,45 л стерильного середовища в кожній.

На четвертій стадії розмноження прибори об'ємом по 10 л заповнюються до рівня 7 л поживного середовища, до якого додають культуру з попередньої стадії. Цей етап триває від 18 до 24 годин при температурі 26–30 °С.

У перших трьох стадіях аерація культуральної рідини є слабкою та поступово збільшується. На четвертій стадії забезпечується постійна аерація поживного середовища, а температура бродіння сягає 30 °С. Після завершення процесу вирощування чистої культури дріжджів їх виділяють із культурального середовища, ретельно промивають холодною водою та ущільнюють за допомогою сепараторів. У результаті отримують дріжджове молоко, яке містить від 300 до 600 грамів дріжджів на літр у перерахунку на пресовану форму.

Процес отримання дріжджів чистої культури здійснюється у дві стадії.

На першій стадії дріжджі, представлені у вигляді дріжджового молока, обробляються сірчаною кислотою для знищення сторонньої мікрофлори.

Після цього їх висаджують у дріжджеростильний апарат із поживним середовищем. Культивування відбувається за температури 30 °С і рН 4,5 при постійній подачі повітря зі швидкістю 30 м<sup>3</sup>/год на кожен м<sup>3</sup> середовища. Вирощені на першій стадії дріжджі разом із культуральним середовищем надходять на другу стадію обробки. В апарат додають поживне середовище з концентрацією сухих речовин 3-3,5 %, підтримуючи рН рівнем 4,5 і температуру 30 °С. У процесі культивування забезпечують постійну аерацію. На цій стадії завершується цикл вирощування маткових дріжджів.

Для найкращого збереження маткові дріжджі рекомендується утримувати у формі дріжджового молока. Чистота маткових дріжджів складає приблизно 50 % від маси витраченої меляси. Вони мають відповідати таким вимогам: бути очищеними від сторонніх домішок і

мікрофлори, мати високу стійкість при зберіганні, низьку осмочутливість, а також високу активність росту та розмноження.

Основні характеристики включають мальтозну активність у межах 70-100 хв, підйомну силу 40-50 хв та осмочутливість не більш ніж 10 хв. При потребі маткові дріжджі використовуються для виробництва засівних дріжджів.

Отримання засівних дріжджів (генерація Б) проводиться у дві стадії на сучасних дріжджових підприємствах: спершу вирощуються засівні дріжджі (генерація Б), а потім товарні дріжджі (генерація В). Культивування засівних дріжджів здійснюється у спеціальному апараті циліндричної форми із системою охолодження, пристроями для подачі повітря, поживних речовин і каналізаційного відведення. У нього завантажують маткове середовище разом із матковими дріжджами у формі дріжджового молока.

Культивування проводиться повітрянопритічним методом, який передбачає поступове додавання живильних речовин (м'яса, солі азоту й фосфору) та постійну аерацію. Температура підтримується на рівні 30 °С, рН середовища регулюється розчином аміачної води (4,5-5,0), а інтенсивність аерації складає 80 м<sup>3</sup>/год на 1 м<sup>3</sup> середовища. Процес триває приблизно 8-17 год. По завершенні бродіння отримані засівні дріжджі одразу направляють до апарата для виробництва товарних дріжджів (генерація В). У разі необхідності їх сепарують і зберігають у формі дріжджового молока за температури 2-8 °С. Ці дріжджові клітини повинні бути рівномірними, великими та не містити сторонніх мікроорганізмів. Виробництво товарних дріжджів здійснюють у дріжджеростильних апаратах ємністю 100 м<sup>3</sup> за повітряно-проточним методом. Тривалість процесу складає 12–20 год і більше.

Для цього використовуються два апарати: основний і відбірковий. У першому відбуваються ріст і розмноження дріжджових клітин, накопичення біомаси (накопичувальний період), тоді як у другому — дозрівання клітин.

Після цього до апарату подають поживні розчини відповідно до графіка, який враховує процес накопичення біомаси дріжджів. У період накопичення дріжджову масу аерують з інтенсивністю 100 м<sup>3</sup>/год на 1 м<sup>3</sup> середовища, вирощуючи дріжджі за температури 30 °С. Початковий рівень рН середовища становить 4,5.

Накопичення біомаси дріжджів відбувається протягом семи годин у головному дріжджеростильному апараті, який до кінця цього періоду заповнюється повністю. Після завершення семи годин накопичення біомаси розпочинають поступове переміщення дріжджової маси до відбіркового апарату. У той самий час в основний апарат подають мелясне сушло, соляні розчини та воду з аналогічною швидкістю. Це дозволяє підтримувати постійний рівень культурального середовища. У відбіркому апараті дріжджі дозрівають протягом однієї години без додавання поживних речовин, при аерації 15-25 м<sup>3</sup>/год на 1 м<sup>3</sup> середовища. Період відбору триває 15 годин для двадцятигодинного циклу розмноження і чотири години – для дванадцятигодинного циклу. Дозрівання дріжджів завершує процес їхнього культивування, істотно впливаючи на якість хлібопекарських дріжджів.

У цей період дріжджові клітини асимілюють залишкові поживні речовини субстрату, завершується процес їхнього брунькування, а ферментні системи клітини перебудовуються: від активного синтезу біомаси до обмінних процесів, які підтримують життєдіяльність клітини. Паралельно із дозріванням у відбіркому апараті може накопичуватися 10-12% додаткової біомаси. Загальний об'єм відбіркового апарату має становити щонайменше третину об'єму головного дріжджеростильного апарату. Дозрілі дріжджі надходять до сепараторів для їхнього виділення з культурального середовища. Зазвичай використовується триступінчасте сепарування: виділення бражки, промивання дріжджів холодною водою та згущення дріжджового молока. Сконцентроване до рівня 450-700 г/л дріжджове молоко охолоджують до температури 4-6 °С в збірнику з

мішалками. Далі його подають на фільтрпреси або вакуум-фільтри для видалення залишків води, після чого переміщують до формувальної машини. Іноді під час перемішування додається вода для оптимізації консистенції або невелика кількість рослинної олії (0,1%) для забезпечення еластичності. Сформовані та паковані прямокутні бруски дріжджів (вагою 1000, 500, 100 або 50 г) загортаються у папір автоматично й укладаються в чисті дерев'яні ящики без запахів. Потім продукцію охолоджують до температури  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  у холодильній камері.

Апаратурна схема виробництва дріжджів показана на рисунку 1.10. Товарні дріжджі виробляють на мелясному рідкому середовищі в апаратах із забезпеченням аерації культурального середовища.

Процес проходить у три етапи: початковий посівний матеріал, другий завдатковий етап і виробництво товарних дріжджів.

На першому етапі культивування здійснюється без постійного притоку середовища протягом шести-семи годин. Далі, щоб уникнути спиртового бродіння, дріжджі вирощують за методикою інтенсивної аерації, лімітуючи концентра .

На другому етапі виробничого процесу прагнуть повністю виключити спиртове бродіння. Для цього дріжджі культивують в умовах інтенсивної аерації, обмежуючи концентрацію цукру в середовищі, використовуючи проточний метод вирощування. Зазвичай тривалість цього етапу становить 10–12 годин. Останній етап виробництва дріжджів триває від 10 до 24 годин. У чистий апарат вводять 70–80% теплої води від необхідної для кінцевого розведення меляси (співвідношення 1:17–1:30), додають 10% меляси та розчину солей, регулюють оптимальні показники рН середовища, температуру й запускають помірну аерацію (1:1 за об'ємом). У підготовлене середовище вводять посівний матеріал — стартові дріжджі у кількості 8–15% сухої маси від загальної кількості цукру, який засвоюється.

Протягом першої години середовище не додається, а в наступні 10 годин його вводять безперервно потоком у визначених пропорціях: 5%, 6%, 7,2%, 8,2%, 9,2%, 10,2%, 11,4%, 12,8%, 11% і 9% за годину від загального об'єму середовища.

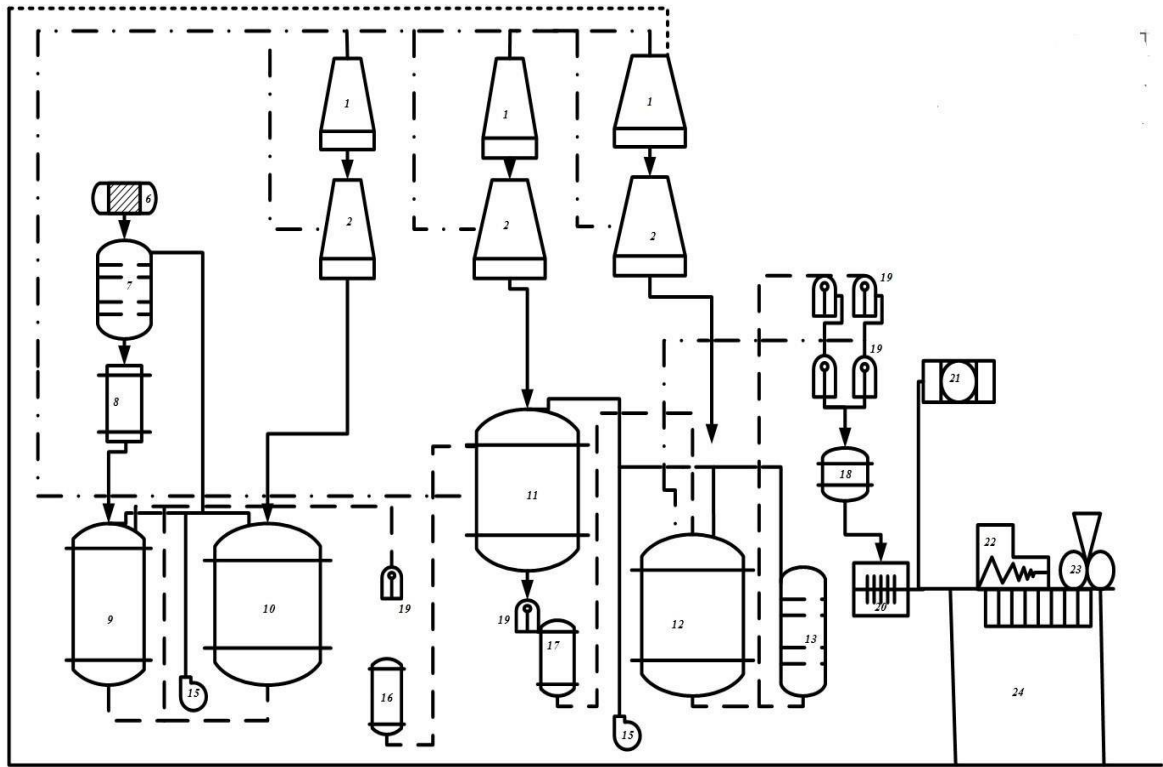


Рис. 1.10. Апаратурна схема виробництва дріжджів: 1 – освітлювальний чан; 2 – припливний чан; 6 – малий апарат чистих культур; 7 – великий апарат чистих культур; 8 – 1-й проміжний апарат; 9 – 2-й проміжний апарат; 10 – дріжевиросщувальний матковий апарат; 11 – дріжевиросщувальний завдатковий апарат; 12 – дріжевиросщувальний товарний апарат; 13 – відбірковий чан; 14 – відцентровий насос; 15 – повітродувка; 16, 17, 18 – приймачі сепарованих дріжджів; 19 – сепаратори; 20 – поршневий насос; 21 – фільтри прес; 22 – місильна машина; 23 – формувальна машина; 24 – холодитильник

Аерація протягом усього процесу ферментації змінюється залежно від

етапу. У першу та останню години культивування вона становить менший рівень (1:1), тоді як у період активного розмноження досягає 1,5–2,0 об'єму повітря на одиницю об'єму середовища за хвилину. Біомасу дріжджів відділяють від культуральної рідини за допомогою сепараторів.

Процес сепарування проходить у три етапи з подвійною промивкою клітинної суспензії водою, щоб видалити залишки середовища, бактерії та домішки. У результаті отримують концентрат дріжджів із вмістом 80–120 г/л сухої біомаси. Після цього його охолоджують до температури 8–10°C, фільтрують на вакуум-фільтрах або фільтр-пресах і отримують дріжджову пасту з вологістю 70–75%.

Після приведення пасти до стандартної вологості (75%) її формують у плитки масою 100 або 1000 г та запаковують. Пресовані дріжджі зберігають при температурі 0–4°C до 10 діб. Хлібопекарські дріжджі можна також висушувати при температурі 30–40°C до вологості 8%, що дозволяє їх зберігати до 6 місяців.

## РОЗДІЛ 2

### ВІДХОДИ ДРІЖДЖОВИХ ЗАВОДІВ

#### 2.1. Утворення відходів дріжджових виробництв

На початок 1990-х років в Україні працювали близько 20 дріжджових заводів, але вже у 2008 році з десяти великих класичних підприємств діяли лише чотири: ЗАТ «Ензим» у Львові (потужність — 50 тис. тонн на рік), завод «Наdejда» в Харкові та Одеський дріжджзавод. Дріжджові заводи генерують значний обсяг промислових відходів, переважно у вигляді відпрацьованого м'ясового сула та промивних вод, які використовуються для охолодження й промивання продукції. У складі стічних вод видаляються органічні речовини. Основними джерелами високо забруднених вод спеціалізованих заводів є скидання з дріжджевищувальних апаратів під час нестерильної ферментації, промивання обладнання, приміщень та самої продукції. [10]

Одним із головних недоліків сучасних дріжджових заводів, які використовують м'ясу як субстрат, є утворення великих обсягів післядріжджової барди, що потребує додаткової утилізації. Через специфіку виробничих стоків утворюються високоіонізовані води з рівнем рН у діапазоні 3,5–5. Крім того, сільськогосподарські угіддя, використовувані для полів фільтрації, перетворюються на відстійники м'ясної барди й стічних вод. Неповна утилізація органічних складників м'яси та її барди також створює екологічні ризики.

Дослідження показали, що основним джерелом забруднення є дріжджова бражка і спиртова барда. Біологічна потреба у кисні (БПК<sub>5</sub>) для дріжджової бражки становить від 4600 до 5200 мг O<sub>2</sub>/л, а для спиртової барди — близько 6000 мг O<sub>2</sub>/л, що вдвічі-втричі більше за загальнозаводські стоки (1400–1800 мг O<sub>2</sub>/л). У процесі виробництва дріжджів є кілька моментів, коли стічні води можуть безпосередньо потрапляти в каналізацію.

Це можуть бути чисті стоки (наприклад, води з теплообмінників) або ж високо концентровані забруднені води.

Промислові стоки включають практично всі речовини, які формуються під час гідролізу, хімікати, що використовуються у виробництві, та продукти життєдіяльності дріжджів. Проблема утворення, очистки та утилізації стічних вод нині займає важливе місце серед завдань сучасної харчової промисловості й потребує першочергового вирішення, узагальнена характеристика стічних вод дріжджових заводів представлена у табл. 2.1 .

*Таблиця 2.1 Характеристика стічних вод*

Стічних вод на 1 т дріжджів продукції, м <sup>3</sup> /т	БСК повне, мг O <sub>2</sub> /л	Основний тип забруднень
20	14400	Органічні та мінеральні сполуки

## **2.2. Характеристика стічних вод дріжджових виробництв**

Дріжджова промисловість є масштабною галуззю біотехнології, яка спеціалізується на виробництві хлібопекарських та кормових дріжджів. У процесі її функціонування утворюються значні обсяги стічних вод зі специфічними забрудненнями, що створюють екологічні проблеми. Серед найпоширеніших забруднювачів стічних вод гідролізатно-дріжджових заводів є фурфурол із концентрацією до 50 мг/л. У відходах виробництва білково-вітамінних концентратів (БВК) із використанням н-парафінів спостерігається підвищений рівень вуглеводнів — до 600 мг/л. У свою чергу, мікробіологічні виробництва можуть мати біологічну потребу в кисні (БПК) до 3000 мг/л.

Зі зростанням потужності заводів хлібопекарських дріжджів загострюється проблема утилізації їх стічних вод, які мають рН у межах 4,3–5,5, високу концентрацію завислих речовин (380–910 мг/дм<sup>3</sup>), стійкий

темно-коричневий колір і значну кількість органічних та мінеральних домішок, що не відповідають нормативним вимогам для скидання в каналізаційну систему. На кожну тонну вироблених дріжджів припадає від 12 до 30 м<sup>3</sup> стічних вод, які часто не очищуються належним чином від органічного забруднення.

Стічні води спеціалізованих дріжджових заводів утворюються переважно за рахунок культуральної рідини після сепарації дріжджів, миття технологічного обладнання та скидів із дріжджеростильних апаратів. Господарсько-побутові стоки складають лише незначну частку загального обсягу забруднень. Умовно чисті води, отримані від охолодження суслу, становлять приблизно половину загального обсягу стоків, і на більшості заводів вони повторно використовуються. Рівень органічних забруднень у стічних водах оцінюється за показником біологічної потреби в кисні та може варіюватися від 2000 мг/л до 10 000 мг/л. Загальний обсяг забруднень від одного дріжджового заводу еквівалентний стічним водам міста із населенням близько 300 тисяч осіб. Близько 70% цих вод формується через культуральну рідину після сепарації дріжджів, а решта — через інші технологічні процеси.[11]

Середні показники брудних вод, що утворюються при сепарації дріжджів, наведені в таблиці 2.2 .

*Таблиця 2.2. Середні показники брудних вод*

Показник	Сепарація			Загальний стік після сепарації
	I	II	III	
Р <sub>Н</sub>	4,6-5,5	6,4-6,8	6,5-6,7	6,4-6,7
ХСК, г о <sub>2</sub> /л	4,0-9,0	1,0-3,5	1,8-2,5	1,8-2,3
БСК <sub>5</sub> , г о <sub>2</sub> /л	2,4	2,2	0,6-1,0	1,6

Як субстрат для штучної біологічної очистки найбільший інтерес являє собою загальний стік дріжджових стоків, оскільки окремо очищати забруднені води від різних технологічних процесів недоцільно. Загальний стік забруднених вод заводів (цехів) хлібопекарських дріжджів характеризується наступними показниками (табл.2.3.) :

**Таблиця 2.3. Загальний стік забруднених вод заводів хлібопекарських дріжджів.**

Показник	Питома витрата стічних вод, м <sup>3</sup> на 1 т пресованих дріжджів
Рн	4,0-7,2
ХСК , г о <sub>2</sub> /л	67-2,3
БСК <sub>5</sub> , г о <sub>2</sub> /л	0,51-1,7
Азот загальний, мг/л	40-254
Фосфор загальний, мг/л	До 100
Зважені речовини, мг/л	227-765
Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> , мг/л	35-87
Зола, мг/л	64-90

Уніфіковані методи аналізу стічних вод дріжджових заводів не завжди забезпечують точність результатів. Наприклад, під час перевірки стічних вод Ленінградського дріжджового заводу було зафіксовано рівні БПК<sub>5</sub>, які перевищували встановлені гранично допустимі концентрації (ГДК). Є припущення, що продукти метаболізму дріжджів впливають на достовірність визначення біологічного споживання кисню (БСК). Стічні води, що утворюються в процесі виробництва хлібопекарських дріжджів, мають високу концентрацію забруднюючих речовин, значно перевищуючи показники господарсько-побутових стічних вод. Додатково вони характеризуються суттєвими і нерегулярними коливаннями складу залежно від часу.

Особливості стічних вод дріжджового виробництва включають

високу концентрацію забруднень, значне варіювання складу, нерівномірність притоку на очисні споруди, дефіцит живильних речовин (особливо азоту), кислу реакцію (рН менше нормативного показника 6,5) та наявність дріжджових клітин. Через ці характеристики стандартні схеми й режими очищення, призначені для господарсько-побутових стічних вод, часто виявляються неефективними.

У складі стічних вод виробництва хлібопекарських дріжджів містяться як органічні, так і неорганічні забруднення: завислі речовини – 180-500 мг/л; мінеральні – 30-100 мг/л; леткі – 150-400 мг/л; загальний азот – 320-340 мг/л; амоній – 3-11 мг/л; фосфор – 3-11 мг Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub>/л; натрій – 160-300 мг/л; калій – 500-720 мг/л; кальцій – 100-200 мг/л; БСК<sub>5</sub> – 3800-4200 мг/л; окислюваність – 1600-2000 мг О<sub>2</sub>/л; рН – 5,0-5,4; температура – 26-28 °С; сухий залишок – 8000-9000 мг/л. Ці води потребують обов'язкового очищення перед скиданням у водойми або каналізацію, особливо якщо завод розташований у міській зоні.

Стічні води дріжджових заводів мають стабільний темно-коричневий колір і характеризуються високою концентрацією органічних і мінеральних речовин. Особливо складним завданням є очищення стічних вод гідролізно-дріжджових заводів, які мають високий вміст аміачного азоту й органічних сполук. Це створює додаткові труднощі при їх підготовці до скидання у відкриті водойми.[6]

**Таблиця 2.4 Характеристика стічних вод гідролізно-дріжджового заводу**

Показник	Концентрації забруднень стічних вод, дм <sup>3</sup>
Завислі речовини	2355
ХПК	5187
БПК <sub>повн</sub>	-
БПК <sub>5</sub>	3553
Азот амонійний	1229
Фосфати	212
Рн	5,0

Стічні води, що утворюються в процесі дріжджового виробництва, перед випуском необхідно обробляти з метою видалення органічних речовин та зниження їх кислотності. Для цього складні сполуки на основі вуглецю, водню й азоту у воді повинні бути окислені до більш простих компонентів. У різний час для очищення виробничих стічних вод застосовувалися різноманітні методи.

### **2.3. Поводження з твердими відходами**

Біологічне очищення стічних вод відбувається у двох основних стадіях — анаеробній та аеробній. Під час анаеробної стадії органічні забруднення, що містяться у стічних водах, розщеплюються завдяки метаногенним бактеріям у реакторах без доступу кисню. У цьому процесі органічні рештки, а також розчинені мікро- та макронутрієнти зі стічних вод дріжджових підприємств, перетворюються в біогаз. Зокрема, внаслідок бродіння твердих решток утворюється метан, який може бути використаний для покриття енергетичних потреб підприємства у вигляді біогазу. Біогаз придатний для спалювання в котлах та газогенераторах, де реалізовані обидва варіанти його використання.

Під час первинного спалювання біогазу, що здійснюється на спеціальній установці (свічці), обсяги спалювання зазвичай невеликі й становлять близько 50 м<sup>3</sup>/год. Однак проектна потужність анаеробної стадії дозволяє отримати до 500 м<sup>3</sup> газу на годину. У результаті такого очищення отримуються цінні матеріали: сировина для органо-мінеральних добрив та енергоносій — біогаз (метан), що може бути використаний для забезпечення підприємства тепловою енергією. [12]

Одним із продуктів обробки є добриво АгроБеллум NPK — комплексний високоефективний засіб для ґрунту, який характеризується перевагами над традиційними органічними й мінеральними добривами. Воно виробляється у рамках екологічно чистого виробництва на підприємстві ЗАТ «Ензим», де успішно впроваджено систему управління

безпекою харчових продуктів згідно зі стандартом ISO 22000.

**Основні напрями використання добрива:**

- сільське господарство;
- підготовка компостів, біогумусу та ґрунтів;
- прискорення гуміфікації рослинних решток;
- виробництво екологічно чистої продукції;
- лісове господарство;
- промислове, декоративне та кімнатне квітникарство;
- рекультивація земель.

## РОЗЛІЛ 3

### ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1. Об'єкти дослідження.

**Місце дослідження.** ПрАТ «АБІНБЕВ ЕФЕС Україна» розміщений за адресою: м. Миколаїв, вул. Янтарна, будинок 320.

АВ InBev Efes була утворена 31 березня 2018 року в результаті злиття бізнесів АВ InBev і Anadolu Efes на території України та Росії. Загальна чисельність співробітників складає близько 7 тисяч осіб.

АВ InBev Efes є одним із лідерів українського пивоварного ринку та спільним підприємством найбільшої у світі пивоварної компанії Anheuser-Busch InBev, а також найбільшої пивоварної компанії Туреччини Anadolu Efes.

АВ InBev Efes має три броварні у Чернігові, Харкові та Миколаєві. Портфель пивних брендів складається з глобальних ТМ: Bud, Corona Extra, Stella Artois; міжнародних ТМ: Hoegaarden, Leffe, Beck's, Lowenbrau, Franziskaner, Spaten, Staropramen, Toller, Velkopropovickiy Kozel; а також локальних ТМ: «Чернігівське», «Рогань», «Янтар», «Жигулівське Оригінальне».

У Миколаївському відділенні пивного виробництва функціонують такі відділи:

- **Варильний цех.** У варильному цеху пивоварного заводу здійснюються такі технологічні операції: прийом добового запасу зернопродуктів, очищення зерна від домішок, дроблення зернопродуктів, затирання зернопродуктів, фільтрування затора, кип'ятіння сусла з хмелем, освітлення та охолодження сусла.
- **Дріжджове відділення.** У ньому є 5 танків для зберігання дріжджів. Дозволяє підприємству використовувати до 4 генерацій дріжджів, після чого вони утилізуються;

- **Відділення ЦКТ.** Процеси бродіння та дображування відбуваються у спеціальних резервуарах, званих ЦКТ (циліндро-конічними танками);
- **Відділення фільтрації.** Відділення оснащене мембранними та кізельгуровими фільтрами. Після проходження фільтра пиво стає прозорим;
- **Лінія розливу;**
- **Упаковка.**

Окремим відділом виробництва пива є сушка дріжджів. За допомогою нього завод піклується про довкілля. Найпоширенішим і доступним рішенням з переробки відпрацьованих пивних дріжджів є сушіння, а потім додавання їх у комбікорми як премікси або використання їх як окремий корм.

Також є власні лабораторії, де контролюється якість вхідної сировини, процесу виробництва на кожній стадії та готового біотехнологічного продукту.

**Мета та завдання дослідження. Мета досліджень** – дослідити вплив різних рас дріжджів на процеси зброджування та культивування в умовах Миколаївське відділення ПрАТ «АБІНБЕВ ЕФЕС УКРАЇНА».

**Об'єкт досліджень** – різні раси дріжджів які використовуються в процесі виробництва.

**Предмет досліджень** – вплив різних рас дріжджів на процеси виробництва.

Для виконання мети були поставлені наступні завдання:

- надати характеристику апаратурно-технологічної схеми;
- провести дослідження різних рас дріжджів за хіміко-технологічними показниками;
- встановити вплив різних рас дріжджів на їх зброджуванність та культивування;

- надати характеристику рас дріжджів, як основного продуцента даних досліджень;
- встановити економічну ефективність проведених досліджень.

**Методи дослідження** – загально-прийняті стандартні мікробіологічні методи лабораторної та індустріальної пропагації дріжджів.

### **3.2.Методи дослідження**

Дослідження проводилися в умовах Миколаївського відділення ПрА «АБІНБЕ ЕФЕС України», в період 2024-2025 рр. під час виробничої переддипломної практики.

Під час проходження практики матеріалом дослідження були 2 зразки різних рас дріжджів, якими користується пивоварний завод.

**Отримання та зберігання дріжджів.** Відповідно до регулярної програми розсилки дріжджів кожен пивоварний завод щокварталу отримує мінімально необхідну кількість пробірок із дріжджами необхідних штамів. Ця кількість пробірок буде покривати потребу заводу в пропагаціях на наступні три місяці, тобто на період максимально допустимого зберігання дріжджів.

При отриманні пробірки з дріжджами перевіряють наявність видимих ушкоджень. У випадку, якщо в упаковку вкладено термоіндикатор, слід перевірити, що під час транспортування дріжджі не були піддані впливу екстремальних температур нижче 1°C або вище 30°C.

Відразу після отримання пробірки з дріжджами поміщають на зберігання в холодильник при 2-3°C.

Повідомляють про успішну доставку. Реєструють офіційне кодування, ID пробірки, дату отримання та термін придатності. Ця інформація має бути легко доступна, оскільки може бути корисною у разі виникнення проблем. Після закінчення терміну придатності пробірки з дріжджами знищують.

**Ведення пропагації.** Кожен цикл пропагації починають лише з

пробірки. В ідеальному випадку для кожної пропагації слід використати нову оригінальну пробірку. Але на практиці оригінальна пробірка може бути використана неодноразово протягом терміну придатності при дотриманні наступних умов: максимальна кількість використань (відкривання пробірки) – 4, період використання – не більше 4-х тижнів з моменту першого відкривання.

**Підготовка лабораторного посуду та обладнання.** Стерилізація скляних колб, пляшечок, пробок проводиться в сухожаровій шафі при температурі 180°C протягом 1 години.

Пробірки та колби, призначені для лабораторної пропагації, стерилізуються разом із суслим в автоклаві при температурі 116 °C протягом 20 хвилин по 2 рази. Проміжок між стерилізаціями – 12-24 години. Перед стерилізацією пробірки та колби ретельно миють, висушують, заливають у них сусли та закривають ватно-марлевими пробками, обгорнутими папером.

Для стерилізації беруть:

- 3 пляшечки по 100 мл, кожен з яких наливають по 30-40 мл сусли;
- 2 колби по 1 л, кожен з яких наливають по 200 мл сусли;
- 2 колби по 2 л, кожен з яких наливають по 800 мл сусли;
- 1 колба на 5 л із 3,5 л сусли.

Слід враховувати, що при стерилізації частина води з сусли випаровується, тому під час підготовки пробірок і колб сусли наливають трохи більше встановленої норми.

Колба Карлсберга стерилізується в автоклаві разом із суслим 1 раз. Під час підготовки до стерилізації колбу Карлсберга ставлять у автоклав, заливають у неї 25 л сусли (приблизно 2/3 загального обсягу) і закривають кришкою. Потім щільно обертають папером носик крана, сам кран, а також місце кріплення фільтра та клапан скидання тиску. Папір фіксують лляною

ниткою. При стерилізації Колби Карлсберга в автоклав закладаються також шланг для аерації, шланг передачі ЧКД пропатор, повітряний фільтр Колби Карлсберга і повітряний фільтр для трубопроводу стерильного повітря. Перед стерилізацією кінці шлангів щільно закривають папером і фіксують його лляною ниткою. Потім складають шланг, щільно пакують його в папір, який також фіксують лляною ниткою.

Перед стерилізацією фільтри ретельно промивають, закладають в них вату, вхідний та вихідний отвори щільно закривають папером і фіксують їх лляною ниткою. Потім щільно обертають фільтри папером та обв'язують.

Після закінчення стерилізації Колби Карлсберга на неї встановлюється повітряний фільтр.

**Підготовка сусла.** Для лабораторної пропатації ЧКД необхідно використовувати сусло без траба та бруха, щільністю 12-15.0P. Перед початком стерилізації необхідно профільтрувати сусло через кізельгур (1 ложка кізельгуру на паперовий складний фільтр) або вату. Високощільне сусло розбавити дистильованою водою до щільності 12.

Цинк сприяє синтезу білка дріжджовими клітинами та впливає на метаболізм вуглеводів. Кількість цинку, що додається в сусло, повинна бути такою ж, як і для подальшої ферментації. Як норма рекомендована концентрація цинку в суслі повинна бути в діапазоні 0,2-0,6 мг/л  $Zn^{2+}$  або 200- 600 ppb залежно від раси дріжджів.[17]

**Лабораторна пропатація.** Мета пропатації – зробити біомасу дріжджів, з кількістю мертвих клітин трохи більше 5%, вільну від зараження, з гарною здатністю відтворення ферментів. (Норми якості для SOPs VPO QUAL.3.1.27.25 Менеджмент дріжджів).

1. Сусло: при нормальній щільності 12.0 Plato, колба з перемішуванням струшуванням.
2. Критерії для тривалості інкубації засновані на КДК, що досягається, можуть залежати від температури.

3. Температура має бути  $23 \pm 1^\circ\text{C}$  для всіх стадій до Колби Карлсберга;
4. Температура у Колбі Карлсберга –  $20\text{-}21^\circ\text{C}$ .
5. Перемішування на всіх стадіях має бути безперервним (шейкер/мішалка) – обов'язково. У Колбі Карлсберга – перемішування вручну – 1 раз на дві години.
6. Сусло в Колбі Карлсберга і в промисловому пропаторі – відповідає Plato варіння не більше –15' Plato, без мальтози.

Стерильне сусло зберігати у холодильнику за нормальної температури  $4\text{-}7^\circ\text{C}$  трохи більше трьох днів.

Лабораторна пропагація включає 5 стадій з послідовним збільшенням обсягів (рис. 3.2.1): пробірки чи пляшечки; колби 0,5-1 л; колби 2 л; колба 5 л; колба Карлсберга.



Рис. 3.2.1. Лабораторна пропагація

Аерація сусла стимулює процес розмноження клітин. Для аерації рекомендується використовувати шейкери або магнітні мішалки. Колба Карлсберга повинна постійно аеруватися стерильним повітрям, так само потрібно перемішувати її кілька разів на день.

**Перша стадія лабораторної пропагації-пробірки.** Виготовляється паралельно в 3-х пробірках або пляшечках (30-40 мл).

Опис процесу:

- Перед початком пропагації обробляємо кімнату розведення ЧКД кварцюванням протягом години (з розрахунку на площу, що

використовується).

- Перевіряємо температуру в кімнаті і при необхідності доводимо її до потрібного значення ( $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ ).
- Не менше ніж за годину до передачі ЧКД необхідно вийняти пробірку, отриману із ЗЦРД та пробірки зі стерильним сушлом із холодильника та помістити їх у кімнату розведення ЧКД з метою нагрівання пробірок до необхідної температури.
- Обробляємо стіл, на якому проводитиметься пропагація та руки 70% спиртом.
- Дістаємо мікробіологічну петлю з ємності з 70% спиртом (рис. 3.2.2) і обпалюємо її в полум'ї пальника до червона (рис. 3.2.3).

Потім ретельно обпалюємо і ручку петлі (рис.3.2.4).

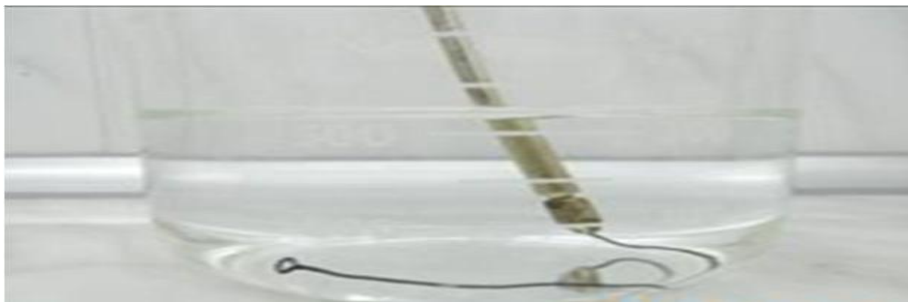


Рис. 3.2.2. Мікробіологічна петля



Рис. 3.2.3. Обпалювання мікробіологічної петлі



Рис. 3.2.4. Обпалювання ручки мікробіологічної петлі

- Зі суворим дотриманням всіх умов стерильності, поруч із полум'ям пальника (але не над полум'ям!) відкриваємо пробірку з ЧКД і за допомогою мікробіологічної петлі, обов'язково попередньо охолодженої об край середовища, переносимо дріжджі в пробірки зі стерильним сушлом (одна повна дріжджів) пробірку) для отримання першого обсягу інокулята (рис. 3.2.5 ).



Рис. 3.2.5. Перенесення ЧКД в пробірку із стерильним сушлом

- Швидко закриваємо пробірки над полум'ям. Пробірку із дріжджами щільно закриваємо і ставимо в холодильник.
- Водостійким маркером відзначаємо на пробірках їхній номер (пробірка №1, №2 та №3), расу дріжджів, номер генерації та розведення, а також дату та час інокуляції. Пробірки (пляшки) з інокулятом ставимо для аерації та перемішування на горизонтальний шейкер (рис. 3.2.6).



Рис.3.2.6. Пробірки з інокулятом на горизонтальному шейкері

Подальше збільшення обсягу оптимально в кінці експоненційної фази

зростання (фази «високих» завитків), клітини швидше адаптуються до змін у навколишньому середовищі, ніж клітини в стаціонарній фазі і, отже, фаза лаг вкорочується.[13]

**Друга стадія лабораторної пропагації – колби по 1 літру.** Виготовляється паралельно у 2-х колбах. При переході на другу стадію використовуються дві пробірки (пляшечки), в яких бродіння відбувається інтенсивніше. Опис процесу:

- Перед початком пропагації обробляємо кімнату розведення ЧКД кварцюванням протягом години.
- Перевіряємо температуру в кімнаті і при необхідності доводимо її до потрібного значення ( $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ ).
- За кілька годин до передачі ЧКД необхідно вийняти колби із суслим із холодильника та помістити їх у кімнату розведення ЧКД з метою нагрівання до необхідної температури.
- Обробляємо стіл, на якому проводитиметься пропагація та руки 70% спиртом.
- Переливаємо суслим з ЧКД із пробірки (пляшечки) в колбу поруч із полум'ям (рис. 3.2.7).



Рис. 3.2.7. Переливання суслим з ЧКД в колбу

- На колбах відзначаємо № пробірки з якої було задано ЧКД, расу, номер генерації та розведення дріжджів, а також час та дату.

- Ставимо колби на горизонтальний шейкер для перемішування та аерації ЧКД (рис. 3.2.8).



Рис.3.2.8. Колби на горизонтальному шейкері

**Третя стадія лабораторної пропagaції-колби по 2 літри.** Виробляється аналогічно другої стадії.

**Четверта стадія лабораторної пропagaції-колба на 6 л.** При переході на 4-ту стадію вибирається одна 2-літрова колба в якій бродіння відбувається більш інтенсивно. Виготовляється аналогічно 3-ї стадії.

**П'ята стадія лабораторної пропagaції – колба Карлсберга.**

- Після автоклавування поміщаємо Колбу Карлсберга в кімнату розведення ЧКД не менше ніж за 12 годин до завдання чистої культури. За цей час Колба Карлсберга повинна встигнути охолонути після автоклавування до необхідної температури ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ).
- Перед початком пропagaції обробляємо кімнату розведення ЧКД разом із колбою Карлсберга кварцюванням протягом години.
- Обробляємо колбу Карлсберга та руки 70% спиртом.
- Відкриваємо колбу Карлсберга і переливаємо сусло з ЧКД із колби на 6 л у колбу Карлсберга поруч із полум'ям.

**Аерація колби Карлсберг.** Аерація колби Карлсберга проводиться стерильним повітрям у дріжджовому відділенні Бродильного виробництва.

Після завдання ЧКД у колбу Карлсберга вона негайно транспортується до Дріжджового відділення, де підключається до трубопроводу стерильного повітря. Перед підключенням необхідно переконатися, що в зоні знаходження колби Карлсберга відсутні сторонні предмети, підлога та чисте обладнання, а краник трубопроводу (вихід стерильного повітря) щільно закритий кришкою.[14]

Підготовка до аерації.

1. Знімаємо кришку виходу крана стерильного повітря із трубопроводу стерильного повітря, обробляємо вихід 96% спиртом.
2. Перед початком аерації необхідно провести мікробіологічний аналіз повітря із трубопроводу. Для цього розпаковуємо стерильний фільтр для повітря поблизу кріплення та швидко прикручуємо його до краника виходу повітря. Обробляємо 96% спиртом вихідний отвір фільтра.
3. Розпаковуємо установку для відбору повітря (200 мл стерильного фізіологічного розчину) та поблизу полум'я швидко одягаємо його на вихідний отвір повітряного фільтра. Обережно відкриваємо краник подачі повітря і залишаємо для барботування на 30 хв.
4. Через 30 хв закриваємо краник, знімаємо установку відбору повітря, негайно загортаємо в стерильний папір і поміщаємо в бюкс для доставки в лабораторію. Вихідний отвір повітряного фільтра, що залишився відкритим, обробляємо 70% спиртом і закриваємо стерильним папером або фольгою.
5. До вихідного отвору повітряного фільтра, розпаковуємо один із кінців стерильного шланга для аерації, одягаємо його на повітряний фільтр. Далі розпаковуємо другий кінець шланга та кран колби Карлсберга та приєднуємо шланг до крана.
6. Встановлюємо колбу Карлсберга біля виходу трубопроводу стерильного повітря. Розпаковуємо колбу зі спиртом та встановлюємо її на кришку

Колби Карлсберга. Розпаковуємо фільтр Колби Карлсберга, обробляємо його 96% спиртом та одягаємо на нього шланг колби зі спиртом.

7. Відкриваємо кран Колби Карлсберга. Потім дуже повільно і обережно відкриваємо кран подачі стерильного повітря до появи повітряного струменя у спиртовій колбі. Регулюємо інтенсивність подачі повітря за допомогою того ж краника. Аерацію робимо протягом 12-24 годин при температурі  $20 \pm 2$  °C (рис. 3.2.9).



Рис. 3.2.9. Колба Карлсберга

Під час лабораторної пропагації проводимо мікробіологічний контроль процесу. При підозрі зараження дріжджів проводимо додаткові аналізи. На останній стадії лабораторної пропагації, у колбі Карлсберга, здійснюємо підрахунок кількості мертвих клітин .

**Рекомендації щодо експлуатації Колби Карлсберга.** Після використання колбу Карлсберга необхідно вимити з використанням 2% розчину NaOH, продезінфікувати, висушити, закрити до використання. Силіконові шланги промити проточною водою до візуальної чистоти. Повітряний фільтр розібрати, промити.[15]

Раз на півроку проводити технічне обслуговування Колби Карлсберга, змащувати кран харчовим мастилом, перевіряти стан мембрани, проводити огляд і заміну силіконових шлангів і прокладок, що зносилися .

### 3.3.Результати та їх обговорення

#### 3.3.1.Характеристика апаратурно-технологічної схеми

**Підготовка лабораторного посуду та обладнання.** Стерилізація скляних флаконів для сусла, колби Карлсберга, відповідних переходників та шлангів проводимо шляхом автоклавування при режимі  $132\pm 200$  °С 20 хвилин при 2 атм. Режим автоклавування контролюється хімічним та, при необхідності, фізичним методом, показаннями світлового табло.

**Підготовка сусла.** Для лабораторного розведення чистої культури дріжджів використовуємо сусло без траба та бруха. Високощільне сусло розбавляємо дистильованою водою до отримання необхідної щільності відповідно до вимоги конкретної раси (табл.3.3.1).

Таблиця 3.3.1.Залежність густини сусла від раси дріжджів

Умови культивування	Раса дріжджів	
	1	2
<b>Щільність сусла °Р</b>		
Пропагування до колби Карлсберга	12,0	12,0
Для колби Карлсберга	15,0	15,0

**Підготовлене сусло наливаємо у флакони у таких обсягах:**

Для рас низового бродіння: 1 – *Saccharomyces pastorianus*

- 3 флакони об'ємом 40 мл з 10 мл сусла 12,00 Р;
- 2 флакони об'ємом 500 мл з 190 мл сусла 12,00 Р;
- 3 флакони об'ємом 2000 мл з 1600 мл сусла 12,00 Р;
- КК з 16,5 л сусла 15,00 Р.

Для раси : 2 – *Saccharomyces cerevisiae*

- 3 флакони об'ємом 40 мл з 10 мл сусла 11,30 Р;
- 2 флакони об'ємом 500 мл з 190 мл сусла 13,00 Р;

- 6 флаконів об'ємом 2000 мл з 1600 мл сусла 13,00 Р;
- КК з 10 л сусла 13,00 Р.

Колбу Карлсберга із суслном стерилізуємо нещільно закритою, отвір для встановлення фільтра закриваємо марлею. Режим стерилізації: 110 С; 0,7 атм.; протягом 20 хвилин. Режим автоклавування контролюємо хімічним та, при необхідності, фізичним методом, показаннями світлового табло. Після закінчення процесу автоклавування встановлюємо фільтр, щільно закручуємо всі важелі та поміщуємо КК для зберігання у приміщення ЧКД.

**Підготовка до роботи приміщення боксу ЧКД.** Приміщення для роботи з ЧКД (бокс та передбоксік) піддається вологому прибиранню із застосуванням дез. засобів (ДП-2Т), обробляється УФО, для роботи в боксі використовуються окремі ЗІЗ: халат, капці, шапочка, рукавички. Стерильність приміщення контролюється щодня.[16]

**Ведення лабораторної пропагації.** Перед початком лабораторної пропагації слоп з необхідною расою дріжджів дістаємо з холодильника та прогріваємо, температура дріжджів та сусла повинна бути ідентичною, щоб уникнути температурного шоку дріжджів.

Допускається використання одного слопа не більше 4-х разів протягом 1 місяця з моменту першого відкриття. Дати відкриття контролюються записом на пробірці та у файлі: «Журналі лабораторних розводок».

Лабораторна пропагація ведеться згідно з розробленими схемами. Критерії для тривалості інкубації досягаються КДК, зброджування сусла, можуть залежати від температури.

Під час роботи застосовуються правила асептики та антисептики.

Мета пропагації – зробити біомасу дріжджів, з кількістю мертвих клітин трохи більше 5%, вільну від зараження, з гарною здатністю відтворення ферментів.

Дріжджову культуру зі скошеного агару з дотриманням умов стерильності

в полум'ї пальника за допомогою мікробіологічної петлі переносимо у пробірки зі стерильним суслим (одна петля в одну пробірку) для отримання першого обсягу інокулята.

Залежно від температурних умов і застосовуваних дріжджів розрізняють верхове і низове бродіння. Бродіння протікає у кілька стадій. Вони відрізняються один від одного і характеризуються зміною зовнішнього вигляду поверхні бродячого сусли, зміною температури, зниженням екстрактивності сусли і ступенем освітлення молодого пива.[18]

Перша стадія бродіння, що характеризується утворенням поверхні сусли ніжно-білої піни, називається забілом. Через 15-20 год після завдання дріжджів з'являються перші ознаки бродіння. Стає помітним виділення вуглекислоти та поява ніжно-білих бульбашок піни. Початкова стадія бродіння триває 1-1,5 діб і характеризується головним чином розмноженням дріжджів.

Друга стадія бродіння – це період низьких завитків. Виділення бульбашок вуглекислоти стає інтенсивнішим, що з повноцінністю живильного середовища для дріжджових клітин. Стадія характеризується утворенням густої, білої, компактної, піни, що піднімається, яка за зовнішнім виглядом являє собою завитки красивої форми.

Третя стадія, звана стадією високих завитків, характеризується найбільшою інтенсивністю бродіння. Бродіння стає дуже інтенсивним, шар піни досягає найвищої межі, піна стає нерівною, а завитки більші і вищі, ніж у другій стадії. Розмноження дріжджів закінчується, вміст сухих речовин сусли знижується на 1-1,5% на добу, температура підвищується до максимальної.

Четверта стадія – стадія обпадання завитків – характеризується поступовим опаданням піни, пластівцем утворенням дріжджів, зникненням завитків, в результаті чого поверхня сусли покривається тонким шаром коричневої піни, званої покрішкою або декою.

Подальше збільшення обсягу оптимально в кінці експоненційної фази

зростання (стадії «високих завитків»), клітини швидше адаптуються до змін у навколишньому середовищі, ніж клітини в стаціонарній фазі і, отже, лаг фаза коротшає.

Лабораторна пропагація включає 5 кроків з послідовним збільшенням обсягів. До 3 кроку лабораторну пропагацію проводимо паралельно для двох розводок, починаючи з 4 кроку вибираємо одну колбу в якій бродіння відбувається більш активно.

Температура пропагації не повинна перевищувати 28 °С, рекомендується проводити пропагацію за температури 23±2 °С (табл. 3.3.2).

*Таблиця 3.3.2. Залежність температури пропагації від раси дріжджів*

Умови культивування	Раса дріжджів	
	1	2
<b>Щільність суслу °P</b>		
Для 1-4 стадії пропагації	23±2	23±2
Для колби Карлсберга	20±2	20±2

Під час лабораторної пропагації проводимо мікробіологічний контроль процесу відповідно до «Плану відбору проб».

При проведенні кожного кроку лабораторної пропагації перед колбою Карлсберга проводимо підрахунок кількості мертвих клітин та підрахунок КДК, при необхідності проводимо додаткові дослідження відповідно до затверджених методик.

Аерація сусла стимулює процес розмноження клітин. Для аерації рекомендується використовувати шейкери або магнітні мішалки. За відсутності шейкера або магнітної мішалки, пробірки з дріжджовою культурою потрібно струшувати, а колби перемішувати круговими рухами вручну кілька разів на день для кращого надходження повітря .

### 3.3.2 Дослідження різних рас дріжджів за хіміко-технологічними показниками

У пивоварінні застосовують спеціальні раси дріжджів, культивовані у певних виробничих умовах, під впливом яких формується тип пива і його якість. Важливим критерієм оцінки бродильних властивостей дріжджів є зменшення вмісту екстрактивних речовин під час головного бродіння, яке має проходити повільно і постійно.

Активна кислотність сусла значно впливає на якість пива. В готовому пиві намагаються отримати рН 4,2-4,4. Значення рН, нижче за 4,4, що сприяє виділенню в осад колоїдно-нестабільних білкових речовин і покращує смак пива. Більш низькі значення рН (особливо нижче за 4,1) сприяють появі у пиві кислого смаку.

Глікоген – головний резервний полісахарид дріжджів. Він відіграє важливу роль у перетвореннях вуглеводів і забезпечує можливість тривалого росту і розмноження дріжджів у несприятливих умовах. Для збереження своєї життєдіяльності в умовах відсутності харчування дріжджова клітина переходить на запасне енергетичне джерело, що знаходиться в ній самій, використовуючи глікоген.

Підвищення рН вказує на початок автолізу дріжджів. Зниження величини рН має проходити помірно й одночасно по всьому об'єму сусла, що сприяє випаданню в осад хмелевих смол і білково-дубильних сполук, наявність яких у готовому пиві не бажана. У разі автолізу дріжджів параметри якості пива знижуються. Зокрема, змінюється колір пива, з'являється дріжджовий різкуватий присмак, гіркота стає більш вираженою з появою залишкової, падає смакова стабільність через зниження відновлювальних процесів.

Бродильну активність дріжджів визначали за ступенем зброджування сусла. Як видно з даних, наведених у таблиці 3.3.3, за цим показником досліджувані дріжджі розташовуються у такій послідовності: раса 2, 1.

Таблиця 3.3.3 Фізико-хімічні показники молодого пива

Раса дріжджів	Вміст, %			рН	Ступінь зброджування, %		
	видимого екстракту	дійсного екстракту	спирту		видима	дійсна	кінцева
Раса 1	4,38± 0,038	5,15± 0,021	2,97± 0,001	4,55	58,90± 1,26	48,87± 2,21	52,68± 1,48
Раса 2	4,12± 0,016**	4,90± 0,034*	3,29± 0,001***	4,47	61,73± 2,41	49,81± 3,18	56,30± 3,27

За фізико-хімічними показниками раса № 2 характеризується кращими фізико-хімічними показниками. При нижчих показниках видимого і дійсного екстракту – 4,12% та 4,90% відповідно, що вірогідно менше за показники раси

№ 1 ( $P \leq 0,01$  та  $P \leq 0,01$ ), але при цьому у раси № 2 вищий вміст спирту – 3,29% ( $P \leq 0,001$ ). При цьому він має кращі показники зброджування – 49,81-61,73%, порівняно зі зразком раси №1 – видима зброджуваність 61,73%, дійсна – 49,81% і кінцева зброджуваність – 56,30%.

Після доброджування в готовому пиві визначали фізико-хімічні показники. Як видно з даних таблиці 4, незалежно від раси застосованих дріжджів отримане пиво повністю відповідало вимогам чинного стандарту на світле пиво, але кращі фізико-хімічні показники спостерігалися у пива, отриманого з використанням раси 2. Так, вміст видимого та дійсного екстракту був вірогідно меншим за аналогічні показники раси 2 – 0,6% та 1,7 % відповідно. А вміст спирту при цьому в пиві отриманого з дріжджів раси 2 був вищим – 4,22%.

Таблиця 3.3.4 Фізико-хімічні показники пива

Раса дріжджів	Вміст, %			рН	Ступінь зброджування, %		
	видимого екстракту	дійсного екстракту	спирту		видима	дійсна	кінцева
Раса 1	0,8± 0,04	2,0± 0,17	4,12± 0,03	4,48	69,90± 3,12	55,70± 2,17	78,80± 3,04
Раса 2	0,6± 0,01***	1,7± 0,32	4,22± 0,02	4,46	70,72± 1,71	57,17± 1,13	81,72± 2,05

Показники зброджуваності, також, значно кращі у пиві отриманого від раси 2 і становлять 57,17-81,72%.

Таким чином, більш якісне пиво отримується із застосуванням чистих культур або насінневих дріжджів раси 2.

Використання сухих дріжджів, окрім зниженої фізіологічної активності, вони можуть зашкодити здоров'ю обслуговуючого персоналу, що вимагає використання засобів особистого захисту. Якщо не має змоги відмовитись від сухих дріжджів, то для підвищення ефективності використання таких дріжджів їх попередньо потрібно активізувати.

Тому нами поставлено за мету дослідити зміну біомасу дріжджів різних рас в процесі бродіння. Так, нами встановлено, що кількість дріжджових клітин у зваженому стані збільшується у процесі головного бродіння до 60–80 млн./мл, при доброджуванні це значення повинно становити 15–20 млн/мл. (табл. 3.3.5). За результатами досліджень встановлено, що найкращою за основними показниками є раса 2, що скорочує процес бродіння на 2 доби.[19]

Бродіння з використанням нових рас дріжджів протікало більш інтенсивно, досягаючи максимуму у раси дріжджів 2 на четверту добу при кількості дріжджових клітин 86,2 млн/см<sup>3</sup> та 52,8 млн/см<sup>3</sup> відповідно. Результати занесли у таблицю 5, з якої ми бачимо, що дріжджі раси 1

повільно розброджувалися і максимум цих дріжджів склав на 5 добу – 63,2 млн./см<sup>3</sup>.

**Таблиця 3.3.5 Зміна біомаси дріжджів різних рас в процесі бродіння**

Тривалість бродіння, діб	Кількість дріжджових клітин, млн./ см <sup>3</sup>	
	1	2
0	16,0	16,0
1	24,0	30,12
2	32,60	45,60
3	44,2	68,20
4	52,8	86,2
5	63,2	68,60
6	59,4	47,0
7	41,6	34,12
8	34,6	21,70
9	26,6	10,80
10	12,4	5,10
11	11,4	2,80
12	6,80	1,988
12,5	4,90	16,0
13	3,80	
14	2,00	

Таким чином, за фізико-хімічними та технологічними показниками виявилася кращою раса № 2, яка скорочувала процес бродіння пива на 2 доби і мала нижчі показники видимого і дійсного екстракту – 4,12% та 4,90% відповідно, при вищому вмісту спирту. А як наслідок, більш якісне пиво отримується із застосуванням чистих культур або насінневих дріжджів раси 2.

### **3.3.3 Дослідження впливу різних рас дріжджів на їх зброджуванність та культивування**

Пиво є продуктом біохімічної діяльності дріжджів. Численні реакції, що перебігають у дріжджових клітинах під час бродіння і доброджування, каталізуються великою кількістю ферментів. Оскільки активність ферментів обумовлена генетичним апаратом дріжджової клітини, то очевидним є вплив дріжджів на перебіг процесів бродіння, доброджування й утворення ними різнобічних продуктів.

Основними вимогами до пивних рас дріжджів є висока швидкість зброджування цукрів сусла, утворення пластівців, освітлення пива під час бродіння та надання йому чистого смаку і характерного приємного аромату.

Леткі і нелеткі побічні продукти бродіння утворюються як при розмноженні дріжджів, так і під час перетворення вуглеводів в етиловий спирт, тобто синтез таких речовин обумовлений життєдіяльністю дріжджів. Якісний та кількісний склад утворених вторинних і побічних продуктів бродіння багато в чому залежить не тільки від хімічного складу зброджуваного сусла та умов бродіння, а й від раси дріжджів, що застосовуються .[20]

Тому метою наших досліджень було порівняти різні раси пивних дріжджів для зброджування пивного сусла.

Порівняємо індустріальну пропagaцію двох зразків дріжджів у двох пропagaторах та внесення їх до ЦКТ.

В період з 30 липня 2025 року по 1 серпня 2025 року відбувалась індустріальна пропagaція зразка дріжджів раси 1. Два дні з яких дріжджі знаходились в пропagaторі № 1 (табл. 3.3.6). Бачимо, що рН та щільність сусла зменшується, а кількість дріжджів зростає. Це свідчить про те, що дріжджі активно розмножуються споживаючи вуглеводи в суслі. Коли в пиві вміст дріжджових клітин досягає 100-120 млн/л, то вміст пропagaтора №1 потрібно передати до пропagaтору № 2.

Це відбулося 31 липня 2025 року о 18:15. В прогаторі № 2 дріжджові

клітини також ведуть активне розмноження. Завершальним етапом розведення дріжджів є їх внесення до ЦКТ. Це відбулося 2 липня 2025 року о 5:40.

**Таблиця 3.3.6. Індустріальна пропagaція дріжджів раси №1**

Дата	Час відбору проб	Місце розведення ЧКД	pH	Кількість дріжджів, млн	Щільність суспензії	Температура в приміщенні пропagaції
30/07/25	17:40	Пропагатор № 1	5,2	7	15,2	17,0
31/07/25	14:30	Пр № 1	4,56	61	13,1	17,3
31/07/25	17:30	Пр № 1	4,33	86	12,3	17,1
31/07/25	18:15	Пр № 2	5,21	4	14,1	17,0
01/08/25	13:00	Пр №2	4,38	43	11,9	17,0
01/08/25	17:00	Пр № 2	4,1	92	10	17,1
02/08/25	5:40	ЦКТ №7	4,82	28	13	15,0
02/08/25	6:40	ЦКТ №7	4,95	13	14,8	15,8
02/08/25	16:30	ЦКТ №7		35		

В період з 8 серпня 2025 року по 10 серпня 2025 року відбувалося розмноження дріжджів раси 2. З 8 по 9 серпня дріжджі знаходились у пропagaторі № 1. З 9 по 10 серпня у пропagaторі № 2 та 10 серпня о 16:55 дріжджі потрапили до ЦКТ (табл. 3.3.7).

**Таблиця 3.3.7 Індустріальна пропagaція дріжджів раси №2**

Дата	Час відбору проб	Місце розведення ЧКД	pH	Кількість дріжджів, млн	Щільність суслу	Температура в приміщенні пропagaції
8/08/25	14:30	Пр № 1	4,9	9	14,8	18
9/08/25	9:10	Пр № 1	4,51	50	13,05	18
9/08/25	12:10	Пр № 1	4,34	65	12,3	18
9/08/25	14:30	Пр № 1	4,15	89	11,6	18
9/08/25	16:00	Пр № 1	3,99	98	10,9	16
9/08/25	16:30	Пр № 2	4,75	13	14,0	16
10/08/25	9:00	Пр № 2	4,27	63	11,4	16
10/08/25	12:00	Пр № 2	4,16	87	10,4	16
10/08/25	15:00	Пр № 2	4,07	110	9,7	15
10/08/25	16:55	ЦКТ № 7	4,76	17	9,7	15
11/08/25	2:30	ЦКТ № 7	4,54	39	12,9	14,1
11/08/25	3:30	ЦКТ № 7	4,88	26	13,9	14,3
11/08/25	14:45	ЦКТ № 7	4,59	48	13,5	14
11/08/25	15:30	ЦКТ № 7	4,81	24	14,3	13,7

Ми можемо спостерігати, що перший і другий зразок розмножуються більш – менш однаково. Якщо проаналізувати внесення двох зразків у ЦКТ, то можна спостерігати, що двом зразкам важко адаптуватися до нової температури приміщення, де вони знаходяться (табл. 3.3.6, 3.3.7). Це підтверджує факт, що дріжджі люблять тепло і для них дуже важливо

створювати усі умови для життя. Протягом деякого часу вони адаптуються до нових умов існування та продовжують життєдіяльність.[21]

Після внесення ЧКД з лабораторії за допомогою колби Карлсберга в пропатор дріжджі зазнають шоку. Причина цього шоку ще не визначена остаточно, проте він виявляється в уповільненні процесу розмноження дріжджових клітин. Такий же ефект уповільнення зростання вмісту клітин спостерігається і при черговому розведенні дріжджі-сулової суспензії черговим завданням сула.

Таким чином, перша і друга раса у пропаторі характеризуються однаковими особливостями розмноження. А при внесенні двох рас у ЦКТ, то можна спостерігати, що незалежно від раси дріжджів, вони важко адаптуються до нової температури приміщення, а при зростанні дуже важливо їм створювати усі необхідні умови для життєдіяльності.

## РОЗДІЛ 4

### ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ДРІЖДЖОВИХ ЗАВОДІВ

#### 4.1. Методи очищення стічних вод дріжджових заводів

Методи очищення стічних вод поділяються на шість основних типів: механічні, хімічні, фізичні, фізико-хімічні, фізико-механічні та біологічні. Вибір методів і їх послідовність залежать від ряду факторів, таких як якісний і кількісний склад стоків, а також ступінь їх забруднення, що характерно, наприклад, для стічних вод дріжджових заводів. [22]

Механічне очищення передбачає відстоювання у спеціальних резервуарах, де відбувається відділення освітленої водної фази від нерозчинних домішок із можливістю наступної реорганізації або утилізації останніх. Застосовуються також методи фільтрування, які здійснюються за допомогою піщаних або спеціальних фільтрів. Після цього воду можуть змішувати з первинно забрудненою для досягнення стандартизованого рівня домішок, що дозволяє її подальше скидання у водойми чи каналізацію.

Фізичні методи очищення включають випаровування, що використовується для отримання розчинених речовин у кристалічному стані, та обробку магнітним полем, яка сприяє зменшенню утворення нерозчинних осадів і їх розрихленню. Фізико-механічні методи базуються на використанні механізмів за законами фізики, таких як флотація, гіперфільтрація, зворотний осмос, ультрафільтрація і електродіаліз.

Флоатація — це процес, заснований на здатності частинок прилипати до поверхонь розподілу фаз (вода і повітря або вода і тверда речовина). Метод передбачає пропускання бульбашок повітря через воду, на яких осідають частинки та нафтопродукти, що піднімаються на поверхню і збираються спеціальним обладнанням.

Ультрафільтрація здійснюється шляхом продавлювання розчину через мембрани з мікроскопічними порами за порівняно малим тиском.

Вода та іони солей проходять крізь мембрану, тоді як більші молекули (полімери, колоїди) відокремлюються. Мембрани можуть бути виготовлені у вигляді листів або циліндрів із матеріалів, як-от ефіри целюлози чи поліаміди.

Гіперфільтрація використовує напівпроникні фільтри з надзвичайно малими порами. Застосовуючи великий тиск (до 10 мільйонів Паскалей), крізь фільтр проходить лише вода, тоді як молекули солей залишаються з іншого боку мембрани. Це дозволяє збільшити концентрацію солей у залишковій рідині.

Електродіаліз здійснюється через використання спеціальних мембран як електродів, що пропускають постійний електричний струм. У результаті цього процесу іони солей рухаються та накопичуються з одного боку мембрани, залишаючи демінералізовану воду з іншого. Мембрани виробляються з іонообмінних полімерів — катіонітів і аніонітів, що здатні вибірково поглинати іони металів або кислотні залишки. [23]

Хімічні методи очищення ґрунтуються на зміні хімічного складу речовин. Наприклад, водорозчинні сполуки можуть перетворюватися на газоподібні або нерозчинні осади, які потім можна відокремити і утилізувати чи захоронити. Недоліком є значне використання хімічних реактивів, що робить ці методи економічно затратними й малоефективними.

Сучасними найбільш ефективними методами вважаються екстракція, коагуляція, сорбція, флокуляція, іонний обмін, хемосорбція, абсорбція та адсорбція.

Коагуляція — це процес згущення чи злипання дрібних частинок забруднювачів у більші під впливом коагулянтів, таких як солі алюмінію, заліза, кальцію, магнію, цинку або вуглекислий газ.

Сорбція — метод очищення, що ґрунтується на здатності певних матеріалів (деревне вугілля, активоване вугілля, торф, глина) поглинати газоподібні чи рідкі забруднення завдяки своїй пористій структурі. Ефективність сорбції залежить від кількості та розмірів пор сорбенту. У її

рамках вирізняють три основні підтипи:

- Абсорбція (поглинання речовини всією масою абсорбенту без хімічних змін);
- Адсорбція (поглинання лише поверхнею адсорбенту за рахунок молекулярних сил);
- Хемосорбція (хімічне поглинання із перетворенням речовини). Усі варіанти сорбційного очищення відбуваються у колонних агрегатах, заповнених поглинальним матеріалом.

Іонний обмін використовується для видалення катіонів і аніонів із розчину за допомогою іонообмінних смол. Цей метод активно застосовується на теплових електростанціях і в котельнях для зниження жорсткості води, викликаній високим вмістом іонів металів (кальцію, магнію, заліза). У гальванічному виробництві він служить для вилучення іонів важких металів (заліза, цинку, кадмію, срібла). [24]

Альтернативою реагентним методам очистки води може стати електрохімічне очищення, яке включає:

- Обробку води змінним електричним струмом,
- Вплив високих (ВЧ), низьких (НЧ) чи надвисоких частот (НВЧ),
- Ультрафіолетове опромінення, ультразвук чи магнітну обробку.

Процеси електрохімічного очищення спричиняють трансформацію токсичних речовин в менш шкідливі сполуки, деякі з яких через низьку розчинність осідають у вигляді твердого залишку. На цей час прямий бактерицидний вплив НВЧ-поля на мікроорганізми експериментально не доведений. Проте дослідження його інтегрального ефекту на харчові об'єкти свідчать про можливість пастеризації та стерилізації стічної води.

Бактерицидний ефект пояснюють взаємодією електромагнітного поля із важливими клітинними компонентами, що призводить до пригнічення їх функцій або повної загибелі. Результатом НВЧ-випромінювання є часткова інактивація мікроорганізмів із певними морфологічними змінами. Паралельно відбувається незначне підвищення

температури, що зумовлює зміни проникності клітинних стінок. Відокремити тепловий і електромагнітний вплив під час дослідів складно через локальне виділення енергії внаслідок властивостей клітинного середовища.

Існують різні гіпотези щодо механізму дії НВЧ-поля на мікроорганізми. Одним із припущень є вплив енергії на клітинні стінки та цитоплазму через поширення НВЧ-енергії по всьому об'єму клітини. Також висувається теорія нетеплового ефекту поля, який переорієнтовує поляризовані білкові ланцюги макромолекул у напрямку електричних силових полів, що може призводити до розриву водневих та інших типів зв'язків.

Дослідження показали, що мікроорганізми в слабких електролітах гинуть за умов низької енергії електромагнітного поля з частотою в межах 10-30 МГц, а найбільш критичною є частота 60 МГц. Було висловлено припущення, що летальний ефект НВЧ-енергії пов'язаний із впливом високочастотного випромінювання на їхню структуру або функціональність.

Мікроорганізми реагують на різні фізичні фактори, серед яких варто виділити тепловий вплив. Дослідження показують, що обробка низькими температурами найчастіше не призводить до інактивації мікроорганізмів. Ефективність таких методів залежить від потужності НВЧ-поля, що використовується, а практичне застосування оцінюється за швидкістю нагрівання або тривалістю впливу на одиницю маси продукту. Поглинання енергії надвисокочастотного випромінювання визначається частотою електромагнітного поля та діелектричними характеристиками продукту. Тепло, що утворюється під час обробки, зростає пропорційно підвищенню частоти генератора й залежить від температурного стану продукту. Незважаючи на перспективність використання надзвичайно високих частот, існують суттєві обмеження: висока економічна вартість, складність апаратури, температурна гетерогенність продуктів, необхідність

забезпечення рівномірного електромагнітного поля та високі вимоги до кваліфікації персоналу.

Використання струмів високої частоти дозволяє нагрівати середовище без безпосереднього контакту з джерелом енергії. Основна частина електромагнітної енергії перетворюється на теплову всередині пастеризованого середовища, що спричиняє діелектричне нагрівання за частот 0,5–100 МГц.

Ультрафіолетове опромінення знайшло широке застосування в практиці завдяки простоті та відносній економічній ефективності. Найбільш активними є промені з довжиною хвилі 260 нм. Проте чутливість мікроорганізмів до ультрафіолетового випромінення варіюється залежно від їх біологічних характеристик та фази розвитку.

Дія ультрафіолету викликає димеризацію піримідинів, що призводить до розриву водневих зв'язків і локальної денатурації ДНК, змінюючи її конфігурацію.

В обробці стічних вод ключовими параметрами є потужність та доза опромінення. В залежності від дози спостерігаються три стадії змін у клітинах:

- утворення вакуолей при слабкому опроміненні;
- поява ліпідних кульок у плазмі внаслідок розщеплення ліпопротеїнових комплексів;
- та незворотні зміни мембран і внутрішнього вмісту клітин при тривалому опроміненні.

Ультрафіолет також здатний прискорювати старіння клітин через зростання темпу життєдіяльності мікроорганізмів. Ефективність методу залежить від початкової концентрації мікроорганізмів у воді, тому для надійної обробки слід використовувати бактерицидні установки із потужними джерелами ультрафіолетового випромінення, що потребує значних технічних інвестицій.

Застосування ультразвукових хвиль базується на їх здатності

викликати миттєве руйнування клітин через кавітаційний ефект у середовищі за належної інтенсивності акустичних коливань. Це дозволяє ефективно дезінтегрувати різні типи бактерій і дріжджів (грампозитивних, грамнегативних, аеробних та анаеробних). Вибірковість впливу ультразвукових хвиль залежить від морфологічних особливостей мікроорганізмів та їх функціонального стану.[25]

Ефективність ультразвукових хвиль у дії на мікроорганізми залежить від концентрації клітин в одиниці об'єму стічних вод і частоти ультразвуку. Аналіз впливу ультразвуку різної частоти (0,6; 1 і 2 МГц) на дріжджі показав, що максимальна загибель мікроорганізмів спостерігається при високій частоті. Водночас висока концентрація клітин у середовищі негативно впливає на ефективність ультразвукової обробки.

Наприклад, при концентрації клітин у 48 тисяч на мм<sup>3</sup> обробка тривалістю 75 секунд призводить до їх загибелі. Деякі мікроорганізми демонструють високу чутливість до ультразвукових коливань. Уже після 30 секунд впливу спостерігається «вспінювання» протоплазми або желатинізація її структури. При збільшенні часу ультразвукової обробки до п'яти хвилин відзначають механічні пошкодження клітин: відрив кінців клітин, розриви перегородок, утворення дефектів в місцях клітинної стінки. Дріжджові клітини мають особливу чутливість до ультразвукових хвиль, що спричиняє значне ушкодження протоплазми та виділення жирових краплин. Відзначено також зниження рівня споживання кисню дріжджами приблизно на 10–12% після 1–1,5 години обробки. Бактерицидний ефект ультразвукової обробки може бути послаблений в разі зниження кавітації, що відбувається через зміни в'язкості середовища або застосування високого зовнішнього тиску (4–5 атм). Кавітація у рідині виникає в областях з наявністю газових мікробульбашок.

При цьому відстань між біологічним об'єктом і кавітаційними порожнинами відіграє ключову роль: ударна хвиля діє на мікроорганізми ефективніше, якщо вони розташовані ближче до області газової бульбашки.

Летальний ефект зменшується пропорційно квадрату відстані від місця утворення газової бульбашки, а ударна хвиля поширюється на декілька мікрон. Дія ультразвуку також викликає складні фізико-хімічні зміни в клітинах, в результаті чого «розрихлюються» внутрішньоклітинні комплекси та вивільняються біологічно активні компоненти.

Сам принцип ультразвукового очищення базується на утворенні зон високого тиску (десятки тисяч атмосфер), які чергуються з зонами розрідження при проходженні хвиль крізь воду. Це явище отримало назву ультразвукова кавітація. Завдяки цим умовам жоден мікроорганізм не здатний витримати руйнівну дію. [26]

Ультразвук сприяє виділенню емульгованих або суспендованих у воді компонентів через процеси коагуляції, флокуляції чи агломерації, після чого їх легко вилучити із середовища. Також метод використовується для знезараження середовищ, причому важливу роль у пригніченні бактерій відіграють перекисні процеси окислення ліпідних мембран, що супроводжуються утворенням оН-радикалів та активних окислювальних агентів.

Попри свою ефективність, метод ультразвукової обробки має певні недоліки. Серед них — обмеження об'єму оброблюваного середовища через нерівномірність розподілу інтенсивності ультразвукових коливань у пристрої. Для збільшення ефективності потрібна тривала експозиція.

Для очищення стічної води від важкоосаджуваних дрібних суспензій часто використовують магнітну обробку. Її особливість полягає у здатності прискорювати коагуляцію, тобто злипання і осадження частинок, що сприяє формуванню пластівців. Магнітне очищення знаходить застосування на водопровідних станціях, особливо за умов високої каламутності води.

Магнітна обробка стічної води має значну ефективність у видаленні дрібнодисперсних забруднень, аналогічно до очищення промислових стоків. Завдяки такій обробці у воді збільшується вміст розчиненого кисню, що посилює її бактерицидні властивості. Крім того, магнітне поле впливає

на електрокінетичний потенціал і агрегативну стійкість часток у суспензії, сприяючи їх більш швидкому осадженню. Це позитивно позначається на процесі витягування різнотипних домішок із води.

Безпосередня дія магнітного поля на іони домішок активує адсорбційні процеси, що відкриває значні перспективи для вдосконалення систем очищення.

На рисунку 4.1 наведено схему водоочищення, яка використовує два прояснювачі в поєднанні з магнітним пристроєм. Процес починається з подачі вихідної води з ємності (1) у перший прояснювач (2) через повітровіддільник (3) та розподільну решітку (4), де вода вступає в контакт із завислим шаром відпрацьованого осаду (5). Спочатку прояснена вода змішується з коагулянтном, який додається з ємності (6) і проходить через магнітний пристрій (7), перш ніж надходить до другого прояснювача (8). У другому прояснювачі вода взаємодіє із свіжим осадом (9), після чого її направляють на фільтри для подальшого очищення. У цьому процесі осад, виступаючи як адсорбент, контактує із водою з високою концентрацією речовин, що підлягають видаленню. Відпрацьований осад із другого прояснювача надходить через шламовіддільник (10) до ємності (11), після чого повертається до першого прояснювача (2). Як і у випадку попередньої модифікації очисної системи, таке вдосконалення можна реалізувати на основі вже існуючої інфраструктури.

### Вода на очищення

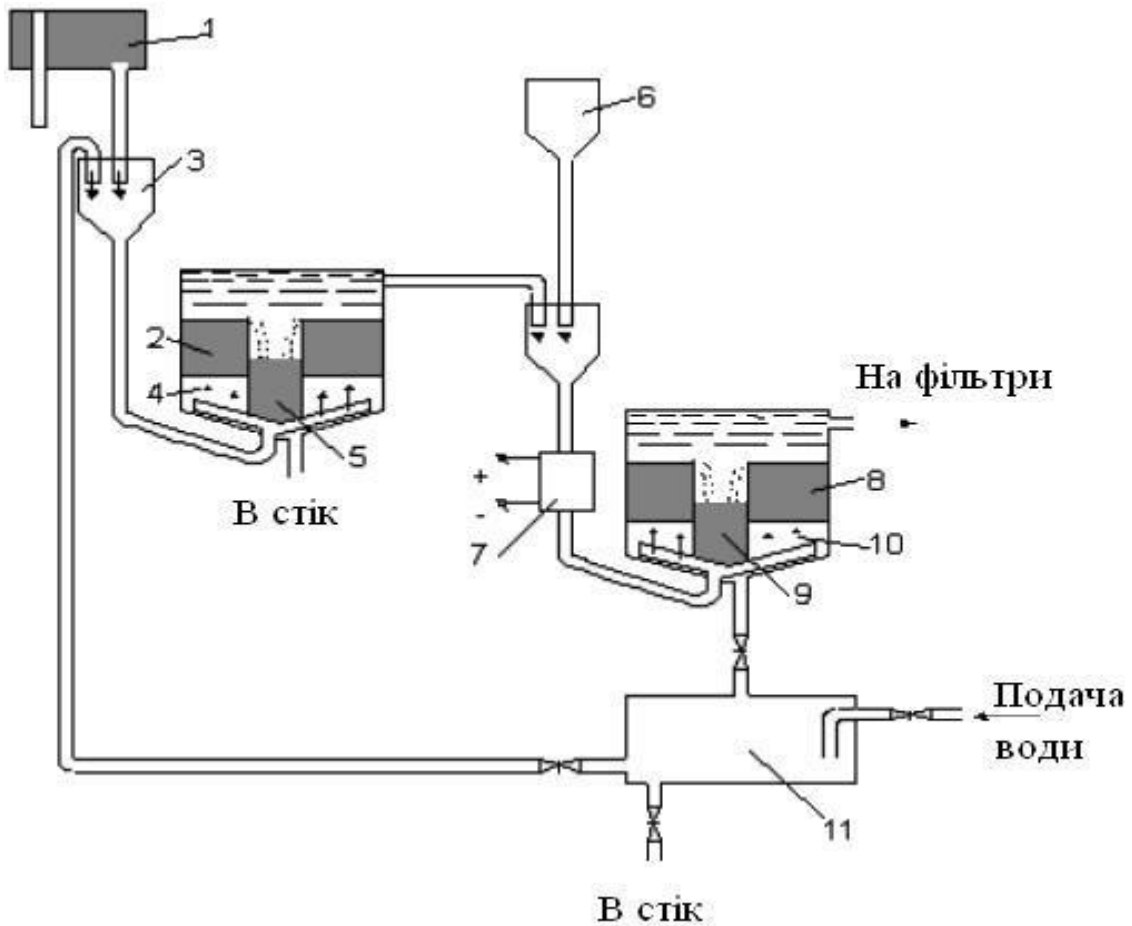


Рис. 4.1. Схема очищення води з двома прояснювачами з магнітним пристроєм: 1, 6, 11 – ємність; 2 – перший прояснювач; 3 – повітровіддільник; 4 - розподільна ґратка; 5 – шар відпрацьованого осаду; 7 – магнітний пристрій; 8 – другий прояснювач; 9 – шар свіжого осаду; 10 – шламівідвідник

У методах біологічного очищення стічних вод застосовуються спеціальні штами мікроорганізмів, які здатні вибірково поглинати певні речовини, як-от неорганічні (наприклад, важкі метали) або органічні (зокрема, нафтопродукти). Цей процес проходить у добре аерованих умовах з використанням аеробних мікроорганізмів або без подачі кисню — за допомогою анаеробів.[27] Реалізація таких методів здійснюється в спеціалізованих реакторах, таких як аеротенки та біотенки, або на спеціально облаштованих ділянках, як-от поля фільтрації.

## 4.2. Сучасні тенденції очистки стічних вод дріжджового виробництва

Очищення стічних вод дріжджового виробництва має низку ключових особливостей, які спрямовані на забезпечення високої ефективності процесу. Серед головних вимог можна виділити наступні:

- стабілізація складу та витрати промислових стоків;
- проведення попередньої анаеробної очистки у біореакторі;
- впровадження двоступінчастої біологічної очистки з використанням аеротенків із локальними системами біоценозу та самостійними контурами рециркуляції активного мулу;
- розбавлення концентрованих стоків комунальними водами — співвідношення визначається як 1:2 на етапі до першого ступеня та від 3:1 до 5:1 перед другим ступенем.

У першому ступені аеротенків здійснюється часткова біологічна очистка стічних вод у режимах підвищених (600-900 мг БСК5/г активного мулу на добу) або високих навантажень (1000-2000 мг БСК5/г активного мулу на добу).

На другому ступені аеротенків забезпечується повна біологічна очистка із розвиненою нітрифікацією, що наближається до процесів повного окиснення сполук, які містять азот.

Анаеробна попередня обробка проводиться у спеціально створених біореакторах із використанням гранульованого мулу як ключового компонента. Анаеробне очищення зарекомендувало себе як одна з найперспективніших технологій для концентрованих стоків із рівнем забруднення понад 1000 мг БСКпов/л.

Процес полягає у безкисневій біохімічній трансформації органічних речовин в біогаз, який складається на 70% із метану і на 30% із вуглекислого газу. Сучасні конструкції біореакторів демонструють продуктивність у межах від 15 до 30 кг ХСК/м<sup>3</sup> на добу, що значно перевершує аналогічний показник для аеротенків — в 10-15 разів. Це досягається завдяки

використанню високоактивного анаеробного мулу в концентраціях 20-60 г/л, який формує щільні гранули діаметром 1-5 мм.

Біореактори мають компактні розміри, є повністю герметичними, що дозволяє їх установку не лише на очисних спорудах, але й безпосередньо на території підприємств. Простота управління процесом та можливість повної автоматизації роблять анаеробне очищення надзвичайно привабливим варіантом для ефективної переробки промислових стоків.

### **4.3. Очищення стічних вод дріжджових підприємств за допомогою електричного поля**

Сучасні технології очищення рідких відходів пропонують різні методи, зокрема хлорування, гамма-опромінення та короткохвильове ультрафіолетове випромінювання, для знезаражування води від патогенних бактерій.

Проте існуючі способи утилізації та переробки рідких стоків не дозволяють досягти екологічно рекомендованих стандартів викидів підприємств. До того ж, застосовувані реагенти часто несуть загрозу довкіллю. На поточному етапі розвитку науки і техніки найбільш перспективними вважаються безреагентні методи утилізації.

Один із сучасних підходів до очищення стічних вод, зокрема в дріжджовому виробництві, полягає у використанні електричного поля. Ця технологія базується на наступному принципі: зі збільшенням в'язкості рідини складніше відокремлювати частинки. Для збереження якості очищеної води і підвищення ефективності системи необхідно збільшити напруженість зовнішнього електричного поля.

Водночас зниження дзета-потенціалу частинок може погіршити фільтраційний процес. Ефективність утримання таких частинок залежить від їх розмірів, електропровідності середовища, діелектричної постійної та градієнта напруженості неоднорідного електричного поля. Це поле залежить не лише від природи поляризованого матеріалу (поляризації,

діелектричної проникності тощо), але й його форми та розмірів. Враховуючи ці фактори, явище електроутримання може виявитися ефективним рішенням для очищення стічних вод дріжджових заводів.

Відходи такого типу містять колоїдні частинки різного походження, мікроорганізми, органічні речовини і барвники, які успішно адсорбуються на поляризованому діелектричному матеріалі в електричному полі, забезпечуючи високий рівень очищення.

#### **4.4. Дослідження показників стічних вод очищених електрохімічним способом**

Процес очищення стічних вод методом електродіалізу ґрунтується на розділенні іонізованих речовин під впливом електричної сили, яка діє в розчині з обох боків мембрани. У таких умовах аніони переміщуються струмом у напрямку анодного простору, де утворюється кисень і кислота. Тим часом катіони переносяться до катодного простору, де утворюється водень і луг.

Процедуру проводили в електродіалізаторі, конструкція якого включає дві камери, розділені мембраною. Досліджувану стічну воду заливали до анодної й катодної зон, роз'єднаних мембраною, виготовленою з тканини типу «бельтінг». У якості аноду застосовувався матеріал із нержавіючої сталі, а катод виготовляли з титану. Відстань між електродами складала 48 мм. До аноду і катоду подавали постійний електричний струм, що забезпечувало виконання процесу електродіалізу. Після завершення процедури очищену воду одночасно зливали з анодної та катодної камер через штуцери.

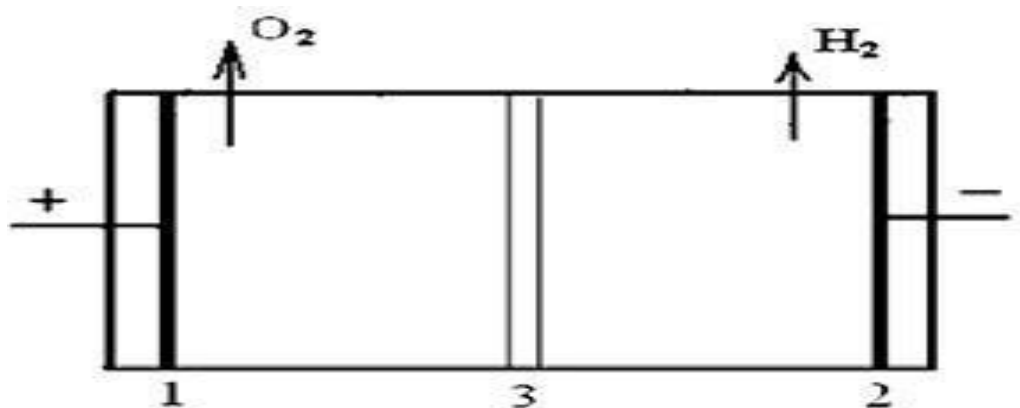


Рис. 4.4. Схема електродіалізу

1 – анод; 2 – катод; 3 – мембрана

На процес електродіалізу впливають такі показники, як сила струму, напруга і температура середовища. Умови проведення електрохімічного очищення показані в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4. Умови проведення електрохімічного очищення

Показники	Стічна вода I ступеня		Стічна вода II ступеня		Стічна вода III ступеня	
	Початковий момент	Кінцевий момент	Початковий момент	Кінцевий момент	Початковий момент	Кінцевий момент
Сила струму, А	0,4	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2
Напруга, В	19	20	18	19	15	16 В
Температура, °С	19	19	19	19	19	19

Час проведення процесу очищення стічних вод в електродіалізаторі становив 5 і 10 хв. Порівняльний графік показників стічних вод процесу електрохімічного очищення в залежності від часу проведення показано на рис.4.5.

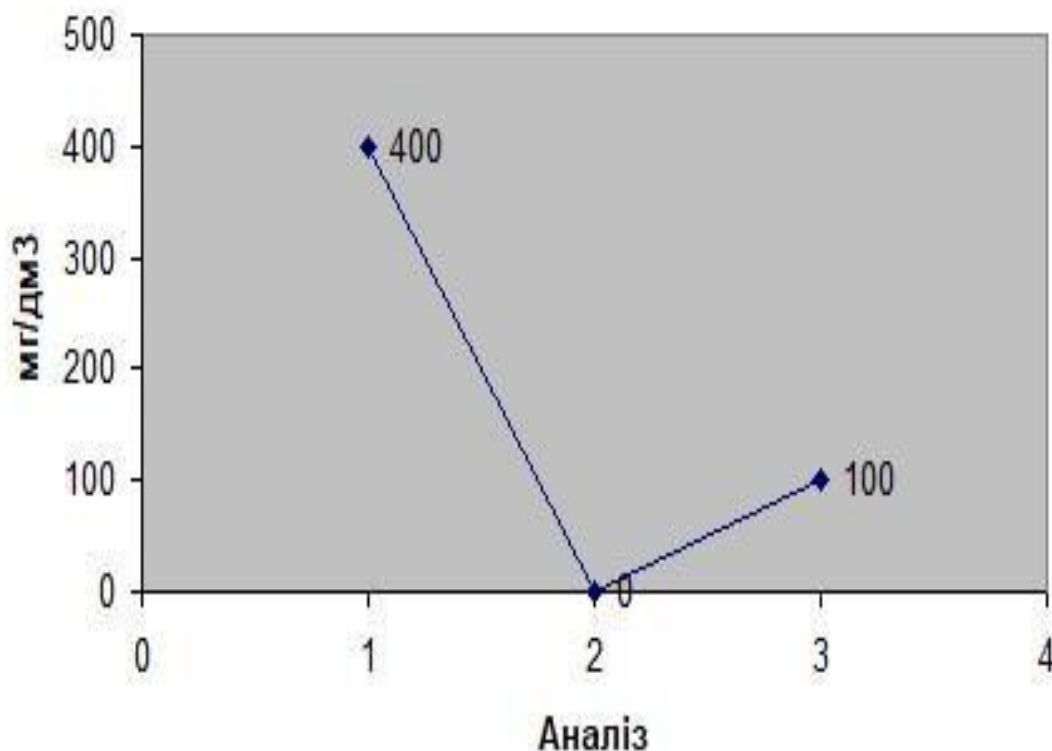


Рис. 4.5. Порівняльний графік показників стічних вод процесу електрохімічного очищення в залежності від часу.

На графіку перший і другий сектори відображають значення прокаленого залишку після 5 та 10 хвилин процесу очищення. Третє представлення показує рівень залишку відповідно до нормативних показників для стічних вод. Для забезпечення оптимальної ефективності електрохімічного очищення стічних вод обрано тривалість процесу в 10 хвилин. Результати проведених досліджень після очищення при тривалості  $t = 10$  хв наведені в таблиці 4.5.

Аналіз отриманих даних підтверджує результативність застосованого методу очищення. Зіставивши показники вихідної води із даними після її обробки, можна зробити висновок, що найбільш вдало процес відбувся в катодній зоні.

**Таблиця 4.5. Результати досліджень стічних вод після  
очищення електродіалізом**

Показники	Стічна вода I ступеня		Стічна вода II ступеня		Стічна вода III ступеня	
	Анодна зона	Катодна зона	Анодна зона	Катодна зона	Анодна зона	Катодна зона
РН	4,57	5,21	4,62	6,29	4,65	7,7
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	1401,1	789,3	1361,6	572,3	1260,4	315,7
Нітриди, мг/дм <sup>3</sup>	1,6	1,25	0,75	0,4	0,4	0,2
Зважені речовини, мг/дм <sup>3</sup>	2400	2800	1600	1200	400	400
Прокалений осад, мг/дм <sup>3</sup>	1200	1200	800	400	0	0
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	1975,2	2633,6	987,6	1810,6	658,4	465,2
ХСК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	9145	9654	7352	8451	1080	1254

## РОЗДІЛ 5

### ТЕХНОЛОГІЯ БІОЛОГІЧНОЇ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД ДРІЖДЖОВОГО ВИРОБНИЦТВА

#### 5.1. Основні аспекти процесу біологічної очистки стічних вод дріжджового виробництва

На українських підприємствах для зниження рівня забруднень концентровані стічні води змішують із умовно чистими або низькоконцентрованими водами, після чого вони потрапляють у загальний колектор. Очищення здійснюється за допомогою хімічних, фізико-хімічних або біологічних методів, зокрема аеробної ферментації розбавлених стоків.

У процесі ферментації відбувається барботування забруднених вод повітрям в аеротенках і окислювальних каналах, що спричиняє значне збільшення обсягів стоків, витрат енергії та утворення великої кількості активного мулу, який потребує подальшої утилізації.

В Україні вивчається також метанова ферментація як метод очищення дріжджової бражки, яка демонструє високий ступінь ефективності. Максимальне вилучення забруднень досягає 77,8%, а мінімальне — 64,7%, залежно від швидкості проходження процесу. Склад забруднень у стоках дріжджового виробництва варіюється залежно від стадії технологічного процесу, причому найбільш концентровані утворюються на етапі відокремлення дріжджових клітин. [28]

Хімічне споживання кисню (ХСК) таких стоків може коливатися від 350 до 13 000 мг  $O_2$ /л. Після метаногенезу цей показник зменшується до 950–1500 мг  $O_2$ /л, що дозволяє застосовувати аеробні методи доочищення із значно меншими витратами. Метанова ферментація стоків хлібопекарського виробництва виявляється не лише високоефективним методом очищення, але й енергетично самодостатнім. Вона також може використовуватися для отримання вітамінних препаратів. У сфері

культивування кормових дріжджів на базі стічних вод застосовуються аеротенки з відстоюванням і фільтрацією активного мулу на шнекових пресах. Мул потім проходить метанову ферментацію з виробництвом біогазу, а очищені стоки використовуються як технічна вода.

Стоки з біохімічним споживанням кисню (БСК) на рівні 2100 мг/л очищуються на 85%. Для менш концентрованих вод із БСК 150–200 мг/л застосовуються обертальні біологічні контактори з іммобілізованою мікрофлорою, які також забезпечують 85% очищення. Для зниження ХСК з 8000 мг О<sub>2</sub>/л використовується вирощування культури дріжджів *Pichia jadinii*, *Pichia guelliermondii* та *Trichosporon cutaneum* на післядріжджовій бражці. У співвідношенні 1:1 досягається отримання концентрованої біомаси (10 г/дм<sup>3</sup>) із вмістом білка до 53%. Ефективними щодо післядріжджової бражки є також чисті культури *Pichia jadinii* та *Trichosporon cutaneum*. [29]

У сфері локального очищення стічних вод дріжджових заводів пропонуються сучасні та економічно вигідні способи комбінованої анаеробно-аеробної біотехнології. Процес включає використання анаеробного біореактора з гранульованим мулом та аеробних біотенків із іммобілізованими мікроорганізмами на волокнистих носіях.

Формування біоценозу системи очищення здійснюється під час анаеробно-аеробного бродіння, а стан іммобілізованої біоплівки контролюють за допомогою мікроскопії та вагового методу, оцінюючи кількість фіксованих мікроорганізмів у грамах на одиницю носія.

У табл. 5.1. представлені дані по санітарно-хімічним показникам очищення стічних вод дріжджового виробництва.

**Таблиця 5.1. Санітарно-хімічні показники очищення стічних вод  
дріжджового виробництва**

Показники забруднення	Стічні води		
	Забруднені	очищені способами	
		Анаеробним	Аеробним
РН	6,3	7,6	8,5
ХСК, мг/дм <sup>3</sup>	13000-14500	3200-3800	1300
БСК <sub>повн</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	13600-15200	2720-3040	480
Сухий залишок, мг/дм <sup>3</sup>	16500-18200	8600-9200	4000-4900
Прожарений залишок, мг/дм <sup>3</sup>	5100-5700	3600-4200	3600-3200
Загальний азот	800-1500	500-900	60-80
Фосфор, мг/дм <sup>3</sup>	80-106	70-96	30-40

Періоди розвитку біоценозу:

1. Початковий етап зародження біоплівки – характерний масовим розвитком індикаторних мікроорганізмів, зокрема *Amoeba limax*, *Colpoda steini*, *Euplotes charon*. Вони свідчать про початок утворення біоплівки на волокнистому носії. Ефективність очищення в цей період не перевищує 50%, а тривалість етапу складає 3–5 діб.

2. Перехідний етап формування адаптивного біоценозу – на цьому етапі починається формування біоценозу, адаптованого до специфічних умов очищення стічних вод дріжджового заводу. Його представниками є мікроорганізми та мікроскопічні найпростіші, як-от *Stylonychia pustulata*, *Vorticella albo*, *Vorticella microstoma*, *Callidina sp*, *Opercularia*, а також коловертки та водні кліщі. Ефективність очищення у цьому періоді постійно зростає, а тривалість становить 6–8 діб.

3. Основний етап сформованої біоплівки – для цього періоду

характерне стабільне існування біоплівки. Під час її мікроскопічного аналізу спостерігаються окремі мікроорганізми *Stylohypha pustulata*, а також приблизно рівна кількість представників *Vorticella albo*, *Vorticella microstoma*, *Callidina sp*, *Opercularia*, коловертки і водних кліщів.[14]

**Таблиця 5.2. Параметри анаеробно-аеробного очищення стічних вод дріжджового виробництва**

Показники очищення	Стадії очищення	
	анаеробна	аеробна
Тривалість, год	18	18
Ефективність очищення за ХСК, %: за стадіями	75-77	60
Ефективність очищення за ХСК, %: загалом	89-90	-
Питоме навантаження за ХСК, кг/м <sup>3</sup> добу	14	2,5-3,0
Доза активног мулу, г/дм <sup>3</sup> АСБ	60-70	4,5-4,7
Питома витрата повітря, м <sup>3</sup> /кг	-	30
Вихід біогазу, м <sup>3</sup> /кг знятого ХПК	0,7	-

Дані про рівень забруднення та очищення стічних вод заводу хлібопекарських дріжджів, а також параметри їх обробки, свідчать про ефективність застосування комбінованої схеми аерації.

## **5.2. Біотехнологія очистки стічних вод дріжджових підприємств**

Згідно з даними, наведеними в літературі, стічні води дріжджових виробництв характеризуються високим вмістом органічних забруднень, водночас вони, як правило, не містять токсичних домішок. Склад органічних забруднень цих вод включає компоненти використаної сировини як рослинного, так і тваринного походження.[30]

Завдяки органічній структурі цих компонентів їх окиснення є

можливим. Основним показником біоокислюваності органічних домішок стічних вод є визначення значення біохімічного споживання кисню (БСК). Якщо показник БСК можна визначити експериментально, тобто споживання кисню відбувається, то ці домішки можна вважати біологічно окислюваними.

Ступінь біоокислюваності оцінюється за співвідношенням  $\text{БСК}_{\text{повн}}/\text{ХСК}$ , яке показує відношення кількості органічних речовин, що були окислені біологічними методами, до загальної маси органічних забруднень у стічній воді. Якщо співвідношення  $\text{БСК}_{\text{повн}}/\text{ХСК}$  перевищує 0,5, для утилізації органічних забруднень доцільно застосовувати аеробні біологічні методи очищення.

Щодо стічних вод дріжджових виробництв, значення цього співвідношення становить 0,63. Це свідчить про ефективність біологічних методів для очищення вод таких підприємств. Успішність процесу біологічної очистки стічних вод дріжджової промисловості залежить від двох ключових умов.

Перша умова передбачає врахування режиму надходження стічних вод, вмісту біогенних елементів, жирів і завислих речовин, а також параметрів рН.

Друга умова акцентує увагу на необхідності застосування двоступінчастих систем біологічної очистки, що враховують високі концентрації забруднень і різні швидкості окиснення окремих компонентів.

Водовідведення на підприємствах дріжджової промисловості характеризується значною нерівномірністю через специфіку перероблюваної сировини. У таких умовах виникає потреба у створенні резервуарів для усереднення стічних вод, об'єм яких повинен бути співставним з обсягами аеротенків. Це обґрунтовує ефективність використання аеротенків-змішувачів для очищення стічних вод підприємств харчової промисловості, де вони виконують роль резервуарів для усереднення потоку забруднень.

Визначення рівня рН у дріжджовій промисловості залежить від типу оброблюваної сировини, а також від застосування лужних засобів для очищення обладнання. У деяких випадках показник рН може суттєво коливатися, виходячи за межі рекомендованих значень для біологічної очистки (рН 6,5-8,5). Це обумовлює необхідність попередньої корекції через хімічну нейтралізацію. У більшості випадків також потрібно регулювати вміст біогенних елементів у стічних водах, оскільки їх концентрація часто недостатня для ефективного функціонування біологічної очистки в аеротенках.

Ефективність освітлення стічних вод у первинних відстійниках становить приблизно 50%. Якщо додатково застосовується активна аерація та біокоагуляція, цей показник може зрости до 75%. Для забезпечення подачі стічних вод в аеротенки із концентрацією завислих речовин не більше 150 мг/л, очищені стічні води повинні мати концентрацію завислих речовин у межах 300-600 мг/л.

Проте реальні рівні завислих речовин на підприємствах дріжджової промисловості часто перевищують ці допустимі межі, що зумовлює необхідність використання напірної флотації для попереднього очищення. Цей метод дозволяє зменшити кількість грубодисперсних, емульгованих і частково колоїдних домішок, а також покращити співвідношення БСКповн/ХСК у стічних водах, що позитивно впливає на наступну біологічну очистку. [31]

У випадках, коли очищені стічні води потрібно скидати в природні водойми, їх додаткова очистка може включати фільтрування через пінополістирольне завантаження. Таке завантаження характеризується високою брудоемністю і легкістю промивання.

На другому етапі біологічної очистки також можуть застосовуватися мембранні біореактори, які здатні забезпечити високу якість очищених вод, достатню для скидання у природні водойми. Для очищення стічних вод підприємств дріжджової промисловості рекомендується застосування

комплексної біотехнології.

Вона включає вилучення великих частинок на решітках, піску в піскоуловлювачах, корекцію рівня рН та вмісту біогенних елементів, флотаційне видалення основної маси завислих речовин (а за наявності – жирів), двоступінчасту біологічну очистку і доочистку .

У процесі очищення стічних вод із плаваючим завантаженням при скиданні до міської каналізації здійснюється лише попередня, неповна біологічна обробка. Рекомендована біотехнологія очищення стічних вод успішно застосовується на більше ніж двадцяти очисних спорудах підприємств харчової та дріжджової промисловості.

Основною особливістю стічних вод дріжджових підприємств є їхній високий вміст органічних домішок, завислих речовин (зокрема жирів), а також можливі особливості складу, такі як біогенні елементи та значення рН. Ці стоки, як правило, не містять токсичних домішок, однак їхній відведення характеризується значною нерівномірністю. Аналіз показника біоокислюваності органічних домішок, за співвідношенням БСК<sub>повн</sub>/ХСК, свідчить, що більшість сучасних дріжджових підприємств краще очищувати біологічними методами із використанням стадій аеробного та анаеробного зброджування залежно від параметрів стічних вод. [32]

Рекомендована схема утилізації та очищення стічних вод дріжджового виробництва представлена на рисунку 5.3. Вона передбачає попереднє очищення з розділення концентрованих стоків на окремі потоки. Дріжджова бражка, інфіковані стоки та промивні води першого ступеня з показниками ХСК 10000–60000 мгО<sub>2</sub>/л об'єднуються в один потік, розбавляються побутовими стічними водами і спрямовуються на метанове бродіння для отримання біогазу.

Біогаз, отриманий у цьому процесі, постачається до котельні, а залишкові стоки відправляються на очисні споруди для подальшого біохімічного очищення.

Другий потік містить стоки другого ступеня сепарації дріжджів. Ці

води подаються на електродіалізну установку для знезараження, після чого надходять на біохімічне доочищення згідно зі схемою.

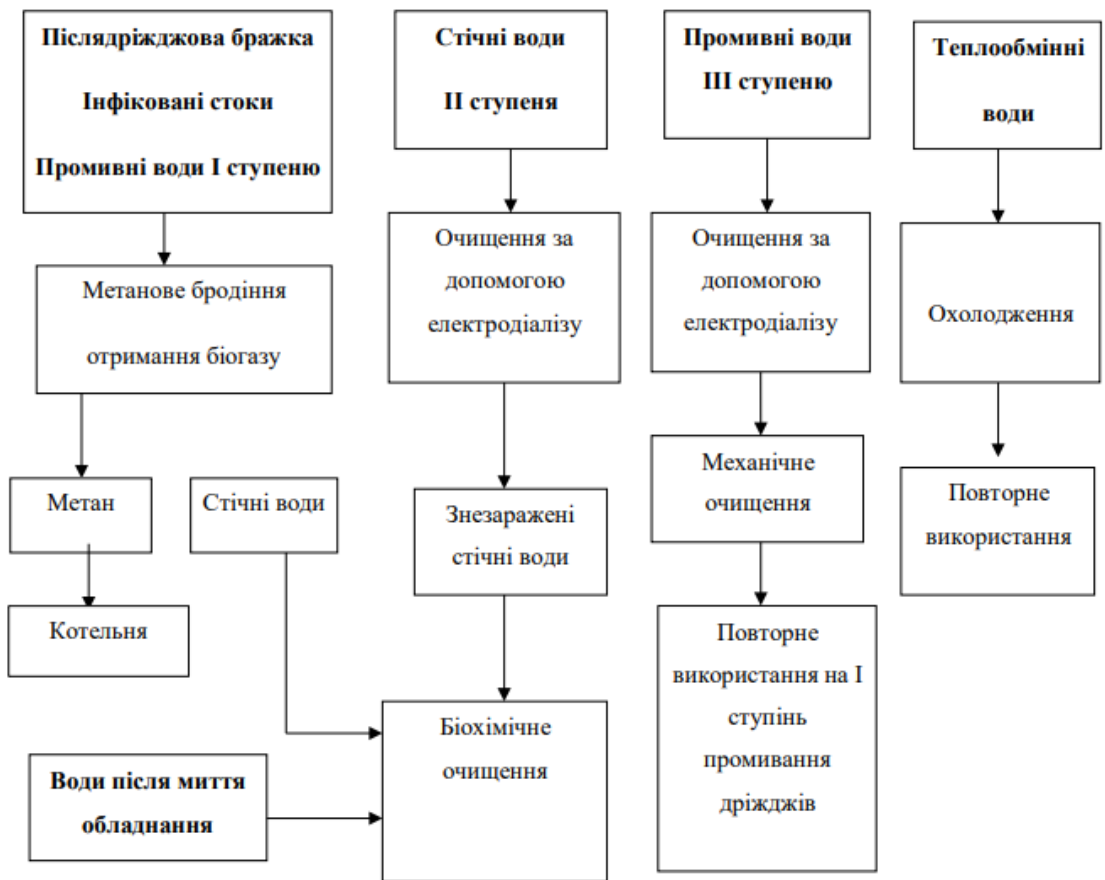


Рис. 5.3. Рекомендована принципова технологічна схема очищення та повторного використання стічних вод дріжджового виробництва.

Промивні стічні води після третьої сепарації направляються третім потоком на очищення методом електродіалізу. Як показали дослідження фізико-хімічних характеристик стічних вод і їх порівняння з вимогами до артезіанської води, що використовується для промивання дріжджів, очищену воду рекомендується повторно використовувати на першому етапі промивання.

Теплообмінні води, які надходять останнім потоком, спрямовуються на охолодження та подальше повторне використання. Таким чином, для

ефективного очищення висококонцентрованих стоків дріжджових заводів доцільно застосовувати біореактори. Для цього буде розраховано біореактор об'ємом 10 м<sup>3</sup> концентрованого газу. [33]

Зважаючи на специфіку процесу бродіння та його технологічні особливості, реактор загалом має відповідати наступним вимогам :

- абсолютна герметичність стінок, що перешкоджає газообміну;
- непроникність для рідин;
- корозійна стійкість;
- збереження міцності у статичному стані при впливі власної сили тяжіння і маси завантаженого субстрата;
- досконала теплоізоляція;
- надійність завантаження і розвантаження;
- доступність внутрішнього простору для обслуговування.

### **5.3. Опис схеми біогазового реактора**

Мікробіологічний реактор — це резервуар, що має верхню циліндричну частину та нижню конічну (див. рисунок 5.4). Робочий об'єм установки становить 10 м<sup>3</sup>. Біомаса, у даному випадку стічні води, завантажується через патрубок 3 у реактор. У нижній частині метантенка здійснюється підігрів біомаси за допомогою спеціального спірального теплообмінника 10, у якому циркулює гаряча вода.

Для забезпечення рівномірного розподілу біомаси використовується шнековий перемішувач (елементи 2 і 4), верхня спіраль якого розташована вище рівня субстрату. Шнек приводиться в дію електродвигуном 13, який активується один раз на годину на 5 хвилин, з частотою обертання 2–5 об/хв. У процесі перемішування досягається однорідність біомаси та руйнування утвореної скоринки на поверхні. Відпрацьований субстрат зливається через

зливний патрубок 7.

На випадок блокування основного патрубка передбачено резервний патрубок 8 для безперебійної роботи. Крім того, у центрі дна реактора розташований патрубок для повного зливу субстрату. Контроль температури біомаси в реакторі та режимів роботи електродвигуна здійснюється блоком автоматичного керування 15, який отримує дані від температурного датчика 14.

Біогаз накопичується у верхній частині метантенка над біомасою в газовій камері 5 і відводиться через патрубок 6 у газгольдер. Для запобігання перевищенню допустимого тиску на кришці реактора встановлюється запобіжний клапан 16. Також у кришці метантенка передбачено технологічні люки 12 для обслуговування.[34]

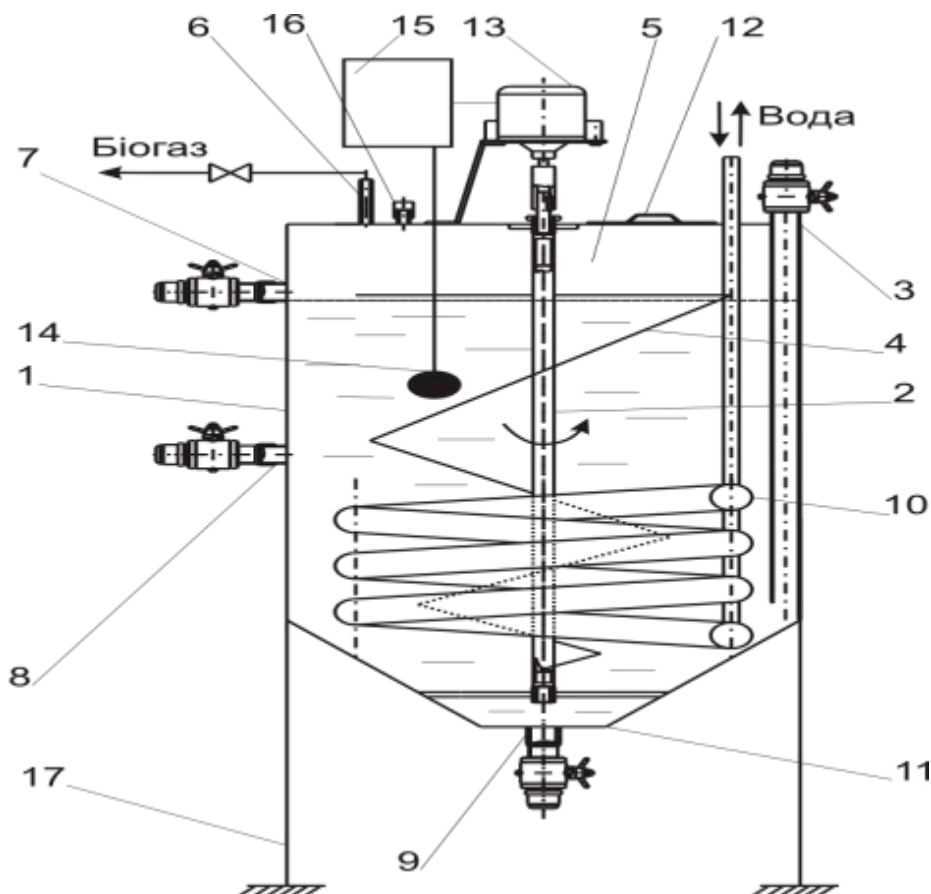


Рис. 5.4. Принципова схема мікробіологічного реактора: 1 – корпус реактора, ззовні теплоізолюваний; 2 – змішувач; 3 – патрубок завантажувальний; 4 – шнек; 5 – газова камера; 6 – патрубок відбору;

7 – зливний патрубок; 8 – резервний патрубок; 9 – патрубок повного зливу; 10 – теплообмінник; 11 – з’ємне дно реактора; 12 – кришка реактора; 13 – електродвигун; 14 – датчик температури; 15 – блок автоматичний блок керування; 16 – запобіжний клапан; 17 – опора реактора.

Ефективність роботи біогазової установки оцінюється за ступенем розпаду сухої органічної речовини, оскільки саме цей показник впливає на вміст метану в збродженому гної, а отже, і на його якості як добрива. Для обчислення цього параметра рекомендовано використовувати спеціальну формулу:

$$L = \frac{100^4 \cdot c_b \cdot V_C}{c_H \cdot d(100 - W)(100 - A_C)} \quad (5.1)$$

де  $d$  - доза добового завантаження метантенка, %; В нашому випадку приймемо дозу завантаження реактора 325 кг добу, ця доза рівна виході гною з 10

корів. отже склавши пропорцію доза добового завантаження реактора  $d = 3,3\%$ .  $c_H$  - густина біогазу,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $c_H = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

$V_C$  - питомий вихід біогазу,  $\text{м}^3/\text{добу}$  приймемо  $V_C = 80 \text{ м}^3/\text{добу}$ .  $c_b$

- густина біомаси,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ,  $c_b = 980 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

$W$  - вологість біомаси, %,  $W = 91\%$ , напіврідкий гній.

$A_C$  - зольність біомаси, %,  $A_C = 2\%$ .

$$L = \frac{100^4 \cdot 980 \cdot 50}{1,2 \cdot 3,3(100 - 91)(100 - 2)} = 1,72 \quad (5.2)$$

Для анаеробних систем зброджування біомаси зазвичай використовується показник дози добового завантаження, який перебуває в

прямій залежності від питомого навантаження на одиницю об'єму реактора. Цей параметр є ключовим для визначення ефективності роботи біогазової установки, впливаючи на кількість біогазу, що утворюється з одиниці об'єму зброджуваної біомаси, ступінь розкладу органічних речовин у вихідній сировині, а також рівень знезараження. В свою чергу, це позначається на обсязі товарного біогазу, що виробляється, й дебіті метантенка. Тому деякі дослідники наводять рекомендації щодо оптимальних величин цього показника, які варіюються у широких межах — від 1 до 20% об'єму метантенка або 1–10 кг сухої речовини на 1 м<sup>3</sup> біомаси на добу.

Основним завданням біогазових установок є виробництво біологічного газу, що може бути використано для отримання додаткової енергії. Незважаючи на загальну думку фахівців про перспективність метаногенезу як прогресивного способу утилізації відходів тваринництва, деякі критики висловлюють занепокоєння щодо від'ємного енергетичного балансу таких систем. [35]

У таких випадках ефективність біогазової установки може оцінюватися через кількість виробленого товарного біогазу або через коефіцієнт витрат енергії на власні потреби установки. У зв'язку з цим проведено численні дослідження, спрямовані на вивчення теплофізичних властивостей біомаси, методів її нагрівання перед зброджуванням, визначення тепловтрат у процесі технології, а також розрахунок енергетичного балансу біогазових установок. Загальне рівняння теплового балансу для біогазової установки має таку форму:

$$Q_{\text{заг}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \text{ кКал} \quad (5.3)$$

де  $Q_{\text{заг}}$  - загальна добова кількість тепла, необхідне для здійснення процесу, кКал,

$Q_1$  - кількість тепла, необхідне для попереднього нагріву добової дози очаткового біомаси до температури вибраного режиму, кКал,

$Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6$  - відповідно втрати тепла в добу: у трубопроводі, сполучаючим установку для нагріву з проміжною місткістю; у проміжній місткості; у трубопроводі, що сполучає проміжну ємність з камерою для зброджування; через стінки камери зброджування; з біогазом, що виділяється, кКал. Складові цього рівняння визначаються експериментально для кожної конкретної установки.

#### **5.4. Умови експлуатації біогазової установки**

Для біогазової установки оптимальна вологість завантажуваної маси повинна становити 88-95%. Тривалість процесу зброджування становить від 20 до 22 днів, а щоденне завантаження камер здійснюється сирим гноєм у кількості, що дорівнює 5% від їхнього загального об'єму. [36]

На початковому етапі запуску установки в роботу заповнюють тільки одну бродильну камеру. Для прискорення зброджування рекомендується завантажувати масу невеликими порціями. Щоб запобігти забиванню трубопроводу, через який маса виводиться з камери зброджування, необхідно не менше одного разу на рік очищати дно камер від осаду за допомогою спеціального обладнання.

## РОЗДІЛ 6

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### **6.1. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час експлуатації біогазових установок**

Біогазові установки відіграють важливу роль у промисловості, сприяючи виробництву енергії з відновлюваних джерел та впровадженню екологічно чистих технологій переробки біомаси. Їх використання дозволяє генерувати метан, мінімізувати викиди парникових газів та максимально ефективно використовувати сировину.

У Європі загальна кількість таких установок перевищує 12 тисяч, причому понад 9 тисяч зосереджено в Німеччині.

В Україні наразі експлуатуються або знаходяться на стадії будівництва більше 15 біогазових установок. Метан, який становить значну частку біогазу (50-75%), має вибухонебезпечні характеристики. Його концентрація в повітрі в межах від 4,4% до 16,5% може спричинити утворення небезпечних сумішей, що підвищує ризик аварій.

Протягом багаторічної експлуатації біогазових установок у Європі фіксувалися наступні інциденти: витоки із резервуарів для відходів, витоки біогазу з систем зберігання та розподілу, аварійні викиди сірководню, забруднення водних ресурсів через скидання стічних вод.

Також серед проблем зустрічались переповнення обладнання через сильні опади, присутність небезпечних речовин у сировині та несправності систем пожежогасіння. Основні аспекти безпеки експлуатації біогазових установок регламентуються стандартом ГОСТ Р 53790-2010. [37]

Аналіз аварій дає можливість виділити три основні групи ризиків: інциденти при зберіганні біогазу, транспортуванні газу та його отриманні в процесі анаеробного зброджування.

Серед типових аварій виділяються: скидання фільтрату або субстрату,

забруднення навколишнього середовища продуктами переробки, переповнення або зупинка реакторів, накопичення піни, витоки метану з подальшим займанням чи без нього.

Додатково трапляються пожежі, отруєння газами, випадки ураження електрострумом, травми через механізми, падіння з висоти, опіки та зараження патогенними мікроорганізмами. Серед потенційно небезпечних зон споруд виділяються ревізійні отвори в реакторах для мішалок та оглядові вікна. Робота на установках пов'язана з впливом хімічно, фізично, біологічно та психофізіологічно небезпечних чинників.

До хімічно небезпечних факторів належать:

- Метан (газ 4-го класу безпеки), концентрація якого в повітрі робочої зони не повинна перевищувати 300 мг/м<sup>3</sup>. Головним ризиком є нестача кисню при підвищеному рівні метану в атмосфері.

- Сірководень (газ 4-го класу безпеки), допустима концентрація якого становить 10 мг/м<sup>3</sup>. При потраплянні до організму він окислюється і утворює неорганічні сполуки, шкідливі для здоров'я.

- Аміак (газ 4-го класу безпеки), який має високу токсичну дію на організм людини. До фізично небезпечних факторів включають:

- Підвищена напруга в електричних мережах, яка може стати причиною ураження електрострумом при контакті через тіло людини.

Це може спричинити локальні травми (електроопіки, електричні знаки) або порушення функціонування життєво важливих органів і систем, таких як серце чи дихальна система, пересування машин і рухомі механізми обладнання становлять серйозну небезпеку, яка може призвести до травмування, поранень або інших негативних наслідків. Зокрема, потенційні ризики пов'язані з наступними факторами:

- Рухомі та обертальні частини машин і механізмів, які можуть спричинити травми або загибель людини.

- Підвищений рівень шуму й вібрації, що при тривалій дії може призводити до професійної туговухості, а також негативно впливати

на центральну нервову систему (ЦНС), серцево-судинну систему, органи рівноваги та інші органи.

- Недостатнє освітлення робочої зони, що може призводити до втрати зору й фізичного стомлення.
- Небезпечний рівень напруги електричної мережі (380 В), замикання через тіло людини, що може спричинити смерть.
- Підвищена температура поверхонь обладнання, яка може викликати термічні опіки.
- Наявність систем та апаратів, що працюють під тиском, із ризиком травмування або пожеж у випадку аварії.
- Промисловий і внутрішньозаводський транспорт, який становить ризик механічних травм або загибелі.
- Підвищена температура повітря в робочій зоні, що може викликати порушення терморегуляції людського організму.

До біологічно небезпечних факторів належать патогенні мікроорганізми, що присутні у субстратах після дріжджової барди. До психофізіологічних факторів можна віднести роботи на висоті та в закритих апаратах.

На основі статистичних даних визначено можливі зони ризику біогазового комплексу (БГУ):

- Ревізійний отвір у реакторі для мішалки.
- Незворушне оглядове вікно.
- Запобіжник гранично високого тиску.
- Виведення та подача повітря до газгольдера.

Крім того, на окремих БГУ виявлено недосконалі системи пневматичних засувок на станціях барботажу з конденсатозливом, де ущільнювачі можуть втратити ефективність. Це створює ризики потрапляння біогазу до приміщення станції при відсутності конденсату в трубі накопичувача.

Аналіз ризиків біогазових комплексів на основі досвіду експлуатації

біогазових установок встановлено низку небезпечних факторів і потенційних надзвичайних ситуацій:

1. Переповнення біореактора (ферментера) піною або вихідним матеріалом.
2. Аварійний скидання фільтрату, що веде до забруднення навколишнього середовища вихідною сировиною.
3. Зупинка біореакторів через технічні несправності.
4. Випуск метану без займання або його займання у біореакторі.
5. Накопичення метану і займання в будівлі комплексу.
6. Пожежа поблизу установки або на території комплексу.
7. Викид сірководню, задуха або отруєння газами (сірководень, аміак, метан).
8. Травмування рухомими частинами механізмів, падіння з висоти, електричні удари та опіки.
9. Інфікування патогенними мікроорганізмами.

Окремо варто врахувати ризики експлуатації ферментера у випадку порушення технологічного процесу або механічного ушкодження можливі, перше розгерметизація мембрани газгольдера й утворення газоповітряної суміші, яка при виникненні джерела запалювання (наприклад, короткого замикання під час роботи змішувача) може спричинити вибух.

Механічне пошкодження верхнього захисного шару ферментатора та мембрани призводить до витоку газу з резервуара, що в присутності джерела займання може спричинити спалах і тривале горіння.

## **6.2. Технічні та організаційні заходи для зменшення рівню впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів при використанні біогазових установок.**

Для запобігання та мінімізації ризику пожежі, усі складові біогазової установки мають бути розділені на окремі зони протипожежного захисту. Відстані між цими зонами визначаються залежно від обсягу резервуара та матеріалів, з яких виготовлені стіни конструкцій. [38]

Пожежна безпека передбачає розташування наземних газгольдерів на відстані від 3 до 20 метрів від інших елементів установки. Потенційні джерела займання включають механічні та електричні іскри, відкрите полум'я, гарячі поверхні та статичну електрику. Випробування й запуск біогазової установки мають відповідати вимогам ДСТУ 7588:2014, а також нормам охорони праці, адже для роботи на установці залучено спеціальний персонал.

Важливим є створення документації щодо вибухонебезпечних зон, яка повинна містити: - місця можливого утворення вибухонебезпечних газових сумішей, а також оцінку рівня їх ризику; - заходи для зменшення небезпеки; - схематичне зображення цих зон. Захисні дистанції базуються на забезпеченні безпеки під час потенційного вибуху.

Зона 0 характеризується постійною небезпекою вибуху за умов стандартної роботи (хоча за нормальних обставин такі ситуації для біогазових установок не є типовими).

Зона 1 – це територія, де періодично утворюється вибухонебезпечне середовище, наприклад, поблизу газових факелів.

Зона 2 охоплює місця, де утворення вибухонебезпечного середовища можливе лише в разі певних нестандартних умов. Загальні вимоги до виробничого обладнання регламентуються ГОСТ 12.2.003-91, який встановлює принципи безпеки щодо конструкції, систем управління й засобів захисту для техніки різного типу та призначення. Додатково, за ГОСТ 12.1.030-81, передбачено застосування заземлення як способу захисту

від ураження електричним струмом.

Експлуатаційна безпека також забезпечується використанням ізолювальних пристроїв, огорож струмоведучих частин, а також обладнанням із малою напругою. Працівники електроустановок повинні застосовувати засоби індивідуального захисту, як-от спеціальне взуття і рукавички.

Установка захисного заземлення є обов'язковою. У випадках робіт, пов'язаних із зняттям напруги, перевірка її відсутності і подальше заземлення струмопровідних частин мають виконуватися негайно. Струмовідні частини, які перебувають під напругою, мають бути видимо ізольовані — шляхом використання вимкнених вимикачів, роз'єднувачів чи інших захисних механізмів.

Також додаткове заземлення може знадобитися в місцях, де виникає потенціал для завершення струму або в разі подачі напруги понад допустимий рівень (42 В змінного чи 110 В постійного струму). Під час роботи на біогазовій установці потрібно дотримуватися правил гігієни праці й виробничої санітарії та контролювати параметри мікроклімату, освітлення, шумів і вібрацій на робочих місцях.

Джерелами шуму й вібрацій можуть бути двигуни, вентилятори та насоси. Захист від шуму реалізується через застосування шумоізоляційних технологій, засобів індивідуального захисту і акустичних методів зниження шуму. Технічні рішення щодо мінімізації шуму та вібрацій регламентуються відповідно до ГОСТ 12.1.026-80 і включають:

Для забезпечення надійності та ефективності роботи обладнання необхідно приділяти особливу увагу наступним аспектам:

- Розробка проектів масивних фундаментів під віброактивне обладнання, таких як дробарки, з урахуванням впливу динамічних навантажень.

- Використання гнучких віброзатримуючих вставок для вихлопних систем нагнітачів.

- Застосування вібропоглинаючих гумових покриттів.
- Звукоізоляція машин із високим рівнем шуму за допомогою спеціальних кожухів.

Для створення оптимальних і безпечних умов праці потрібно забезпечити:

- Моніторинг атмосферного повітря в межах санітарно-захисної зони та передання отриманих даних до Департаменту агропромислового розвитку, екології та природних ресурсів.

- Аналіз стану ґрунтів у межах санітарно-захисної території.

- Впровадження системи моніторингу складу підземних вод уздовж периметра майданчика з урахуванням їхнього потоку.

- Замір рівня шуму на території санітарно-захисної зони. Виявлено потенційні ризикові зони, які ґрунтуються на статистичних даних.

До них входять: оглядове вікно обладнання; ревізійний отвір у реакторі для доступу до мішалки; запобіжник надмірного тиску; система виходу повітря безпосередньо з газгольдера пряма подача повітря до газгольдера.

Додатково, на деяких БГУ залишаються недоопрацьованими системи пневматичних заслінок на барботажній станції, які оснащені системами зливу конденсату. Наразі ця система перебуває у неробочому стані та закрита клапаном типу батерфляй.

Основні заходи, спрямовані на мінімізацію ризику аварій на біогазових установках, передбачають запобігання виникненню джерел загоряння, усунення неконтрольованих витоків метану та уникнення створення вибухонебезпечного середовища у всіх функціональних компонентах комплексу. Д

ля оцінки критеріїв, пов'язаних із вибухопожежною та пожежною небезпекою біогазових установок, використовується нормативна документація, зокрема ДСТУ Б В.1.1-36:2016.

При цьому застосовуються методи розрахунку, призначені для аналізу

пожежонебезпеки горючих газів. Під час проведення розрахунків для визначення показників вибухопожежної небезпеки метантенка як основний варіант аналізу обирається найбільш несприятливий сценарій аварії.[39] Граничні горизонтальні розміри зони ( $R_{НКМП}$ ), яка позначає область із концентраціями, що перевищують нижню межу поширення полум'я ( $C_{НКМП}$ ), визначаються відповідно до спеціальної формули для розрахунку:

$$R_{НКМП} = 14,5632 \cdot \left( \frac{m_g}{\rho_g \cdot C_{НКМП}} \right)^{0,333} \quad (6.1)$$

де  $m_g$ —маса горючого газу (метану), що потрапив до навколишнього простору під час розрахункової аварії, кг;

$\rho_g$ —густина горючого газу (метану) за розрахункової температури й атмосферного тиску, кг/м<sup>3</sup>;

$C_{НКМП}$ —нижня концентраційна межа поширення полум'я по газоповітряній суміші, % (об.). Для метану  $C_{НКМП} = 5,28$  % (об.)

Як розрахункову температуру  $t_p$  приймаємо максимально можливу температуру повітря в даному районі 50°C.

Масу горючого газу ( $m_g$ ) у кілограмах, що потрапив до навколишнього простору під час розрахункової аварії, визначаємо за формулою:

$$m_g = V_a \cdot \rho_g \quad (6.2)$$

де  $V_a$ —об'єм горючого газу (метану), що вийшов з апарата, м<sup>3</sup>;

$\rho_g$ — густина горючого газу за розрахункової температури  $t_p$ , кг /м<sup>3</sup>.  $\rho_g$ . визначаємо за формулою

$$\rho_z = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)} \quad (6.3)$$

де  $M$  – молярна маса, кг/кмоль;

$V_0$  – мольний об'єм, що дорівнює 22,413 м<sup>3</sup>/кмоль;  $t_p$  – розрахункова температура, °С;

### 6.3. Розрахунок надлишкового тиску під час згоряння сумішей горючих газів з повітрям у навколишньому просторі.

Величину розрахункового надлишкового тиску  $\Delta P$  у кілопаскалях, що розвивається уразі займання газоповітряних сумішей, визначаємо за формулою:

$$\Delta P = P_0 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot m_{np}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{np}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{np}^{0,66}}{r^3} \right) \quad (6.4)$$

де  $P_0$  – атмосферний тиск, кПа (допускається приймати таким, що дорівнює 101,3 кПа);

$m_{np}$  – приведена маса горючого газу;

$r$  – відстань від геометричного центра зовнішньої установки до межі розрахункової зони (до розташованого поруч ферментера), м;

Приведену масу горючого газу обчислюємо за формулою:

$$m_{np} = \left( \frac{Q_{zz}}{Q_0} \right) \cdot m \cdot Z \quad (6.5)$$

де  $Q_{зг}$  – питома теплота згоряння горючого газу (метану), Дж·/кг;  $Z$  – коефіцієнт участі горючого газу, для метану  $Z=0,5$ ;  $Q_0$

-константа, що дорівнює  $4,52 \cdot 10^6$  Дж/кг;

$m$  – маса горючого газу (метану), який потрапив до навколишнього простору в результаті розрахункової аварії, кг.

Значення показників пожежної небезпеки метану:

-температура самозаймання –  $537^\circ\text{C}$ ;

-нижня концентраційна межа поширення полум'я –  $5,28\%$  (об.);

-питома теплота згоряння метану –  $50 \cdot 10^6$  Дж/кг.

Результати розрахунку значень критеріїв за вибухопожежною та пожежною небезпекою для метану. [40]

Горизонтальні розміри зони ( $R_{нкмп}$ ), які обмежують область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я ( $S_{нкмп}$ ).

Визначаємо густину горючого газу за максимально можливої температурі в даному районі  $t_p=50^\circ\text{C}$ .

Густина горючого газу (метану) складає за формулою:

$$\rho_z = \frac{16}{22,4 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 50)} = 0,603 \text{ кг} / \text{м}^3 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

(6.6)

Визначаємо масу горючого газу ( $m_r$ ) у кілограмах, що потрапив до навколишнього простору під час розрахункової аварії, за формулою:

$$m_r = 3000 \cdot 0,603 = 180,9 \text{ кг}$$

(6.7)

Горизонтальні розміри зони ( $R_{НКМП}$ ), які обмежують область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я ( $S_{НКМП}$ ), обчислюємо за формулою:

$$R_{НКМП} = 14,5632 \cdot \left( \frac{180,9}{0,603 \cdot 5,28} \right)^{0,333} = 56,м \quad (6.8)$$

Приведену масу метана обчислюємо за формулою:

$$m_{np} = \left( \frac{50 \cdot 10^6}{4,52 \cdot 10^6} \right) \cdot 180,9 \cdot 0,5 = 1000,55кг \quad (6.9)$$

Величину розрахункового надлишкового тиску  $\Delta P$  визначаємо за формулою:

$$\Delta P = 101,3 \cdot \left( \frac{0,8 \cdot 1000,55^{0,33}}{25} + \frac{3 \cdot 1000,55^{0,66}}{25^2} + \frac{5 \cdot 1000,55^{0,66}}{25^3} \right) = 36,7кПа \quad (6.10)$$

За надлишкового тиску 36,7 кПа можуть виникати незначні травми у людини, такі як забиття, вивихи, тимчасова втрата слуху, а також загальна контузія. Поряд із цим можлива середня ступінь пошкодження ферментера, розташованого поблизу. Щоб уникнути утворення горючого середовища у ферментері, необхідно:

Забезпечення концентрації метану в суміші з повітрям поза межами, які дозволяють поширення полум'я.

Підтримка надлишкового тиску в газових комунікаціях для запобігання проникненню зовнішнього повітря через нещільності, зокрема за допомогою використання трубопроводів факельних систем.

Забезпечення пожежної та вибухової безпеки біогазових установок є ключовим напрямком у сфері захисту людей і навколишнього середовища,

враховуючи серйозні наслідки, які можуть спричинити ці явища. Для ефективного аналізу рівня пожежної небезпеки та реалізації профілактичних заходів у процесі виробництва біогазу слід обов'язково створювати пожежно-технічні карти.

В картах зазвичай представлено схема отримання біогазу включає визначення технологічного режиму, пожежонебезпечних ділянок та зон ризику. Особлива увага приділяється схемі розміщення приміщень, основного обладнання, устаткування та матеріалів. Виокремлюють найбільш небезпечні ділянки, які потенційно загрожують життю людей.

Аналізується пожежне навантаження, кількість працівників, а також категорія за вибухопожежною та пожежною небезпекою, і зони класу відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ). Окремо розглядаються характеристики пожежної небезпеки та заходи безпеки.

Увага приділяється властивостям речовин, які утворюються під час роботи установок (метан, аміак, сірководень тощо), умовам утворення горючого середовища, джерелам запалювання та можливості поширення пожежі. Для кожного виду небезпеки пропонується ефективний існуючий захист або той, який слід запровадити.

Метан є складовою біогазу в концентрації 50–75% і має високу здатність утворювати вибухонебезпечні суміші в повітрі. За наявності джерел запалювання із температурою 600°C або більше, суміш біогазу з повітрям у пропорції 5–15% може спричинити вибух. Особливо небезпечним є відкритий вогонь при концентрації біогазу у повітрі не менше 12%. Безпека при створенні та експлуатації біогазових установок регламентована ГОСТ Р 53790-2010.[18]

Розділ "Вимоги безпеки" цього стандарту містить положення щодо захисту персоналу від ураження електричним струмом, забезпечення пожежної безпеки, вимоги до комунікацій, особливості проведення робіт на установках, а також методи перевірки устаткування й перелік необхідних засобів захисту.

Ключові способи зниження ризику передбачають недопущення появи джерел займання, запобігання витоку метану та усунення загрози утворення вибухонебезпечного середовища. За рівнем ризику визначаються наступні зони: "0", "1", "2". Зона "0" охоплює ділянки біогазової установки, де ймовірно утворення вибухонебезпечної концентрації постійне: газгольдер, система подачі повітря до двигуна, камера згоряння та біореактор під особливих умов експлуатації.

Спеціальна небезпека біореактора виникає, коли повітря потрапляє всередину, проте нормальний позитивний тиск зазвичай перешкоджає цьому. Зона "1" є простором довкола частин установки, де можливе утворення вибухонебезпечної концентрації метану за умов хорошої вентиляції. Її радіус становить 1 метр від елементів установки (з'єднань, оглядового скла, прокладок). Також сюди належать простори навколо кінців вихлопних труб або газових факелів та місця зберігання сировини для біореактора з небезпечним радіусом до 4,5 метрів. [41]

Зона "2" охоплює місця, де утворення вибухонебезпечної концентрації малоімовірно і може статися лише короткочасно. Це зона на відстані 1–3 метри від певних частин установки (з'єднань, отвори для обслуговування), а також невентильовані закриті простори із трубами для передачі газу. Потенційними джерелами займання виступають електричні та механічні іскри, відкрите полум'я, гарячі поверхні й статична електрика.

На основі статистичних даних встановлені ризикові ділянки біогазових установок:

- Ревізійний отвір у реакторі для мішалки.
- Нерухоме оглядове вікно.
- Запобіжник для запобігання надлишковому тиску.
- Виведення повітря з газгольдера.
- Подача повітря до газгольдера.

Крім того, у деяких БГУ є недоопрацьована система пневматичних задвижок на барботажній станції, яка оснащена системою зливу конденсату.

Ця система перекрита клапаном типу "батерфляй".

Під час експлуатації ущільнювачі можуть втратити працездатність, і якщо конденсат відсутній у накопичувальній трубі, біогаз здатен проникати в приміщення станції.

## ВИСНОВКИ

Підприємства дріжджової промисловості характеризуються значними обсягами стічних вод та утворенням осадів, що призводить до підвищення концентрації органічних речовин у природних водоймах. На сучасному етапі розвитку хлібопекарської галузі обсяги відходів зростають разом із збільшенням виробничих потужностей, через що постає питання вдосконалення систем переробки та утилізації відходів.

Проведені дослідження дозволили сформулювати наступні висновки та рекомендації:

1. У процесі виробництва дріжджів утворюються стічні води середньо- та високої концентрації, забруднені органічними і неорганічними речовинами. Вплив цих відходів на довкілля є значним як через особливості складу, так і через їх обсяги: хімічна потреба стічних вод у кисні становить від 2000 до 14000 мг/л, а щоденний об'єм відходів може досягати 17 м<sup>3</sup>.

2. Аналіз існуючих методів очищення стічних вод дріжджових заводів показує недостатню ефективність стандартних біологічних технологій для забезпечення нормативної якості очищення. Важливим завданням залишається досягнення таких показників, при яких очищені води можуть бути безпечно скинуті до каналізаційної системи.

3. Подальший розвиток і вдосконалення дріжджових виробництв пов'язані із впровадженням комбінованих методів очищення стічних вод. Одним із перспективних рішень є метод, запропонований у дослідженні, який використовує вплив електричного поля та магнітних пристроїв.

4. Розроблено технологію очищення стічних вод для дріжджових заводів, яка орієнтована на забезпечення необхідного рівня очистки.

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дріжджі [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.enzym.lviv.ua/page/ua/yeasts/>.
2. Харчова промисловість у 2008 році (панорама). Новини Департаменту харчової промисловості. Міністерство аграрної промисловості України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http:// www.Miangro.gov.ua](http://www.Miangro.gov.ua).
3. Красінько В.О., Тетеріна С.М., Скокун Т.М. Хляхи інтенсифікації очищення стічних вод харчових виробництв від азотовмісних сполук та сапонінів.
4. Гончарук В.В. Технології очищення промислових стічних вод. — Київ: Наукова думка, 2019. — 284 с.
5. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод харчової промисловості «Водне и комунальне хазяйство України – шляхи рішення проблем». – Рівне : НУВХП, 2005. – С. 10-28.
6. Паламарчук М.І. Електрохімічні методи очищення води. — Київ: Техніка, 2018. — 192 с.
7. Сидоренко Т.В. Екологічний моніторинг водних об'єктів. — Харків: ХНАУ, 2021. — 160 с.
8. Мельник Л.А. Основи біогазових технологій. — Суми: Університетська книга, 2020. — 174 с.
9. Ковтуненко В.В. Екологічна безпека промислових підприємств. — Харків: ХНАДУ, 2020. — 180 с.
10. С. Нечиталюк, Н. Левітіна, О. Мірошников, А. Шевченко. Очищення концентрованих стічних вод. – Український державний університет харчової технології.
11. Очищення стічних вод дріжджових заводів / Ю. Каранов, М. Кошель, Б. Добриловський, С. Башмакова // Харчова і переробна промисловість.

– 2000. - №

12. Кучеренко О.В. Очищення стічних вод: сучасні технології. — Львів: ЛНТУ, 2021. — 204 с.
13. Очищення стічних вод дріжджових заводів / Ю. Каранов, М. Кошель, Б. Добриловський, С. Башмакова [Текст] // Харчова і переробна промисловість. – 2000.
14. Хільчевський В.К. Гідрохімія. — Київ: Видавництво КНУ, 2022. — 280 с.
15. Швед О.В., Миколай О.Б., Комаровська-Порохнявець О.З., Новіков В.П. Екологічна біотехнологія : Навч. посібник: у 2 кн. – Львів : "Львівська політехніка", 2010. –267 с.
16. Чуйко Л.С. Основи екологічної біотехнології : Конспект лекцій. – Львів, 1998. –178 с.
17. Perle M., Kimchie S., Shelef G. Dinamic modeling of the pH influence of the anaerobic degradation of dairy waste-water // Water Research. – 1995.
18. S.Judd, C.Judd. The MBR book: principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment. – 2006. – 325 p.
19. Біотехнологія в екології : навч. посібник / А.І. Горова, С.М. Лисицький, А.В. Павличенко, Т.В. Скворцова. – Д. : Національний гірничий університет, 2012. – 184с.
20. Ткаченко Т.М., Жукова О.Г. Технології захисту довкілля. — Київ: КНУБА, 2023. — 228 с.
21. Ковтуненко В.В. Екологічна безпека промислових підприємств. — Харків: ХНАДУ, 2020. — 180 с.
22. Дьяков В.М. Основи біотехнології. — Київ: Вища школа, 2019. — 320 с
23. Біотехнологія в екології : навч. посібник / А.І. Горова, С.М. Лисицька, А.В. Павличенко, Т.В. Скворцова. – Д. : Національний гірничий університет,2012.– 184 с.
24. Соколов В.М. Промислова екологія. — Київ: Видавництво КНЕУ, 2019. — 224 с.

25. Ковальчук С.П. Біотехнології в екології. — Львів: Видавництво ЛНУ, 2022. — 256 с.
26. В. Дубровін, М. Корчемний, І. Масло і ін. Біопалива (технології, машини і обладнання) К.: ЦТІ „Енергетика і електрифікація”, 2006. — 256 с.
27. Соловей В.М. Екологічна токсикологія. — Дніпро: ДНУ, 2020. — 210 с.
28. Шевченко І.В. Біоенергетика та біогазові установки. — Одеса: ОНАХТ, 2022. — 190 с.
29. Тищенко В.П. Біотехнології в харчовій промисловості. — Одеса: ОНАХТ, 2020. — 200 с.
30. Нікітін В.І. Біотехнологія: підручник. — Київ: Либідь, 2020. — 288 с.
31. Жукова О.Г., Сидоренко Т.В. Екологічна безпека харчових підприємств. — Харків: ХНАУ, 2021. — 198 с.
32. Романенко В.Д. Гідробіологічні основи охорони водних екосистем. — Київ: Академперіодика, 2021. — 240 с.
33. Черняк В.М. Екологічна експертиза. — Львів: ЛНУ, 2020. — 190 с.
34. Федоренко О.М. Екологічна безпека та сталий розвиток. — Київ: Либідь, 2021. — 230 с.
35. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з "Біотехнології" для студентів із спеціальності 7.130201 - зооінженерія / В.Г. Герасименко, М.О. Герасименко, О.М. Мельниченко, С.В. Мерзлов, В.М. Харчишин, Т.М. Писарук - Біла Церква, 2003. - 18 с. Д.А. Дж. Вейза.-Л.: Химия, 2010.-383 с
36. Юрченко В.І. Технології переробки органічних відходів. — Київ:
37. Мазур І.М. Основи охорони праці. — Київ: Центр навчальної літератури, 2022. — 256 с.
38. Шапар А.Г. Основи охорони праці. — Харків: Основа, 2021. — 240 с
39. Мірус О. Л. основи охорони праці і підрозділах МНС України: навч. посібник / О . Л. Мірус, В. А. Батлук, Б . О. Білінський, В.В. Ковалишин. — Львів: Афіша, 2011. — 510 с.

40. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою Київ, 2016.
41. Державні санітарні правила та норми, гігієнічні нормативи  
«Правила влаштування і безпеки роботи в лабораторіях»  
<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0001588-02#Text>.