

ЗАТВЕРДЖЕНО
Наказ Міністерства освіти і
науки,
молоді та спорту України
29 березня 2012 року №384

Форма № Н-9.02

Львівський національний університет ветеринарної медицини
та біотехнологій імені С.З. Гжицького

Факультет харчових технологій та біотехнологій

(повна назва факультету)

Кафедра біотехнологій та радіології

(повна назва кафедри)

ДИПЛОМНА РОБОТА

за ОС «Магістр»

на тему: «Обґрунтувати застосування сучасних технологій з
біологічного очищення висококонцентрованих стічних вод
харчової промисловості»

Виконала: студентка 2 курсу, групи 1
спеціальності

162 «Біотехнологія та біоінженерія»

Руда Людмила В'ячеславівна

(прізвище та ініціали)

Керівник проф. Буцяк В.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент доц. Періг Д.П.

(прізвище та ініціали)

Робота заслухана на засіданні кафедри біотехнологій та радіології і
рекомендована до захисту в ДЕК, протокол № __ від __ грудня 2023 р.

Завідувач кафедри біотехнологій та радіології,
професор, доктор с.-г. наук

Василь БУЦЯК

Львів – 2023

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	3
АНОТАЦІЯ	4
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	10
1.1. Проблема забруднення водних ресурсів стічними водами підприємств харчової промисловості	10
1.2. Біологічні методи очищення стічних вод	14
1.3. Оцінка ефективності та екологічної безпеки біологічних методів очищення стічних вод	18
РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	22
2.1. Система контролю та вимоги щодо очищення стічних вод підприємствами харчової промисловості	22
2.1.1. Вимоги до сировини та матеріалів	22
2.1.2. Заходи щодо контролю за стічними водами підприємств харчової промисловості	23
2.2. Матеріали та методи	29
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	32
3.1. Опис технологічної схеми очищення стічних вод молокозаводу	32
3.2. Технологічні схеми та конструкції очищення стічних вод молокозаводів	36
3.3. Катаболічні процеси перетворення органічних залишків стічної води в затопленому біофільтрі	41
3.3.1. Видовий склад біоценозу затопленого біофільтра	49
3.4. Дослідження процесу очищення стічних вод маслосирзаводу на експериментальному затопленому фільтрі	51
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	57
ДОДАТКИ	63

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БГ – біогаз;

БЕ – біологічна ефективність;

БСК – біохімічне споживання кисню;

БСК₅ – біохімічне споживання кисню впродовж 5 діб;

БСК₂₀ – біохімічне споживання кисню впродовж 20 діб;

БСК_{повн} – повне біохімічне споживання кисню;

ГДК – гранично допустима концентрація;

ДП – державне підприємство;

ДСТУ – Державний стандарт технічних умов;

ЗР – завислі речовини;

ОВ – очищена вода;

ОСВ – осад стічних вод;

ПВК – піровиноградна кислота;

СВ – стічна вода;

СПАР – синтетичні поверхнево-активні речовини;

ХСК – хімічне споживання кисню;

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота написана на 66 сторінках комп'ютерного тексту. Складається із 3 розділів (огляд літератури, матеріал і методи та власні дослідження), вступу, висновків та пропозицій, списку використаної літератури, що містить 46 джерел і додатків. Містить 14 рисунків, 7 таблиць.

Ключові слова: стічні води молокопереробних підприємств, мікроорганізми-деструктори, біологічні методи очищення, затоплений біофільтр, технологічна схема очищення стічних вод, гідробіонти, вища водна рослинність.

Кваліфікаційна робота на тему: “Обґрунтувати застосування сучасних технологій з біологічного очищення висококонцентрованих стічних вод харчової промисловості” присвячена вдосконаленню існуючих та пошуку нових технологічних рішень щодо стандартних вимог очищення стічних вод молокопереробних підприємств.

Використання класичної технології біологічного очищення, що характеризується наявністю рециркуляційних потоків, пов'язано із порівняно високими витратами електроенергії та утворенням значної кількості надлишкової біомаси. Необхідність стабілізації утворених осадів вимагає додаткових витрат, а потреба у розробленні нових технологій очищення стічних вод обґрунтована зміною характеру та фазово-дисперсного стану забруднень стічних вод молокозаводів.

Дотримуючись всіх вимог технологічного процесу повного біологічного очищення стічних вод молокопереробних підприємств у затопленому біофільтрі можна забезпечити якість стічних вод, які скидаються у водовідвідну систему на рівні регламентованих екологічною інспекцією показників. За дотриманням запропонованих технологічних параметрів та за умови повного біологічного очищення стічних вод у

затопленому біофільтрі можна досягти від 83 до 98% ефективності очищення стічних вод.

З метою попередження виходу із затопленого біофільтра разом з очищеною частиною стічних вод завислих речовин рекомендовано використовувати відстійник. Слід зазначити, що для більш ефективного доочищення стічних вод необхідно використовувати біоставки із різними видами гідробіонтів і вищої водної рослинності.

Об'єкт дослідження: стічні води молокопереробних підприємств, затоплений біофільтр, популяції анаеробних та аеробних мікроорганізмів-деструкторів, аквакультура.

Предмет дослідження: застосування сучасних технологічних прийомів щодо оптимізації технології біологічного очищення висококонцентрованих стічних вод харчової промисловості.

Мета роботи: обґрунтувати доцільність повного біологічного очищення стічних вод у затопленому біофільтрі та їх доочищення, на прикладі ВАТ «Жидачівський маслосирзавод».

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі завдання:

- проаналізувати доступні джерела інформації щодо сучасних методів та способів очищення стічних вод молокопереробних підприємств;
- опрацювати нормативні документи щодо вимог до сировини та матеріалів, системи контролю очищення стічних вод підприємствами харчової промисловості;
- описати технологічні схеми, апаратурне забезпечення та конструкції очищення стічних вод молокозаводів;
- подати схеми основних катаболічних процесів перетворення органічних залишків стічної води в затопленому біофільтрі;

– вивчити та узагальнити перспективні методи очищення стічних вод, рекомендувати метод повного біологічного очищення стічних вод у затопленому біофільтрі;

– дослідити якісний та кількісний видовий склад біоценозу затопленого біофільтра;

– визначити недосконалі стадії очищення стічних вод підприємства та обґрунтувати модернізовані системи щодо оптимізації очисних споруд.

Актуальність теми. Дослідження в напрямку очищення стічних вод до нормативних вимог щодо скидання їх у водовідвідні системи або з метою повторного використання є і буде завжди актуальним через зростаючий дефіцит водних ресурсів. Крім того, важливим також є екологічна ситуація, яка погіршується із техногенним навантаженням на довкілля.

Удосконалення і модернізацію існуючих та розробку нових екологічно безпечних і економічно доцільних методів біологічного очищення стічних вод, особливо, підприємств харчової промисловості є на даний час особливо актуальним. Науковці розробляють сучасні методи очищення стічних вод використовуючи безвідходні технології, тобто є реальна можливість повторного використання води шляхом замкнутого циклу.

Практична цінність роботи: в аквакультурі затопленого біофільтра як у нижньому, так й верхньому шарах переважають трубачники (відповідно 62-65%) та бактерії (відповідно 18-22%). Популяція мікроскопічних грибів у нижньому шарі біофільтра є досить представлена (до 15%), однак їх вміст у верхньому шарі майже був відсутній. Що стосується найпростіших, то їх кількість по всьому затопленому біофільтрі була приблизно однакова. У верхньому шарі біофільтра зросла до 8% кількість водоростей.

Науковий внесок роботи. Повне біологічне очищення стічних вод у затопленому біофільтрі та дотримання, запропонованих нами, оптимальних

технологічних параметрів процесу: тривалість попередньої аерації стрічних вод – 8-10 годин; гідравлічне навантаження на споруду – $2,0-2,2 \text{ м}^3/(\text{м}^2/\text{доб})$; питома маса трубочників у фільтруючому завантаженні – $6-8 \text{ кг/м}^2$.

ВСТУП

Харчова промисловість є одним із основних джерел висококонцентрованої стічних води, яка утворюється при переробці різних харчових продуктів. Ці стічні води характеризуються високим вмістом органічних і неорганічних забруднюючих речовин [1].

Скидання неочищеної стічних води переробної промисловості може становити значні ризики для навколишнього середовища та здоров'я, включаючи забруднення джерел води, ґрунту та повітря. Тому для пом'якшення цих ризиків і забезпечення відповідності нормативним вимогам необхідні ефективні методи щодо їх очищення [4].

Традиційні методи очищення, такі як хімічне осадження, коагуляція та седиментація, використовуються для очищення стічних води в харчовій промисловості. Однак ці методи мають ряд обмежень, включаючи низьку ефективність у видаленні токсичних речовин, високі експлуатаційні витрати та утворення великих обсягів осаду. Крім того, ці традиційні методи не відповідають належним чином зростаючому попиту на стійкі та екологічно безпечні рішення щодо їх очищення [2].

Для подолання цих проблем розроблено сучасні технології біологічного очищення висококонцентрованих стічних вод у харчовій промисловості. Ці технології використовують мікроорганізми для перетворення токсичних органічних речовин у нешкідливі побічні продукти.

Приклади сучасних технологій включають [4]:

- анаеробне очищення: цей процес передбачає використання анаеробних бактерій для трансформації органічних сполук у проміжні продукти в безкисневих умовах;

- аеробне очищення: цей процес використовує аеробні бактерії для кінцевого окислення органічних сполук до вуглекислого газу та води;

- мембранні біореактори: ця технологія поєднує біологічну очистку з мембранною фільтрацією для досягнення високоякісних стічних вод і зменшення утворення мулу.

Наведені вище технології мають ряд переваг перед традиційними методами очищення, включаючи вищу ефективність, нижчі експлуатаційні витрати та менший вплив на навколишнє середовище. Оскільки попит на стійкі та ефективні рішення для очищення стічних вод продовжує зростати, очікується, що впровадження сучасних технологій для біологічного очищення стічних вод з високим вмістом органічних складових в харчовій промисловості зростатиме [2].

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Проблема забруднення водних ресурсів стічними водами підприємств харчової промисловості

Забруднення води є значною проблемою в харчовій промисловості, оскільки численні джерела сприяють забрудненню водних ресурсів. Забруднення води можна визначити як наявність у водоймах шкідливих речовин, які можуть мати негативний вплив на здоров'я людини та навколишнє середовище [5].

У харчовій промисловості забруднення води може виникати з низки джерел, зокрема:

- сільськогосподарські стоки;
- промислові відходи;
- неналежна утилізація хімічних речовин і відходів;
- неналежні системи очищення стічних вод.

Ці джерела можуть вносити різноманітні забруднювачі у водойми, включаючи важкі метали, пестициди та органічні сполуки. Наявність цих забруднюючих речовин може мати далекосяжні наслідки як для здоров'я людини, так й для навколишнього середовища, тому важливо вирішити проблему забруднення води в харчовій промисловості [6].

Неможливо переоцінити важливість вирішення проблеми забруднення води. Забруднені водні ресурси можуть мати значний вплив на здоров'я людини, зокрема [6]:

- підвищений ризик захворювань, що передаються через воду;
- вплив шкідливих хімічних речовин і забруднюючих речовин;
- негативний вплив на репродуктивне здоров'я.

Окрім цих проблем зі здоров'ям, забруднення води також може мати серйозні наслідки для навколишнього середовища, зокрема [22]:

- знищення водних екосистем;
- втрата біорізноманіття;

- негативний вплив на місцеву економіку та громади.

Усунувши джерела забруднення води та запровадивши ефективні стратегії пом'якшення, можна зменшити негативний вплив забруднення води та захистити як здоров'я людини, так й довкілля [26].

Підсумовуючи, проблема забруднення води в харчовій промисловості є складною та багатогранною проблемою, яка потребує невідкладної уваги. Джерела забруднення води в харчовій промисловості різноманітні і можуть мати далекосяжні наслідки. Вирішення цієї проблеми має важливе значення для захисту здоров'я та добробуту окремих людей і громад, а також для забезпечення стійкості наших природних ресурсів [7].

Працюючи разом над впровадженням ефективних стратегій пом'якшення наслідків та сприянням відповідальним практикам у харчовій промисловості, ми можемо допомогти зменшити негативний вплив забруднення води та створити більш здорове та стійке майбутнє.

Промислові скиди та відходи харчової промисловості є ще однією значною причиною забруднення води. Багато харчопереробних підприємств створюють великі обсяги стічних вод, які можуть містити високий рівень органічних речовин, поживних речовин для популяцій мікроорганізмів та інших забруднюючих речовин. Коли, неочищенні стічні води скидаються в найближчі джерела води без належної очистки, вони можуть завдати значної екологічної шкоди біоті [7, 8].

Окрім того, стічні води відходи харчової промисловості можуть містити небезпечні матеріали, такі як важкі метали та токсичні хімікати, які можуть просочуватися в ґрунт і ґрунтові води, сприяючи подальшому забрудненню природних водних екосистем.

Неналежна практика поводження із відходами на підприємствах харчової промисловості також є основним фактором значного забруднення стічної води. Належна практика поводження з відходами, включаючи переробку та відповідальну утилізацію, має вирішальне значення для зменшення забруднення води в харчовій промисловості [9].

Забруднення води в технологічних процесах переробки продукції у харчовій промисловості може мати серйозні ризики для здоров'я споживачів. Наявність шкідливих хімічних речовин, хвороботворних мікроорганізмів та інших забруднюючих речовин у джерелах води, які використовуються для виробництва харчових продуктів, може призвести до захворювань, що передаються харчовим шляхом. Ці ризики для здоров'я можуть бути особливо серйозними для вразливих груп населення, таких як діти, вагітні жінки та люди похилого віку.

Крім того, споживання зараженої їжі може призвести до довгострокових наслідків для здоров'я, включаючи хронічні захворювання і навіть рак. Щоб запобігти цим ризикам для здоров'я, харчова промисловість має надавати пріоритет безпеки та якості джерел води, що використовується у виробництві харчових продуктів [10, 11].

Харчова промисловість може зробити кілька кроків для вирішення проблеми забруднення стічних вод, включаючи впровадження найкращих практик і правил. Це може включати моніторинг і контроль скидання стічних вод, впровадження належних методів поводження з відходами та забезпечення дотримання екологічних норм. Використовуючи ці заходи, компанії можуть зменшити свій вплив на навколишнє середовище та мінімізувати ризики забруднення води. Крім того, галузеве співробітництво та кооперація можуть допомогти встановити найкращі практики та правила, які ефективні у вирішенні проблеми забруднення води [13].

Застосування стійких та екологічно чистих методів є ще одним ключовим рішенням щодо вирішення проблеми забруднення стічних вод та їх очищення у переробній промисловості. Віддаючи пріоритет стійкості та екологічній відповідальності, компанії можуть зменшити свій вплив на навколишнє природне середовище та мінімізувати ризики забруднення води своїми скидами. Крім того, ці методи можуть призвести до економії коштів і підвищення ефективності, що робить їх привабливими варіантами для

компаній, які прагнуть покращити свій прибуток, одночасно захищаючи навколишнє середовище [20].

Інвестиції в передові технології очищення стічних вод є ще одним важливим рішенням проблеми попередження забруднення води. Це може включати використання передових систем очищення, таких як зворотний осмос, ультрафільтрація та мембранні біореактори, які можуть ефективно видаляти забруднюючі речовини зі стічних вод. Ці технології можуть допомогти компаніям дотримуватися екологічних норм і зменшити вплив на навколишнє середовище, а також покращити якість скиду стічних вод [14].

Крім того, інвестиції в передові технології очищення стічних вод можуть призвести до економії коштів у довгостроковій перспективі, оскільки ці системи можуть бути ефективнішими та економічнішими, ніж традиційні технології очищення стічних вод [14].

1.2. Біологічні методи очищення стічних вод

Біологічне очищення стічних вод харчопереробної промисловості є одним із економічно доцільним методів, що використовуються для очищення стічних вод, і воно передбачає використання мікроорганізмів для трансформації, використання та видалення органічних забруднюючих компонентів. Стічні води можуть містити високі рівні важких металів та інших токсичних речовин, які можуть становити небезпеку для споживачів харчової продукції [41].

Методи біологічного очищення можуть допомогти видалити ці забруднення та зробити стічну воду безпечною для скидання або повторного використання.

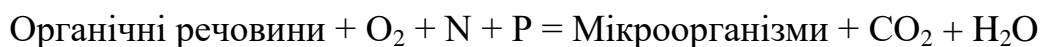
Сучасні методи біологічного очищення стічних вод включають ряд методів, таких як активний мул, біоплівкові реактори та споруджені водно-болотні угіддя. У цих методах використовуються різні типи мікроорганізмів і процеси очищення для видалення забруднень із води.

Наприклад, активний мул передбачає використання аеробних бактерій для розщеплення органічних речовин, тоді як створені водно-болотні угіддя використовують рослини та мікроби для видалення забруднюючих речовин через природні процеси. Кожен метод має свої переваги та недоліки, і вибір методу залежатиме від таких факторів, як тип і концентрація забруднень у воді, доступний простір і ресурси, а також бажаний рівень очищення [39].

Розробка сучасних методів біологічного очищення стічних вод має вирішальне значення для охорони навколишнього середовища та забезпечення безпеки здоров'я людини.

Аеробні біологічні методи очищення є одними з найбільш ефективних і широко використовуваних методів біологічного очищення стічних вод. Принцип аеробного очищення заснований на використанні кисню гетеротрофними бактеріями для окислення органічних речовин, що містяться в стічних водах. Процес включає перетворення органічних речовин під дією

кисню, Нітрогену і Фосфату в мікробну біомасу, вуглекислий газ і воду. Механізм біологічного окиснення в аеробних умовах гетеротрофними бактеріями можна пояснити наступним чином:



Існує кілька типів аеробних методів очищення, включаючи активний мул, біоплівка та окислювальні біологічні ставки [4]:

- активний мул – це широко використовуваний метод, який передбачає використання мікроорганізмів для розщеплення органічних речовин у стічних водах;

- біоплівка – це ще один метод, який передбачає ріст мікроорганізмів на опорному середовищі, яке потім використовується для очищення стічних вод.

- ставки-окислювачі – це великі неглибокі ставки, які використовують сонячне світло та кисень для сприяння росту мікроорганізмів, які розщеплюють органічні речовини в стічних водах.

Аеробні біологічні методи очищення мають ряд переваг, включаючи високу ефективність, низькі експлуатаційні витрати та низьке утворення осаду. Крім того, аеробні методи очищення є більш ефективними у видаленні азоту та фосфору зі стічних вод, ніж анаеробні методи.

Однак є також деякі недоліки, які слід враховувати, такі як потреба в постійному надходженні кисню, можливість утворення піни та утворення надлишкового мулу, який вимагає належної утилізації. В цілому, аеробні біологічні методи очищення є високоефективним і широко використовуваним методом біологічного очищення сірчаних вод [16].

Анаеробні біологічні методи очищення є перспективним підходом до біологічного очищення стічних вод від біогенних сполук. Принцип анаеробного очищення заснований на використанні мікроорганізмів, здатних розщеплювати органічні сполуки за відсутності кисню. У результаті цього процесу утворюється біогаз, який можна використовувати як джерело енергії.

Механізм анаеробного очищення включає серію біохімічних реакцій, які перетворюють органічні сполуки на простіші молекули, такі як метан і вуглекислий газ [36].

Існує кілька типів методів анаеробного очищення, включаючи анаеробні лагуни, анаеробні фільтри та анаеробні реактори з висхідним потоком з мулом (UASB) [36]:

- анаеробні лагуни – це великі неглибокі ставки, які дозволяють мікроорганізмам з часом розщеплювати органічні речовини;
- анаеробні фільтри складаються з шару пористого матеріалу, який забезпечує поверхню для мікроорганізмів, щоб прикріплюватися до органічних сполук і розщеплювати їх;
- реактори UASB використовують комбінацію зважених і прикріплених мікроорганізмів для очищення стічних вод у одному баку.

Однією з головних переваг анаеробних методів біологічного очищення є їх висока швидкість і використання речовин у низьких концентраціях. Крім того, ці методи відносно прості в експлуатації та обслуговуванні, що робить їх економічно ефективним варіантом очищення стічних вод. Однак анаеробні методи очищення мають деякі недоліки, включаючи утворення запахів і необхідність ретельного моніторингу рівнів рН і температури для забезпечення оптимальної мікробної активності. Загалом, анаеробні біологічні методи очищення пропонують багатообіцяюче рішення для очищення стічних вод від біогенних сполук, з потенційними як екологічними, так і економічними перевагами [39].

Порівняльний аналіз аеробних і анаеробних методів очищення стічних вод показує відмінності в їх ефективності. Аеробні методи очищення вимагають присутності кисню та використовують бактерії, які споживають органічну речовину, перетворюючи її на вуглекислий газ і воду. Цей процес дуже ефективний у видаленні органічних забруднювачів і зниженні рівня біохімічного споживання кисню (БПК) у воді [27].

Анаеробні методи очищення, з іншого боку, не потребують кисню та використовують бактерії, які розкладають органічну речовину на метан і вуглекислий газ. Хоча цей процес є менш ефективним у видаленні забруднюючих речовин, він дуже ефективний у зниженні загальної кількості завислих речовин і рівнів хімічного споживання кисню. Тому вибір методу очищення залежить від конкретних вимог процесу водопідготовки [12].

З точки зору робочих вимог, аеробні методи очищення вимагають більшого обслуговування та моніторингу через потребу в кисні та чутливість бактерій до змін рН і температури. Анаеробні методи очищення, з іншого боку, мають нижчі експлуатаційні вимоги та менш чутливі до змін рН і температури. Однак вони потребують більш тривалого часу утримування та є менш ефективними у видаленні забруднювачів, які нелегко піддаються біологічному розкладанню. Таким чином, вибір методу очищення також повинен враховувати робочі вимоги та наявні ресурси [34].

1.3. Оцінка ефективності та екологічної безпеки біологічних методів очищення стічних вод

Біологічні методи очищення стічних вод привернули значну увагу як екологічно безпечний і ефективний спосіб обробки стічних вод. Ці методи включають використання мікроорганізмів, вищих водних рослин та інших біологічних агентів для видалення забруднюючих речовин зі стічних вод [26].

Деякі з переваг методів біологічного очищення включають низьке споживання енергії, низькі експлуатаційні витрати та здатність видаляти широкий спектр забруднюючих речовин. Крім того, біологічні методи очищення виробляють менше мулу і є більш стійкими, ніж традиційні фізико-хімічні методи. Тому все більшої популярності для очищення стічних вод набувають біологічні методи очищення [15].

Для очищення стічних вод розроблені та випробувані різні методи біологічного очищення. Ці методи включають використання мікроорганізмів, таких як бактерії та гриби, вищі водні рослини та створені водно-болотні угіддя. Ефективність цих методів залежить від різних факторів, включаючи тип і концентрацію забруднюючих речовин, час гідравлічного утримання та умови навколишнього середовища. Тому важливо оцінити ефективність цих методів і оптимізувати їх для конкретних умов. Крім того, вкрай важливо забезпечити безпеку цих методів, дотримуючись необхідних вимог охорони праці, пожежної та екологічної безпеки. Використовуючи ефективні та безпечні методи біологічного очищення, можна звести до мінімуму негативний вплив стічних вод на навколишнє природне середовище, сприяючи більш стійкому майбутньому [45].

Одним з анаеробних біологічних методів очищення стічних вод є процес анаеробного зброджування. Цей процес передбачає використання мікроорганізмів для розщеплення органічних речовин за відсутності кисню. Під час анаеробного зброджування бактерії перетворюють складні органічні

молекули на простіші сполуки, такі як метан і вуглекислий газ. Цей процес можна використовувати для очищення широкого діапазону потоків стічних вод, у тому числі тих, що містять високі рівні органічних сполук [35].

Було проведено кілька тематичних досліджень щодо ефективності проектів анаеробного очищення. У дослідженні Лемеша [26] у 2020 р. було оцінено ефективність споруд біологічного очищення стічних вод на етапах проектування та реконструкції. Мета дослідження – вибір найбільш раціональних методів біологічного очищення стічних вод для вирішення екологічних проблем.

Результати показали, що анаеробне зброджування є ефективним методом очищення стічних вод з високим рівнем видалення органічних речовин. Ці тематичні дослідження висвітлюють потенціал анаеробних методів біологічного очищення для обробки стічної води, що приносить значні переваги як для ефективності, так і для екологічної безпеки [22].

Одним із найпоширеніших методів біологічного очищення стічних вод є аеробне зброджування. Цей процес передбачає використання кисню для розщеплення органічних речовин у воді, перетворення їх на вуглекислий газ, воду та інші нешкідливі побічні продукти. Аеробне розщеплення зазвичай здійснюється за допомогою спеціальних мікроорганізмів, які процвітають у багатих киснем середовищах, таких як активний мул або системи біоплівки. Під час процесу ці мікроорганізми споживають органічні речовини у воді, виробляючи енергію та виділяючи нешкідливі побічні продукти [19].

Існує кілька переваг і недоліків використання аеробних методів біологічного очищення. Однією з головних переваг є те, що це відносно простий і економічно ефективний процес, який вимагає мінімального обладнання та обслуговування.

Крім того, аеробне розкладання виробляє менше запахів і вимагає менше місця, ніж інші методи біологічної обробки. Однак є також деякі недоліки, які слід враховувати, наприклад необхідність постійного надходження кисню та можливість зростання небажаних мікроорганізмів.

Крім того, аеробне травлення може бути не настільки ефективним для видалення певних типів забруднюючих речовин, таких як важкі метали [19].

Декілька тематичних досліджень продемонстрували ефективність аеробних біологічних методів очищення стічних води, зокрема, стічних вод переробної промисловості. Наприклад, дослідження, проведене Zhong et al. у 2018 році виявили, що система з активним мулом здатна ефективно видаляти органічні речовини та інші забруднюючі сполуки. Подібним чином дослідження Wang et al. у 2019 році було встановлено, що біоплівковий реактор здатний видалити понад 90% сполук Нітрогену та Фосфату зі стічних вод. Ці дослідження підкреслюють потенціал аеробних біологічних методів очищення як безпечного та ефективного засобу очищення стічних вод [23].

Ефективність анаеробних і аеробних методів біологічного очищення була темою багатьох дискусій в останні роки. Анаеробне зброджування – це процес, який відбувається за відсутності кисню, коли мікроорганізми розщеплюють органічну речовину на біогаз і багатий поживними речовинами осад. З іншого боку, аеробна трансформація передбачає використання кисню для розщеплення органічних речовин на вуглекислий газ, воду та інші побічні продукти. Хоча обидва методи показали свою ефективність у очищенні стічних вод, ефективність кожного методу залежить від конкретних умов [37].

Анаеробне зброджування, як правило, вважається більш ефективним при обробці стічних вод з високим вмістом органіки, тоді як аеробне зброджування краще підходить для стічних вод з низьким вмістом органіки. Тому вибір відповідного методу біологічного очищення сірчаних вод повинен ґрунтуватися на конкретних характеристиках стічних вод, що очищаються [41].

Екологічна безпека є вирішальним фактором при оцінці ефективності методів біологічного очищення. Хоча методи анаеробного та аеробного зброджування виявилися ефективними при обробці сірчаної води, вплив кожного методу на навколишнє середовище відрізняється. Анаеробне

зброджування виробляє біогаз, який можна використовувати як відновлюване джерело енергії, тоді як аеробне зброджування виробляє вуглекислий газ і воду [12].

Крім того, анаеробне зброджування виробляє багатий поживними речовинами осад, який можна використовувати як добриво, тоді як аеробне зброджування виробляє менш багатий поживними речовинами осад, який може потребувати подальшої обробки перед використанням. Однак анаеробне зброджування також виробляє сірководень, який є токсичним і має сильний запах, і вимагає належного управління, щоб запобігти негативному впливу на навколишнє природне середовище. Таким чином, екологічна безпека кожного методу повинна оцінюватися в кожному конкретному випадку [17].

РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Система контролю та вимоги щодо очищення стічних вод підприємствами харчової промисловості 2.1.1. Вимоги до сировини та матеріалів

Таблиця 2.1.

Вимоги до сировини та матеріалів

Характеристика сировини, матеріалів, напівпродуктів	Найменування Категорія і номер НТД згідно якого перевіряється сировина	Показники, що обов'язкові для перевірки та їх нормативне значення
1. Основна сировина:		
1.1. Неочищена стічна вода	ДБН В.2.5-75:2013; СанПіН 4630-88	Витрата стічних вод – 60 000 м ³ /добу; ХСК – 2100 мг/ дм ³ ; БСК – 313 мг/ дм ³ ; ЗР – 271 мг/дм ³ ; Нітрати – 20 мг/дм ³ ; Азот амонійний – 41 мг/ дм ³ ; Фосфати – 27 мг/ дм ³
1.2. Повітря		33 920 м ³ /добу 5628,3 м ³ /добу
2. Допоміжна сировина:		
2.1. Вода водопровідна	ДСТУ 7525:2014. Вода питна	Кольоровість, каламутність, смак, рН, жорсткість, вміст м/о і бактерій
2.2. Вода технічна		Вміст твердих завислих речовин, солей жорсткості, рН
2.3. Підлужуючий реагент NaOCl	ТУ У 6-05761620.014-99	
2.4. Коагулянт FeCl ₃	ТУ У 6-18-33-85	
2.5. Теплоагент		
2.6. Гашене вапно	ДСТУ 9262-97	Однорідний сипучий матеріал білого кольору
2.7. Газ		
2.8. Зневоднений осад	СанПіН 2.1.7.573- 96	На вивезення
2.9. Пісок		На вивезення

2.1.2. Заходи щодо контролю за стічними водами підприємств

харчової промисловості

У процесі функціонування та виробництва харчової продукції підприємствами харчової промисловості в технологічному процесі використовується значна кількість води. По закінченню процесу виробництва цільового продукту, вода із домішками побічними продуктами переробки та залишками технологічних реагентів виводиться як побічний продукт у вигляді стічних вод.

Таблиця 2.2

Необхідна кількість води для одержання одиниці продукції у харчовій промисловості

Підприємство	Кількість стічних вод на од.продукції, м ³ /т	БСК _{повне} , мгО ₂ /дм ³	Основний тип забруднень
М'ясокомбінати	40	1400 - 1500	Білки, жири
Молокозаводи	4,5	1200	Білки, жири
Заводи згущеного та сухого молока	3	100	Білки, вуглеводи
Сироробні заводи	4,5	2400	Білки, жири,
Цукрові заводи	2,2	3200 - 7700	Вуглеводи, білки, сапоніни
Крохмале-паточні заводи	95	2000	Вуглеводи
Олієекстракційні заводи	2,5	1600	Жири
Дріжджові заводи	20	14400	Органічні та мінеральні сполуки
Спиртові заводи	40	5000	Спирти, органічні кислоти
Консервні заводи	3	1500	Білки, жири

Її кількісні та якісні показники залежать від цільового харчового продукту, який одержують у переробній харчовій промисловості наведено в

табл. 2.2. Поряд із тим, як видно з таблиці, в процесі переробки у стічних водах спостерігається значна кількість забруднюючих компонентів. Такі стічні води, без додаткового очищення до регламентованих норм ГДК (табл. 2.3) не дозволяється скидати у водні об'єкти.

Таблиця 2.3

Регламентовані норми ГДК для очищених стічних вод

№	Найменування показника	ГДК згідно з правилами охорони поверхневих вод від забруднення
1.	Зважені речовини	+ 0,75 до фону
2.	ХСК	30,0
3.	БСК ₅	6,0
4.	Хлориди	350,0
5.	Сульфати	450,0
6.	Фосфати	3,5
7.	Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР)	0,5
8.	Жири	Відсутні
9.	Нафтопродукти	0,3
10.	Азот амонійний	2,0
11.	Нітрати	45,0
12.	Нітрити	3,3
13.	Сухий залишок	1000,0
14.	pH, од.	6,5-8,5
15.	Розчинений кисень	4,0
16.	Колі-індекс	<1000
17.	Колі-фаги	<1000
18.	ЛКП	<5000
19.	Життєздатні яйця гельмінтів	Відсутні
20.	Збудники захворювань	Відсутні

Державна екологічна інспекція постійно моніторить якісні та кількісні показники стічних вод, які надходять у водовідвідну мережу (рис. 2.1).

Дієвим впливом на підприємців щодо покращення якісних показників очищених стічних вод є їх штрафування через надмірний вміст забруднюючих речовин у них.

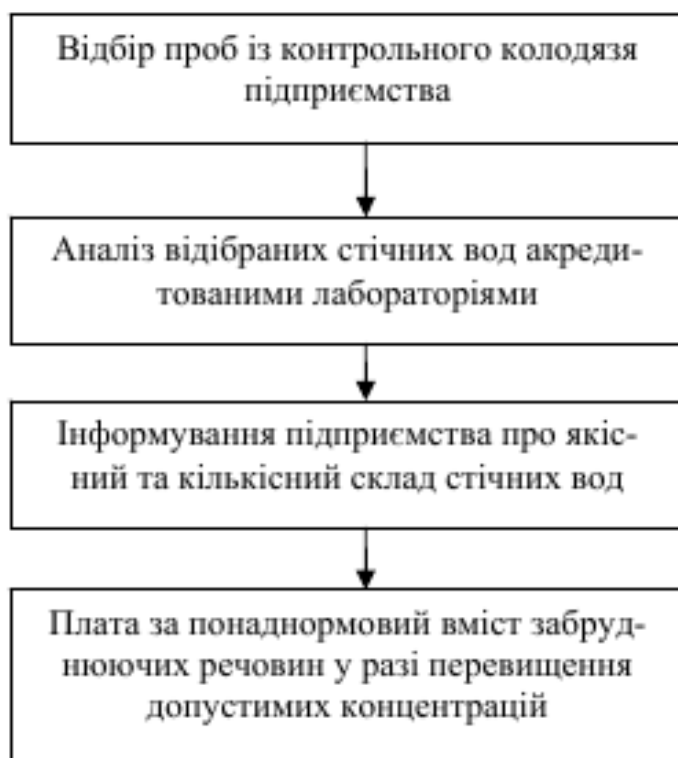
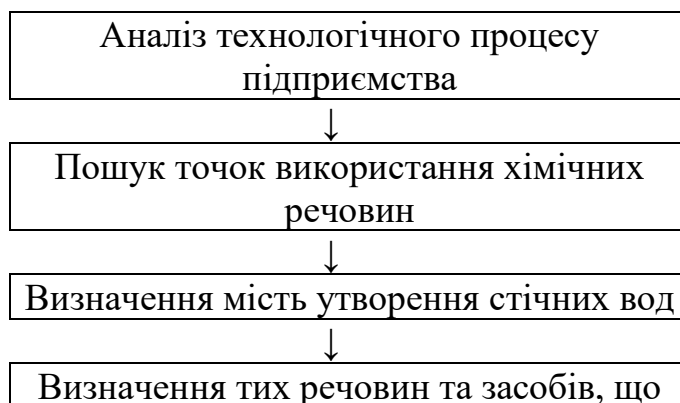


Рис. 2.1. Моніторинг якісних та кількісних показників стічних вод на підприємствах

Враховуючи приписи державної екологічної інспекції на ВАТ “Жидачівський маслосирзавод” розроблено та запроваджена наступна система контролю за якісними та кількісними показниками щодо забруднення стічних вод підприємства (рис. 2.2):



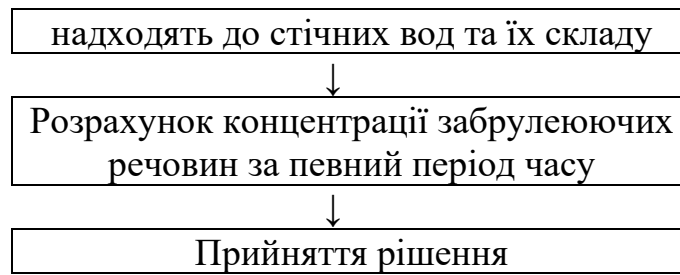


Рис. 2.2. Система контролю за якісними та кількісними показниками стічних вод

На вище згаданому підприємстві, виробничі стічні води при скиданні їх у водовідвідну мережу не повинні [20-21]:

- перевищувати витрати стічних вод і вміст завислих, спливаючих речовин, установлених для конкретного промислового підприємства;
- порушувати роботу мереж і споруд;
- містити речовини, які здатні засмічувати труби водовідвідних мереж або відкладатися на стінках труб (окалина, вапно, пісок, гіпс, металева стружка, та т.п.);
- чинити руйнівну дію на матеріал труб і елементи очисних споруд;
- містити горючі домішки і розчинені газоподібні речовини, здатні утворювати вибухонебезпечні суміші у водовідвідних мережах і очисних спорудах;
- містити шкідливі речовини в концентраціях, що перешкоджають біологічному очищенню стічних вод або скиданню їх у водойму (з урахуванням ефективності очищення);
- мати температуру вище 40°C;
- мати рН за межами 6,5-9;
- містити небезпечні бактеріальні забруднюючі речовини;
- мати ХСК, що перевищує БСКпов більш ніж у 1,5 рази [20].

На підприємстві ВАТ “Жидачівський маслосирзавод” використовують механічні, фізичні, хімічні та біологічні способи очищення використаної води, технологічні аспекти яких наведено на рис. 2.3.



Рис. 2.3. Способи очищення, використаної у процесі переробки води

По закінченню технологічного процесу очищення стічних вод, їх якісні та кількісні характеристики при скиданні у водовідвідну мережу повинні бути в межах регламентованих норм, які наведені у табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Технічні характеристики стічних вод щодо скидання їх до міської системи водовідведення м. Жидачів

Показники забрудненості	Концентрація в мг/дм ³
pH	6,5-9
Завислі речовини	220
БСК _{повн}	350-500
ХСК	480
Азот амонійний	20
Сухий залишок	700
Фосфати (по P ₂ O ₅)	8,4
Жири	7,4
ПАР	0,5
Сульфати	190

2.2. Матеріали та методи

Дослідження якісних та кількісних показників очищеної стічної води проводили, перед тим як скидати її у водовідвідну мережу. Проби води відбирали згідно із регламентованими вимогами ((ISO 5667-10:1992, IDT): ДСТУ ISO 5667-10:2005.) [3, 43]. Для мікробіологічного дослідження, відібрані зразки води, розбавляючи тричі висівали на поживне середовище (підкислений сусло-агар) в чашки Петрі із дотриманням температурного режиму в межах 26°C упродовж 25 діб.

Регламентовані показники якості стічних вод щодо скидання їх до міської системи водовідведення м. Жидачів поданих даних у табл. 2.4, досліджували із використанням фізико-хімічних методів:

Визначення біохімічної потреби кисню (БПК).

БПК – це кількість кисню, потрібна для повного біохімічного окиснення речовин, що містяться в 1 л води, за температури 20°C. Чим інтенсивніше забруднена вода, тим вища її БПК. Для природних вод БПК₅ становить приблизно 70 % повного БПК₂₀.

У чистих водоймищах БПК₅ менша за 2 мг, а у відносно чистих вона становить 2-4 мг О₂/л (БПК₂₀ – 3-6 мг О₂/л) БПК – це показник кількості (в мг), необхідної для окиснення органічних речовин в 1 л колодязної води внаслідок аеробних біологічних процесів. Основою для визначення БПК був відомий метод Ю.Ю. Лур'є. Максимальне значення БПК у вивченій воді становило 126 мг О₂/л. Розрахунки здійснювали за такою формулою:

$$\text{БПК} = \frac{(a - b) \cdot n}{V} \cdot 100$$

де: БПК – кількість кисню, мг/л, а – концентрація кисню в підготованій для визначення пробі з початку інкубації, мг/л; b – концентрація кисню у воді, якою розводять, мг/л; n – кількість повторень [42].

Визначення біохімічного споживання кисню (БСК₅)

Показник біологічного споживання кисню виражається кількістю кисню, який необхідний для окиснення органічних сполук, що містяться в 1 л води. Аеробні бактерії окиснюють ці речовини до вуглекислого газу і води без доступу повітря і світла впродовж п'яти діб.

До декількох мл відібраної води додають 2 мл розчину $MnSO_4$ і таку ж кількість лужного розчину KJ . Спостерігають утворення пластівців осаду Мангану діоксиду MnO_2 . Осад розчиняють додаючи концентровану сульфатну кислоту. Наступним кроком є титрування відібраних проб розчином $Na_2S_2O_3$ з густиною 0,01 моль/л. Біохімічне споживання кисню обчислюють згідно методики [32].

Визначення хімічного споживання кисню (ХСК)

Показник хімічного споживання кисню – це загальний вміст у воді органічних та неорганічних відновників, які взаємодіють з калій дихроматом $K_2Cr_2O_7$ в сульфатній кислоті (1:1) в перерахунку на кисень (мг O_2 /л). У вказаній реакції відбувається взаємодія відібраних проб стічної води з розчином калій дихромату в присутності Меркурій (II) сульфату та при повільному додаванні концентрованої Сульфатної кислоти H_2SO_4 . Далі, розчин кип'ятять близько 2 годин застосовуючи електроплитку і зворотний холодильник [32].

Наступним кроком є охолодження проби. Для цього розчин поміщають у конічну колбу, додають краплями фероїн і проводять титрування розчином солі Мора до точки еквівалентності тобто до зміни забарвлення з блакитно-зеленого в червоно-коричневе. Одночасно виконують контрольний дослід взявши 20 мл дистильованої води. Хімічне споживання кисню розраховують згідно методики описаній у літературі [32, 33].

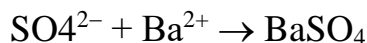
Визначення фосфатів

Фосфати у стічних водах визначають фотометричним способом. Фосфат-іони взаємодіють з молібдатом у кислому середовищі утворюють гетерополікислоту жовтого кольору. Остання при дії відновника (аскорбінова

кислота) перетворюється на молібденову синь. Хімічна реакція відбувається при підвищеній температурі, так як органічні ефіри ортофосфорної кислоти і поліфосфати гідролізують з утворенням H_3PO_4 [12, 23].

Визначення сульфатів

Використовували реакцію утворення дисперсної системи малорозчинного Барій сульфату в кислих розчинах. Значення добутку розчинності становить $DP = 1.1 \times 10^{-10}$:



Реакцію проводять в кислому середовищі з метою забезпечення вибіркової визначення сульфатів щодо фосфатів, карбонатів, хроматів. Щоб отримати колоїдну суспензію Барій сульфату до розбавленого розчину сульфату, додають $NaCl$ і HCl , а далі збовтують з надлишком кристалічного $BaCl_2$. Щоб збільшити стійкість суспензії до розчину можна додавати захисний колоїд, наприклад, желатину або гліцеролу. Вміст сульфат – іонів визначаємо за методикою [38].

Визначення синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР)

Визначення СПАР у стічних водах проводили екстрагуванням комплексної сполуки хлороформом у лужному середовищі (буферний розчин, $pH=10$). Надалі, хлороформні екстракти обробляли кислим розчином метиленового синього. Вказане подвійне екстрагування усуває дію іонів Cl^- , NO_3^- , SCN^- , а також білків, які не дозволяють виявити аніонактивні СПАР [22].

Додавання пероксиду водню спричиняє усунення з розчину сульфідів, які заважають визначенню синтетичних поверхнево-активних речовин.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Опис технологічної схеми очищення стічних вод молокозаводу [27-29]

ДР 1. Підготовка аераційного повітря

ДР 1.1. Забір повітря з атмосфери

Забір повітря здійснюється шляхом забору атмосферного повітря за допомогою повітрозбірника ПЗ-1 з точкою забору 4 м вище рівня землі. Мінімальна температура $t_{\min} = -20^{\circ}\text{C}$ і максимальна температура $t_{\max} = +40^{\circ}\text{C}$

ДР 1.2. Фільтрування повітря

На цьому етапі повітря очищують крізь волокнистий фільтр Ф-2, який затримує пил та механічні частки

ДР 1.3. Компресування повітря

Застосовують повітродувки П-3 з продуктивністю від $190 \text{ м}^3/\text{хв}$ зі стисненням повітрям до $0,163 \text{ МПа}$. Підготовлене повітря надходить до аеротенку та аеротенку-нітрифікатору.

ДР 2. Процес електролітичного одержання гіпохлориту натрію

Для цього процесу сухий порошок NaCl змішується з підготовленою технічною водою у спеціальній установці для отримання гіпохлориту натрію. Готовий розчин подається до ТП 8.

ДР 3. Приготування розчину FeCl_3

На даному етапі готують розчин FeCl_3 з концентрацією $C=5\%$, змішують його з водопровідною водою та подають до ТП 6.3. та ПВ 9.3 як коагулянт.

ДР 4. Приготування розчину $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Для підключення подають у стічну воду реагент - розчин гашеного вапна з концентрацією $C=1 \%$ до ПВ 9.3

ТП 5. Механічне очищення стічних вод

ТП 5.1. Очищення стічних вод на решітках

Застосовуються решітки-дробарки, які затримують та подрібнюють

крупне сміття. Очищення здійснюють на решітках-дробарках РД-16.

ТП 5.2. Очищення на пісковловлювачах

Пвидалення крупних механічних домішок розміром від 0,15 мм до 0,25 мм у пісковловлювачах П-17, накопичення яких може знижувати ефективність роботи споруд очищення. Піщану пульпу періодично вивантажують та подають на піскові майданчики до ЗВ 10.2

ТП 5.3. Відстоювання в первинних відстійниках

Стічні води подають до первинних радіальних відстійників В-18. Це залізобетонні споруди діаметром 18 м. Осад збирається до зони осаду, видаляється та направляється до М-27. Освітлена вода відводиться по кільцевому каналу у відвідну кишеню, а потім направляється до ТП 6. Ефективність освітлення складає 49%.

ТП 6. Біологічне очищення стічних вод

ТП 6.1 Очищення стічних вод в аеротенку

В аеротенк А-19 з регенерацією, подається стічна вода після первинного відстійника. Після чого суміш води з активним мулом направляється до аеротенку-нітрифікатору. На даному етапі здійснюється технічний, хімічний та мікробіологічний контроль.

ТП 6.2 Очищення стічних вод в аеротенку-нітрифікаторі

В нітрифікатор Н- 20 подається стічна вода із аеротенку та попередньо підготовлене повітря від ДР 1, процес нітрифікації триває 2,8 годин.

ТП 6.3. Змішування стічної води у змішувачі типу Лоток Паршала

В змішувач ЛП-21 подається стічна вода із аеротенка-нітрифікатору, яка змішується з коагулянтом $FeCl_3$, для вилучення сполук фосфору у стічній воді.

ТП 7. Вторинне відстоювання

У вторинних відстійниках В-22 відбувається осадження активного мулу, утворена мулова вода направляється на насосну станцію, а рециркуляційний мул направляється до аеротенку А-19.

ТП 8. Знезараження очищеної стічної води

На цій стадії відбувається змішування у резервуарі Р-23 стічної води з гіпохлоритом натрію, який надходить від ДР 2. Після змішування з реагентом стічні води потрапляють на знезаражування до контактного резервуара КР-24. Стічна вода контактує з хлорною водою протягом 30 хв.

ПВ 9. Обробка осаду та надлишкового активного мулу

ПВ 9.1. Ущільнення надлишкового активного мулу

При даному етапі вологість осаду знижується до 96-97% за допомогою мулоущільнювача М-26, що сприяє зменшити розміри наступних споруд обробки осадів та покращити очистку.

ПВ 9.2 Збродження осаду в метантенку

До метантенку М-27 підводиться тепло, яке забезпечує підтримання термофільних умов (53-55 °С) в процесі зброджування.

П.В. 9.3 Знезараження осаду у камері дегельмінтизації

Осади з метантенку М-27 потрапляють у камеру дегельмінтизації К28 для знезараження осаду на 15 діб. У камеру дегельмінтизації подається теплоносій.

ПВ 9.4 Коагуляція та флокуляція осаду

Осад обробляється розчином коагулянту – FeCl_3 концентрацією $C=5\%$. Для підлучення розчин гашеного вапна $C=1\%$, реагенти подаються від ДР3 та ДР4.

ПВ 9.5 Зневоднення осаду на фільтр-пресі

Осад з камери дегельмінтизації поступає на фільтр-преси Ф-30 для зневоднення. Робочий тиск 0,16 мПа, здійснюється технічний контроль тиску. Утворений фільтрат подається на стадію ТП 5.1, а утворений осад на аварійні мулові майданчики для збереження.

ПВ 9.6. Акумуляування газу в газгольдері

Подається газ від метантенку до газгольдеру, а також технічна вода, після чого газ на використання

ЗВ.10 Утилізація відходів

ЗВ 10.1 Підсушування осаду на аварійних мулових майданчиках

Осад з усіх стадій очищення та переробки надходить на мулові майданчики АМ-31 для підсушування. Підсушений осад вивозиться, а дренажна вода направляється на ТП 5.1

ЗВ 10.2 Підсушування піщаної пульпи на піскових майданчиках

Підсушений пісок вивозиться з очисної станції, а дренажна вода направляється на ТП 5.1 [17-19, 27-29].

3.2. Технологічні схеми та конструкції очищення стічних вод МОЛОКОЗАВОДІВ

На першому етапі очищення стічних вод необхідно провести їх механічне очищення від великих за розміром неорганічних побічних продуктів (щєбінь, скло, пісок тощо) та органічних розчинних речовин, якщо такі утворилися (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Загальна схема очистки стічних вод на досліджуваних очисних спорудах

Через високу нерівномірність надходження та значні коливання концентрацій забруднень стічних вод підприємств молочної промисловості у технологічну схему очищення доцільне включення усереднювача. Необхідність його включення дасть можливість зменшити концентрації БСК, ХСК, амонійного азоту у стічній воді у процесі усереднення (аерування) за рахунок хімічного окиснення, віддувки та флокуляції.

Другим важливим етапом є система споруд та конструкцій біологічного очищення, до складу входить також блок механічного очищення та інші блоки, зокрема: усереднювач; біологічний реактор; відстійник; біоставок; блок обробки осаду; блок знезараження; компресор (повітродувка) (рис. 3.2).

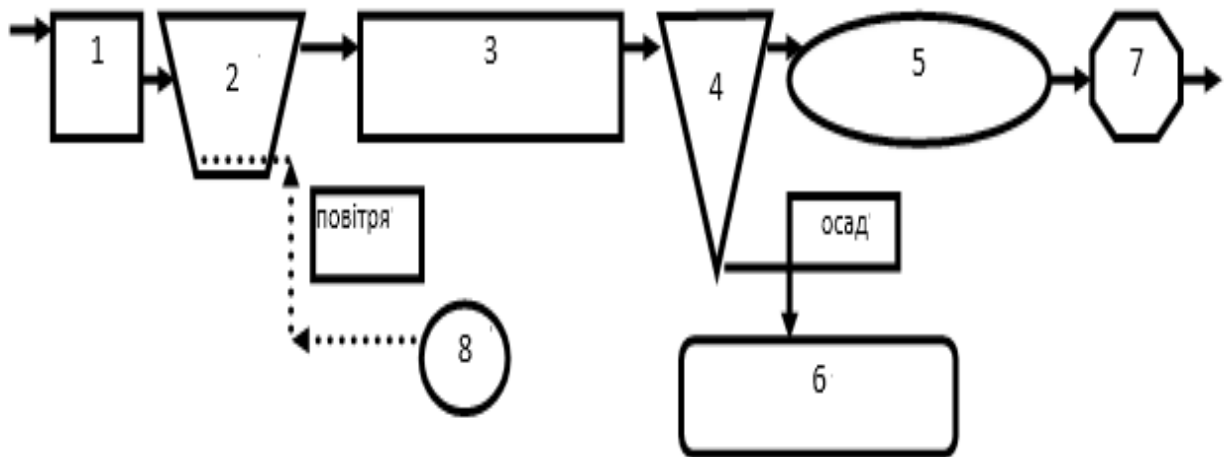


Рис. 3.2. Принципова технологічна схема очищення стічних вод молокозаводів на затопленому біофільтрі:

1 - блок механічного очищення (жироуловлювач, піскоуловлювач); 2 - усереднювач; 3 - біологічний реактор; 4 - відстійник; 5 - біоставок; 6 - блок обробки осаду; 7 - блок знезараження; 8 - компресор (повітродувка) [37].

При розробці конструкції біофільтра були враховані результати аналітичного огляду ролі різних типів гідробіонтів у процесах очищення стічних вод (зокрема, трубочників) даних про населення біологічних очисних споруд молокозаводів [25], патентного огляду [40, 44] та результати лабораторних пошукових досліджень. Отже, оскільки стічні води підприємств молочної промисловості характеризуються високим вмістом розчинених та нерозчинених органічних речовин (молочнокислих продуктів), біоценоз споруди має бути стійким до полісапробних умов та мати значну частку мінералізаторів нерозчинених органічних сполук [24].

У практичній діяльності, здебільшого із розроблених методів біологічного очищення стічних вод, використовують біологічні ставки (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Характеристика очисних споруд

Види очисних споруд	мгО/дм ³ споруди за добу
<i>Споруди природного біологічного очищення</i>	
Поля зрошення	0,5-1,0
Поля фільтрації	2,0-36,0
Біологічні ставки	12,5
<i>Споруди штучного біологічного очищення</i>	
Контактні біофільтри	72
Перколяторні біофільтри	100
Аеротенки	1000
Аеробіофільтри	1000
Аерокоагулятори	4500

Схема біологічного ставка (затоплений біофільтр), у системі біологічного очищення стічних вод наведена на рис. 3.3.

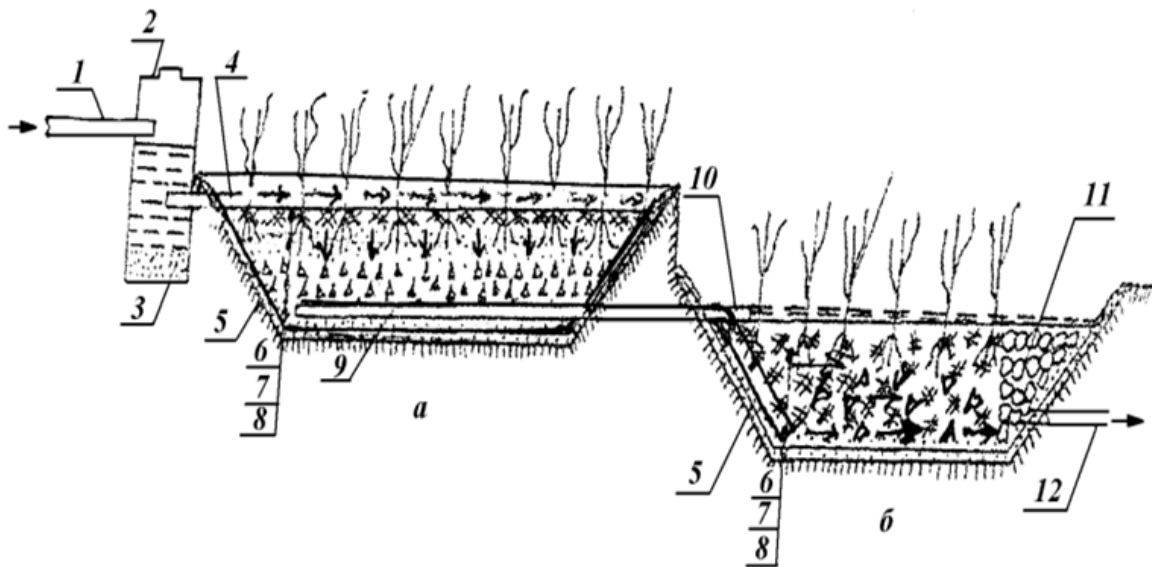


Рис.3.3. Очисні споруди типу затоплений біофільтр:

а – поверхневий мочар; б – інфільтраційний мочар; 1 – подача води на очищення; 2 – відстійник; 3 – осад; 4 – розподільний трубопровід; 5 – протифільтраційний екран; 6 – рослинний ґрунт; 7 – пісок; 8 – щебінь; 9 – дренаж; 10 – вища водна рослинність; 11 – кам'яний накид; 12 – очищена

вода

Для оптимізації роботи затопленого біофільтра запропонована розподільна система трубопроводів, які знаходяться на дніщі конструкції (рис.3.4.). Розподільна система – це система трубопроводів, з великою кількістю отворів, яка засипається шаром гравію крупної фракції.

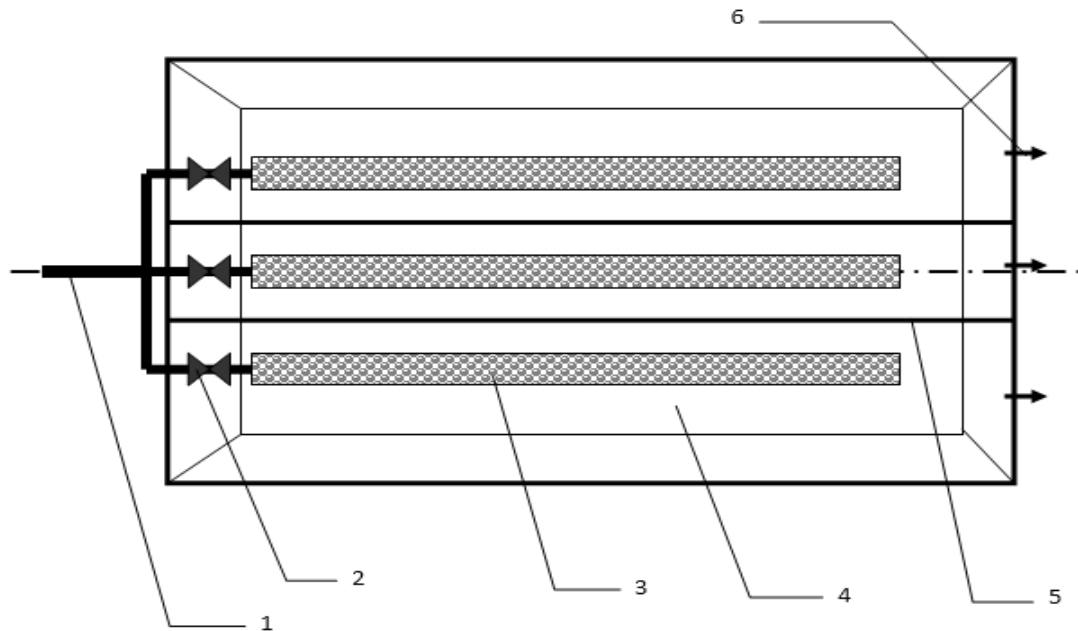


Рис.3.4. Схема розподільної системи затопленого біофільтра.

1 – подаючий трубопровід; 2 – засувки; 3 – дірчастий трубопровід (жолоб);
4 – днище секції; 5 – секційні перегородки між секціями; 6 – відвідні лотки.

Лабораторна установка для очищення стічних вод складається з робочої ємності (1), приймального резервуара (2) об'ємом 20 л, напірного бака (3), мікрокомпресора (4) та з'єднувальних трубопроводів. Вода в напірний бак закачується ерліфтною установкою за допомогою компресора (рис.3.5). Модельний розчин (молочнокислий розчин певної концентрації) подається у приймальний резервуар, який відіграє роль змішувача й усереднювача. З приймального резервуара ерліфтною установкою розчин подається в напірний бак, звідки трубопроводом – в першу камеру робочої ємності. Ця камера виконує роль біофільтра, завантаженням якого є подрібнений керамзит.

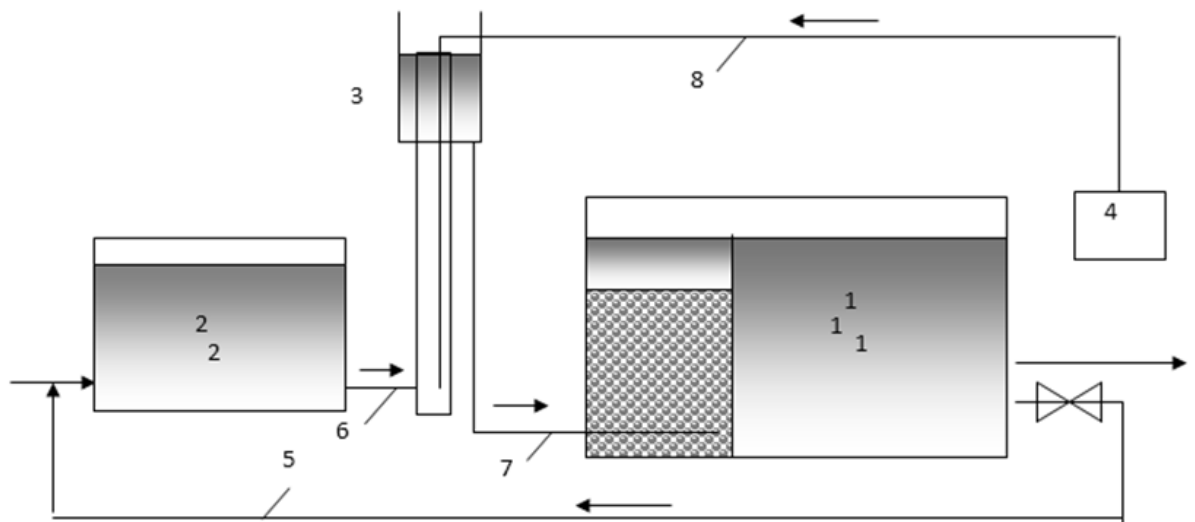
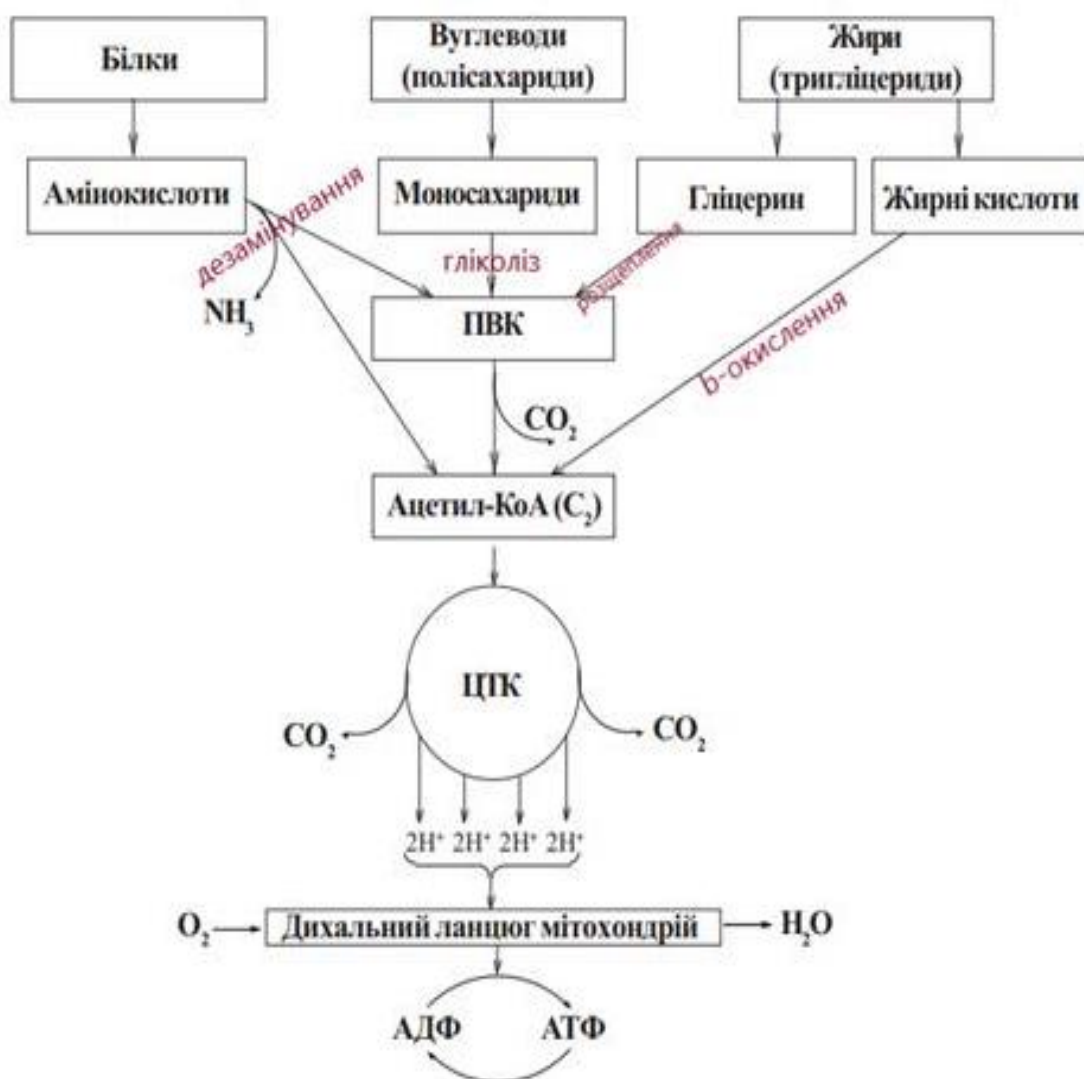


Рис. 3.5. Схема установки для біологічного очищення стічних вод:
 1 - модель споруди біологічного доочищення; 2 - приймальний резервуар стічних вод; 3 - напірний бак; 4 - мікрокомпресор; 5 - трубопровід рециркуляційної води; 6 - подача води для насичення її повітрям; 7 - подача модельного розчину; 8 - повітропровід.

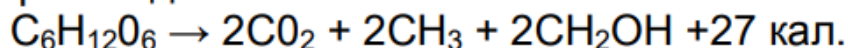
3.3. Катаболічні процеси перетворення органічних залишків стічної води в затопленому біофільтрі



3.6. Шляхи перетворення основних компонентів органічних відходів у затопленому біофільтрі

Як показано на рисурку 3.6, органічні відходи (білки, вуглеводи, в основному дисахариди та ліпіди) переробки молочної сировини, які надійшли стічні води можуть перетворюватися до вуглекислого газу та води (аеробне перетворення), а також до біогазу (анаеробне перетворення), з виділенням відповідної кількості тепла. Хімізм зазначених шляхів перетворення наведений нижче:

1 Анаеробне розкладання:



2 Аеробне розкладання:

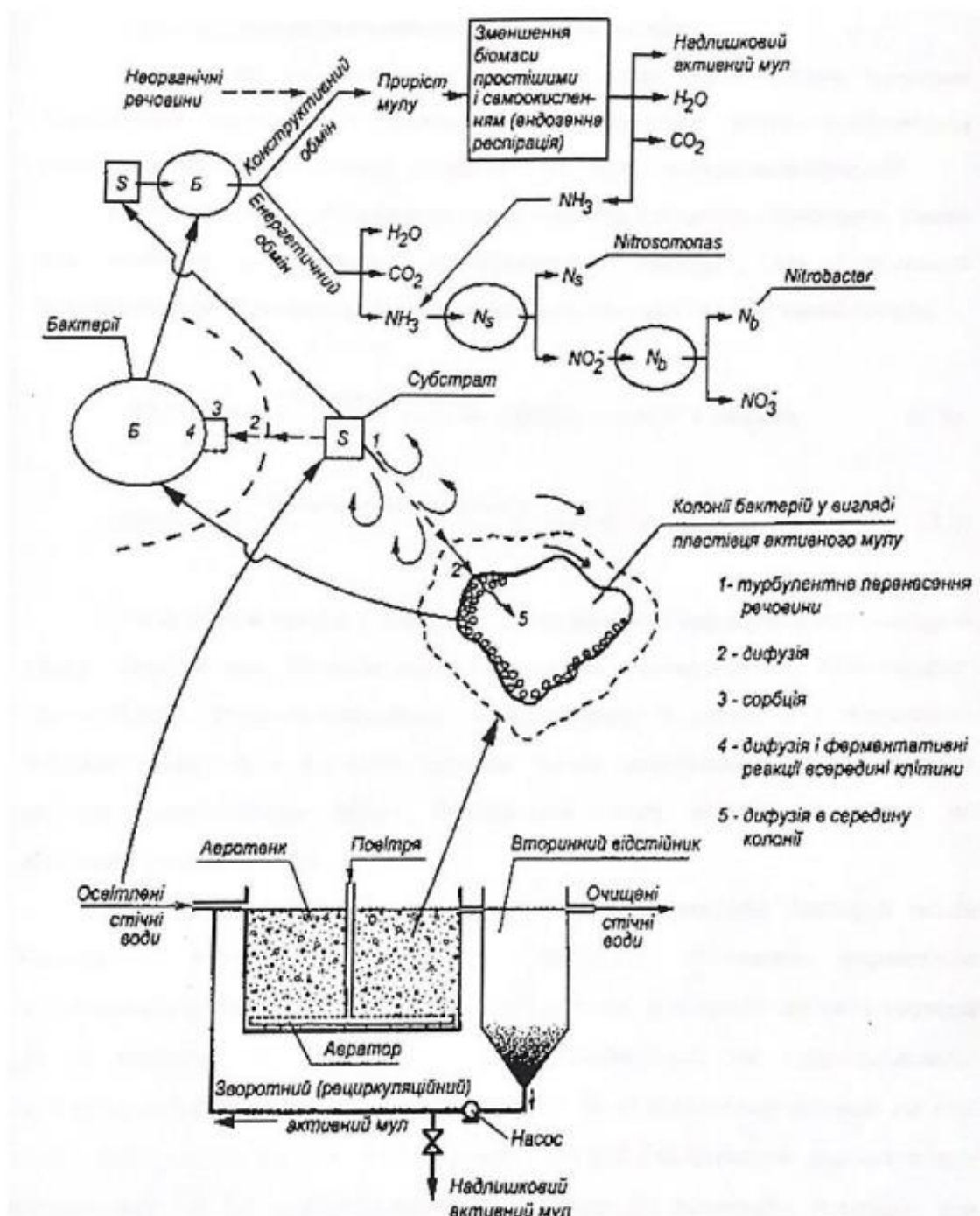
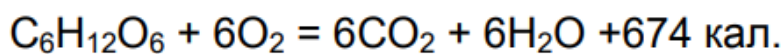


Рис. 3.7. Метаболічні процеси, які відбуваються в аеротенку за аеробних умов [45]

За аеробних умов, побічні органічні речовини, що утворилися в процесі переробки молочної сировини, під дією ферментів мікроорганізмів утилізуються з утворенням біомаси мікроорганізмів, які є наступною ланкою трофічного ланцюга та вуглекислого газу. Очищення стоків може проходити також й за анаеробного зброджування (рис. 3.8-3.9).



Рис. 3.8. Схема мікробного бродіння за анаеробних умов

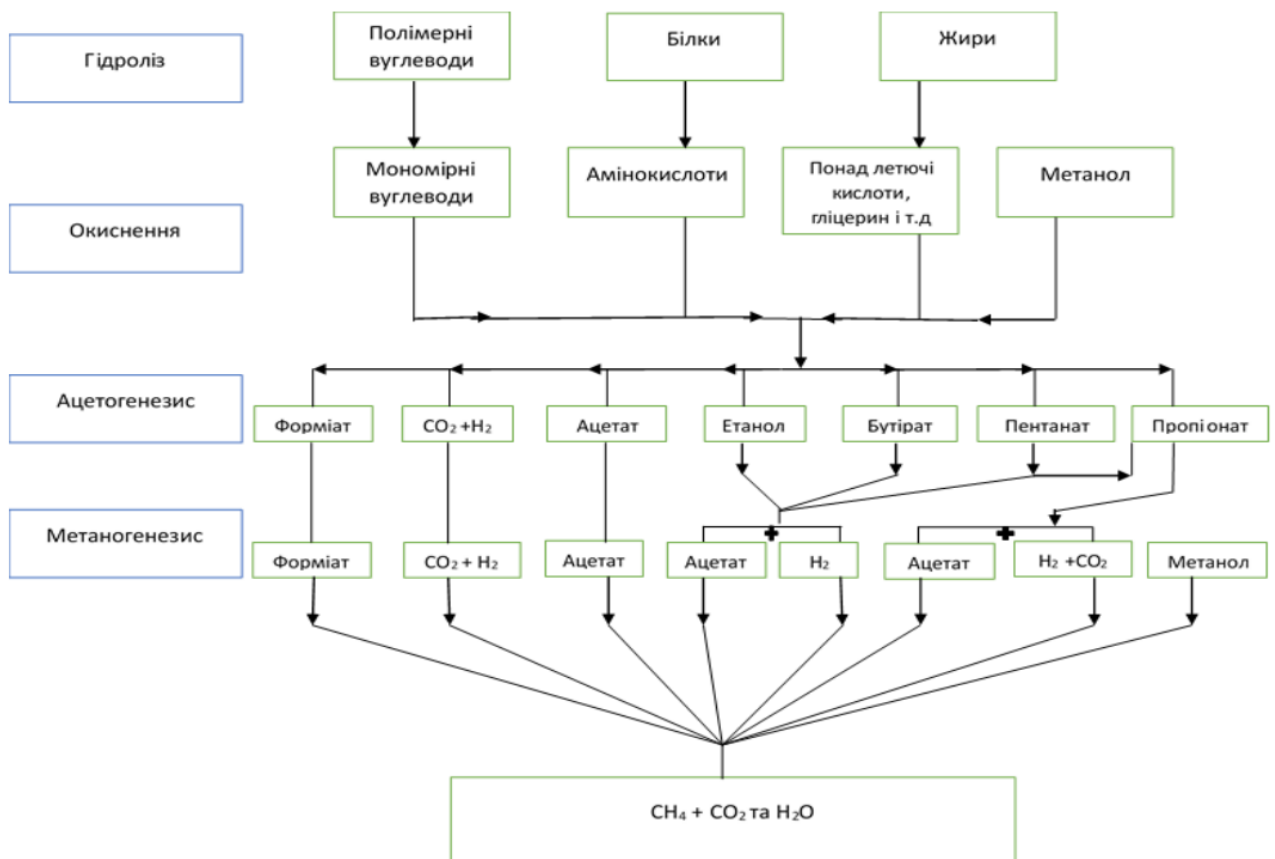
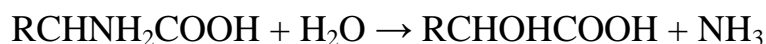


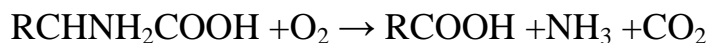
Рис. 3.9. Метаболічні процеси, які відбуваються в затопленому біофільтрі за анаеробних умов [45-46]

Основні класи органічних речовин стічних вод як в анаеробних, так й аеробних умовах піддаються наступним перетворенням:

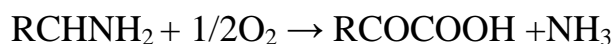
- гідролітичне дезамінування (анаеробні та аеробні умови);



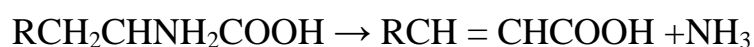
- окислювальне дезамінування (аеробні умови);



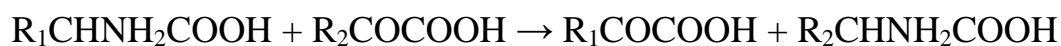
- одержання кетокислот (аеробні умови);



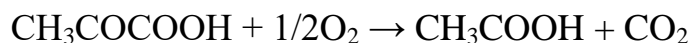
- одержання ненасичених жирних кислоти (анаеробні умови);



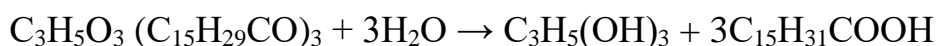
- переамінування амінокислот (анаеробні умови);



- перетворення кетокислот у карбонові кислоти (на прикладі одержання ацетатної кислоти (аеробні умови);



- гідроліз ліпідів ліпазами мікроорганізмів до гліцеролу та високомолекулярних жирних кислот, на прикладі гідролізу триацилпальмітину;



Одержані метаболіти піддаються подальшим перетворенням в анаеробних чи аеробних умовах згідно наведених схем (рис. 3.7-3.9) [41].

В анаеробних умовах, як зазначено на рис.3.9, органічна складова стічної води в процесі переробки молочної сировини перетворюється на біогаз. Біогаз – кінцевий продукт анаеробної ферментації, до складу якого входять: метан 60-70%, вуглекислий газ та незначна кількість, залежно від компонентів субстрату, амоніаку і сірководню. Одержаний біогаз можна використовувати як додаткове енергетичне для опалення чи інших потреб.

Зазвичай анаеробну ферментацію проводять у метанотенках – герметичних спорудах різної будови та конструкцій залежно від субстрату, на якому здійснюють культивування анаеробних популяцій мікроорганізмів.

Метаболічні процеси перетворення основних компонентів вуглецьвмісної сировини (білків, жирів та вуглеводів), які відбуваються в затопленому біофільтрі за анаеробних умов проходять у наступних стадіях: гідролізу, окиснення, ацетогенезу та метаногенезу, рис. 3.9. Схема принципу роботи біогазової установки для анаеробної ферментації стічних вод підприємств харчової промисловості наведена на рис. 3.10 [34, 35]:

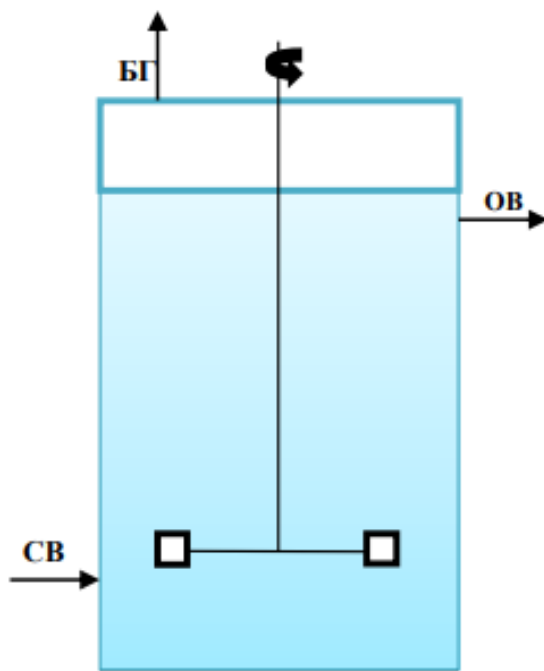


Рис. 3.10. Схема принципу роботи біогазової установки для анаеробної ферментації стічних вод

Детальний аналіз літературних джерел [31, 36] показав переваги та недоліки анаеробного та аеробного типів біологічного очищення стічних вод підприємств харчової промисловості, а саме переробки молочної сировини [36] (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Переваги та недоліки анаеробного та аеробного типів біологічного очищення стічних вод [36].

Аеробна очистка стічних вод	Анаеробна очистка стічних вод
Умови використання	

<ul style="list-style-type: none"> - тільки після попереднього відстоювання (освітлення); - застосовується при невисоких концентраціях забруднення стічних вод; - використання холодної води; - надходження токсичних речовин на очисні споруди умовно дозволено; - потрібна попередня нейтралізація для лужної стічної води 	<ul style="list-style-type: none"> - можна застосовувати без попереднього відстоювання (освітлення); - застосовується тільки при високо концентрованих забрудненнях стічних вод; - використання відносно теплої води (>25°); - заборонено надходження токсичних речовин на очисні споруди; - лужну стічну воду оброблюють без попередньої нейтралізації.
---	--

Особливості експлуатації очисних споруд

<ul style="list-style-type: none"> - необхідна безперервна подача стічної води на очисні споруди; - для отримання необхідних значень ГДК використовують декілька ступенів очищення; - спостерігається зниження вмісту N та P в стічній воді; - утворюється велика кількість надлишкового активного мулу; - є небезпека засмічення носіїв біомаси; - невелика об'ємна продуктивність очисних споруд; - потреба у великих виробничих площах; - вимагають неохідності технічного обслуговування систем аерації, 	<ul style="list-style-type: none"> - існують деякий час без надходження «свіжої» стічної води; - при вимогах до якості стічних вод потрібна аеробна ступінь доочищення; - не спостерігається значне зниження вмісту у воді N та P; - утворюється дуже мала кількість надлишкового активного мулу; - небезпеки швидкого засмічення носіїв біомаси немає; - висока об'ємна продуктивність; - потреба в малих виробничих площах; - майже не вимагають технічного обслуговування; - запах відсутній
--	--

устаткування зневоднення тощо; - сильний неприємний запах	
Відходи	
- проблема утилізації відходів	- отримання енергетично цінного біогазу
Затрати	
- менші інвестиційні витрати; - високі експлуатаційні витрати; - велика потреба в електроенергії (аерація води); - потреба у внесенні поживних речовин; - зневоднення, транспортування та розміщення активного мулу.	- значні інвестиційні витрати; - нижчі експлуатаційні витрати; - невелика потреба в електроенергії; - введення додаткових поживних речовин не потрібне; - невелика кількість надлишкового активного мулу; - рентабельно при відносно великих розмірах.
Узагальнений висновок	
<p>- Анаеробний метод очистки стічних вод менш затратний порівняно з аеробним методом очистки стічних вод. Можна значно скоротити затрати на технічне обслуговування установки, на утилізацію відпрацьованого активного мулу завдяки його незначній кількості.</p> <p>- Для промислових стічних вод анаеробне очищення є найбільш ефективним, бо вони містять високі концентрації забруднень у стічних водах.</p> <p>- Анаеробні біофільтри стійкі до залпових викидів стічної води, а також зберігають свою працездатність при тривалій відсутності надходження свіжого субстрату, що характерно для циклічного виробництва.</p> <p>- Анаеробна очистка стічних вод є більш екологічною, так як використовуються закриті ємності, що дає змогу знизити викиди шкідливих речовин в атмосферу.</p> <p>- Недоліком анаеробної очистки стічних вод є низька продуктивність за вилученим ХСК порівняно з аеробною очисткою.</p>	

- Анаеробні методи очистки стічних вод не дозволяють видалити сполуки азоту та фосфору [36].

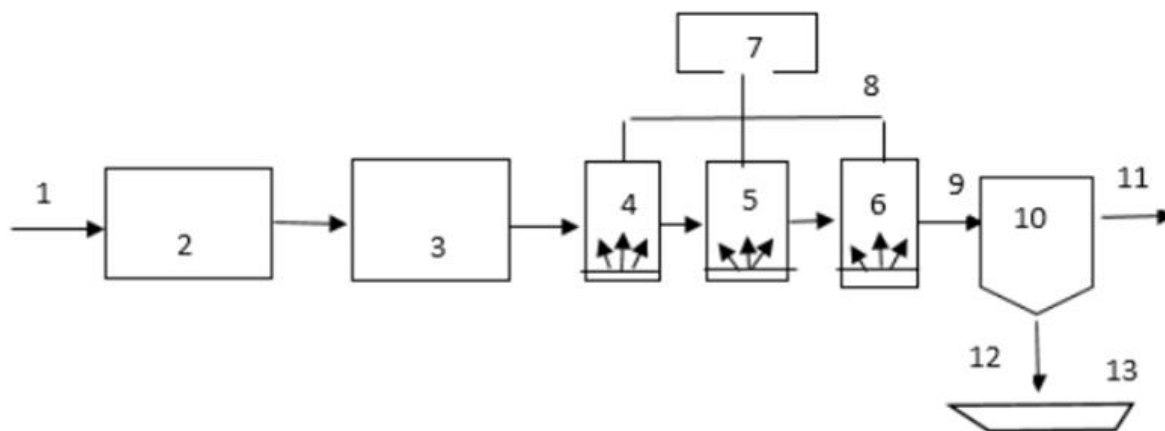


Рис. 3.11. Технологія багатоступеневого анаеробно-аеробного очищення висококонцентрованих стічних вод

1 - подача стічних вод; 2,3 - анаеробні біореактори відповідно I і II ступенів; 4,5 - аноксидні біореактори відповідно I і II ступенів; 6 – аеробний біореактор; 7 - повітродувна станція; 8 – повітропроводи; 9 - відведення стічних вод з аеробного біореактора; 8 - волокнистий носій; 9 - циркуляційний насос; 10 – вторинний відстійник; 11 - трубопровід відведення очищеної води; 12 – відведення осаду; 13 – мулові майданчики.

Враховуючи переваги та недоліки як аеробного так й анаеробного методів очищення висококонцентрованих стічних вод молокозаводів, запропонована багатоступенева анаеробно-аеробна система біологічного очищення стічних вод (рис. 3.11).

3.3.1. Видовий склад біоценозу затопленого біофільтра

У лабораторних умовах проводили дослідження зразків нижньої та верхньої частини біофільтра щодо видового складу гідробіонтів. Результати видового складу гідробіонтів наведені на рис. 3.12-3.13.

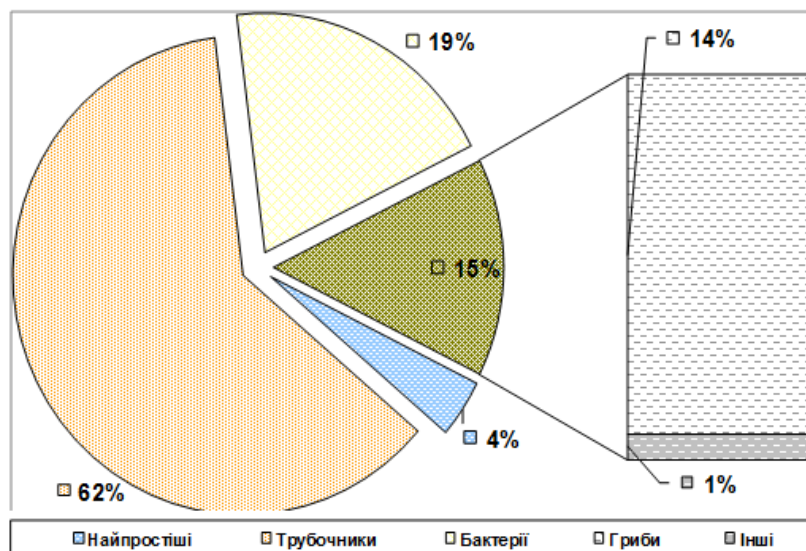


Рис. 3.12. Видовий склад популяцій гідробіонтів, які заселяють нижній шар біофільтра

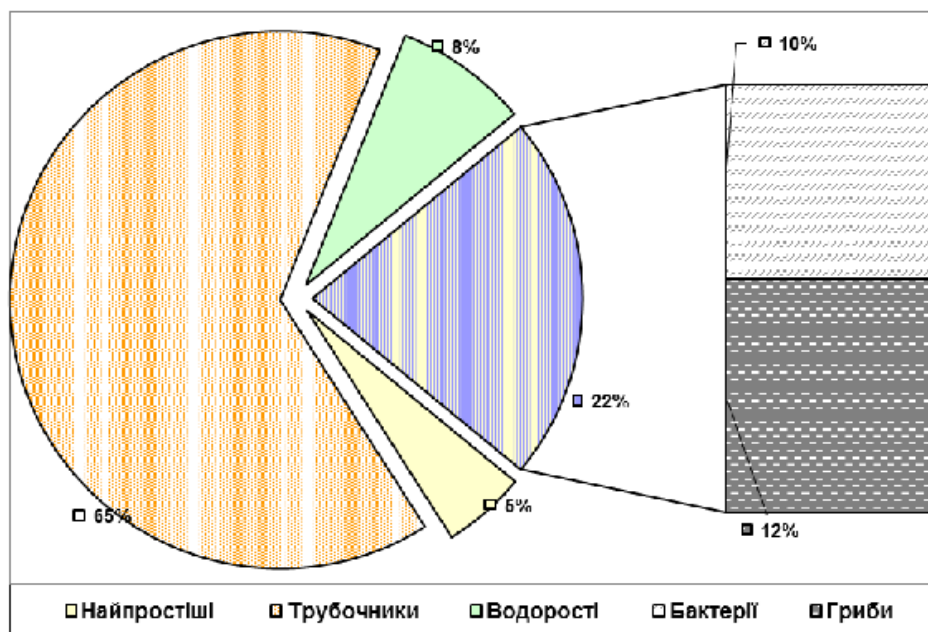


Рис. 3.13. Видовий склад популяцій гідробіонтів, які заселяють верхній шар біофільтра

Як видно із наведених рисунків вище, в аквакультурі як у нижньому, так й верхньому шарах переважають трубочники (відповідно 62-65%) та бактерії (відповідно 18-22%). Популяція мікроскопічних грибів у нижньому шарі біофільтра є досить представлена (до 15%), однак їх вміст у верхньому шарі майже був відсутній. Що стосується найпростіших, то їх кількість по всьому затопленому біофільтрі була приблизно однакова. У верхньому шарі біофільтра зростає до 8% кількість водоростей.

Кількісний та якісний склад аквакультури затопленого біофільтра наведена в табл. 3.3.

Таблиця 3.3.

Кількісний та якісний склад гідробіонтів затопленого біофільтра

Представник	Основні представники	Масова частка, %	Місце концентрування Організмів
Бактерії	<i>Leuconostoc, Bacterium, Pseudomonas, Bacillus, Streptococcus</i>	10-20	Поверхня керамзиту, Мул
Гриби	<i>Leptomitius lacteus, Fusarium</i>	10-15	Поверхня керамзиту, стінки
Водорості	<i>Oscillatoria, Spirogyra</i>	1-4	Поверхня керамзиту, стінки
Найпростіші	<i>Katablepharis, Amoebida, Vorticella, Paramecium</i>	4-6	Поверхня керамзиту, мул
Ракоподібні	<i>Cyclops</i>	до 1	Шар води над завантаженням
Безхребетні	<i>Tubifex tubifex</i>	20-80	Товща завантаження

3.4. Дослідження процесу очищення стічних вод маслозаводу на експериментальному затопленому фільтрі

Стічні води молокозаводу утворюються в результаті миття технологічного обладнання цехів, мийки автоцистерн та використання води на господарсько-побутові потреби. Також в каналізацію потрапляє частина води із градирні. Кількісні та якісні показники стічних вод коливаються як по окремим годинам доби, так і по сезонах року, що пояснюється значним зростанням об'ємів виробництва (особливо – казеїну) влітку та зниженням їх в зимовий період. Для збору стічних вод на території підприємства побудовано септик, із якого стоки вивозяться на очищення.

З метою дослідження активності окиснення залишкових карбонвмісних речовин, які утворюються в процесі технологій переробки молока у модельний затоплений біофільтр вносили розчини, які імітували забрудненні стічні води маслозаводу (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Якісний та кількісний склад досліджуваних розчинів

Найменування	Концентрація забруднень (по кислому молоку), мг/л	Оптична густина, %	pH	БСК ₅ , мг/л	Концентрація завислих речовин, мг/л
Розчин 1	800-1200	26-34	6,8-7,1	160-280	200-350
Розчин 2	1500-1700	47-60	6,4-7,0	320-400	400-500
Розчин 3	2000-2400	68-93	6,2-7,3	520-670	600-800

Залежно від співвідношення досліджуваних розчинів змінюється також співвідношення концентрації БСК₅ та завислих речовин, загалом, приготовлені нами розчини, відповідають за своїм складом стічним водам молокопереробних підприємств. Основними компонентами забруднення стічних вод є води, що використовуються для промивки апаратурного

обладнання, холодильників та автоцистерн доставки молока. Щоб фізико-хімічних показників стічних вод відповідали нормативним показникам щодо скиду їх у природні водойми необхідно провести біологічного очищення на затопленому біофільтрі за схемою (рис. 3.14).

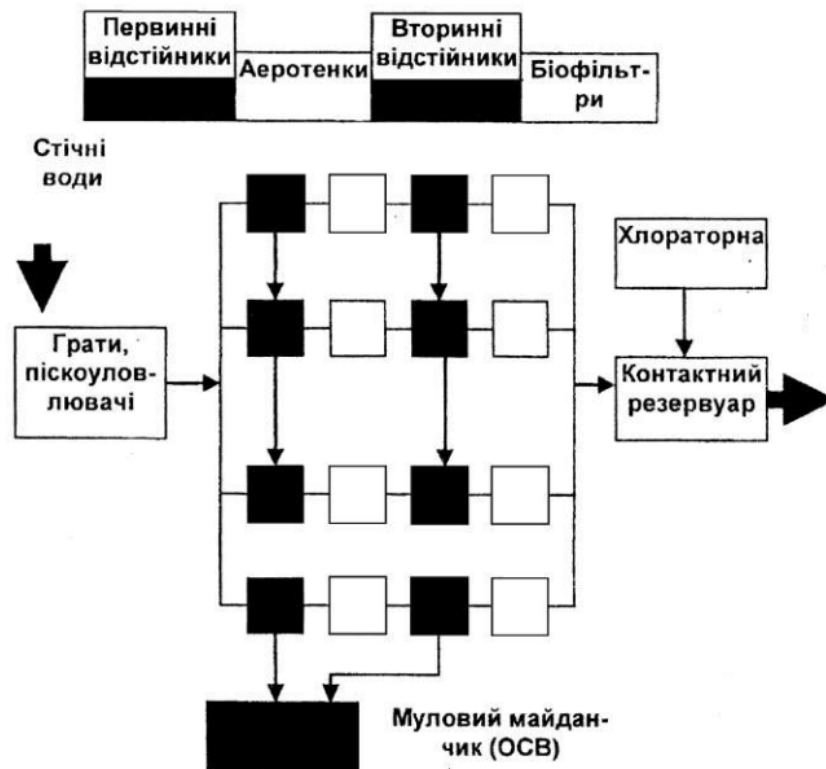


Рис. 3.14. Повне біологічне очищення стоків у біофільтрі

Дотримуючись всіх вимог технологічного процесу повного біологічного очищення стічних вод молокопереробних підприємств у біофільтрі можна забезпечити якість стічних вод, які скидаються у водовідвідну систему на рівні регламентованих екологічною інспекцією показників (табл. 3.5).

Повне біологічне очищення стічних вод у затопленому біофільтрі та дотримання, запропонованих нами, оптимальних технологічних параметрів процесу:

- тривалість попередньої аерації стічних вод – 8-10 годин;
- гідравлічне навантаження на споруду – $2,0-2,2 \text{ м}^3/(\text{м}^2/\text{доб})$;
- питома маса трубочників у фільтруючому завантаженні – $6-8 \text{ кг/м}^2$.

Таблиця 3.5.

Основні якісні та кількісні показники стічних вод, за якими ведуться спостереження на ВАТ «Жидачівський маслосирзавод»

Показник	Одиниці виміру	Мах значення	Мін значення	Середнє значення
Температура	°С	27	18	24
БСК ₅	мг/л	825	425	780
БСК _{повн}	мг/л	1150	580	1050
ХСК	мг/л	2400	850	1950
Амонійний азот	мг/л	50	15	26
Сухий залишок	мг/л	5000	1200	2800
ЗР	мг/л	1100	400	800
рН	-----	8,4	5,1	6,3

Забезпечить якість скидання стічних вод даного підприємства у водовідвідну систему на рівні регламентованих державою норм (табл.3.6 та рис.3.15).

Таблиця 3.6

Динаміка очищення стічних вод ВАТ «Жидачівський маслосирзавод» на лабораторній моделі затопленого біофільтра

Показник	Неочищена стічна вода	Після попередньої аерації	Після лабораторної установки	Ефект очищення (загальний), %
рН, од	6,2	6,7	6,9	-
ЗР, мг/л	780	825	130	83
ХСК, мг/л	1860	1500	180	90
БСК ₅ , мг/л	820	580	45	94
БСК _{повн} , мг/л	960	800	90	91
N _{ам} , мг/л	23	7	0,5	98

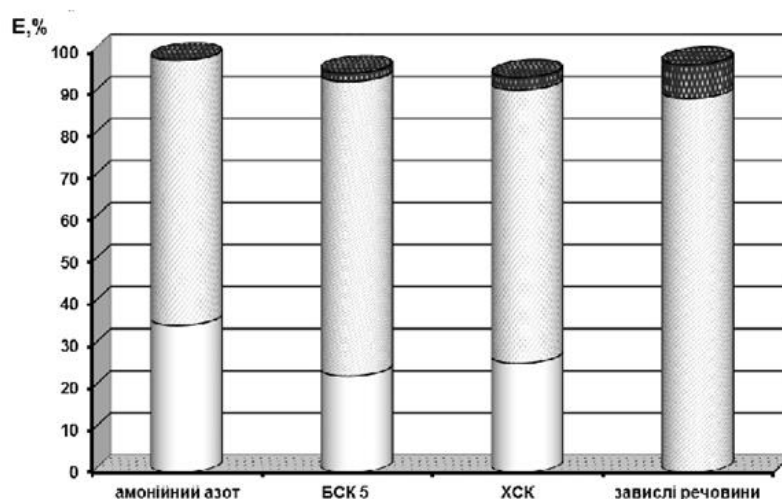


Рис. 3.15. Ефективність очищення стічних вод молокозаводу за основними показниками

Як видно із табл. 3.6 і рис. 3.15 за дотриманням запропонованих технологічних параметрів та за умови повного біологічного очищення стічних вод у затопленому біофільтрі можна досягти від 83 до 98% ефективності очищення стічних вод.

Важливе значення для окиснювальних процесів та гідравлічного навантаження в затопленому біофільтрі має значення температурного режиму його експлуатації (табл. 3.7). Як видно із наведеної таблиці температурний режим повітря суттєво впливає на окиснювальну спроможність затопленого фільтра, його окиснювальний потенціал прямопропорційно залежить від коливань температури повітря.

Таблиця 3.7

Вплив температурного режиму експлуатації затопленого фільтра на окиснювальні процеси

Середньорічна температура повітря, °С	Окислювальна потужність, $\Gamma_{\text{БПК}}/\text{м}^3 \cdot \text{доб}$	Гідравлічне навантаження, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{доб}$	
		БПК ₂₀ <200мг/л	БПК ₂₀ >200мг/л
До 6	150	0,75	0,50
6...10	250	1,25	0,83
>10	300	1,50	1,00

З метою попередження виходу із затопленого біофільтра разом з очищеною частиною стічних вод завислих речовин рекомендовано використовувати відстійник. Слід зазначити, що для більш ефективного доочищення стічних вод необхідно використовувати біоставки із різними видами гідробіонтів і вищої водної рослинності (рис.3.16).

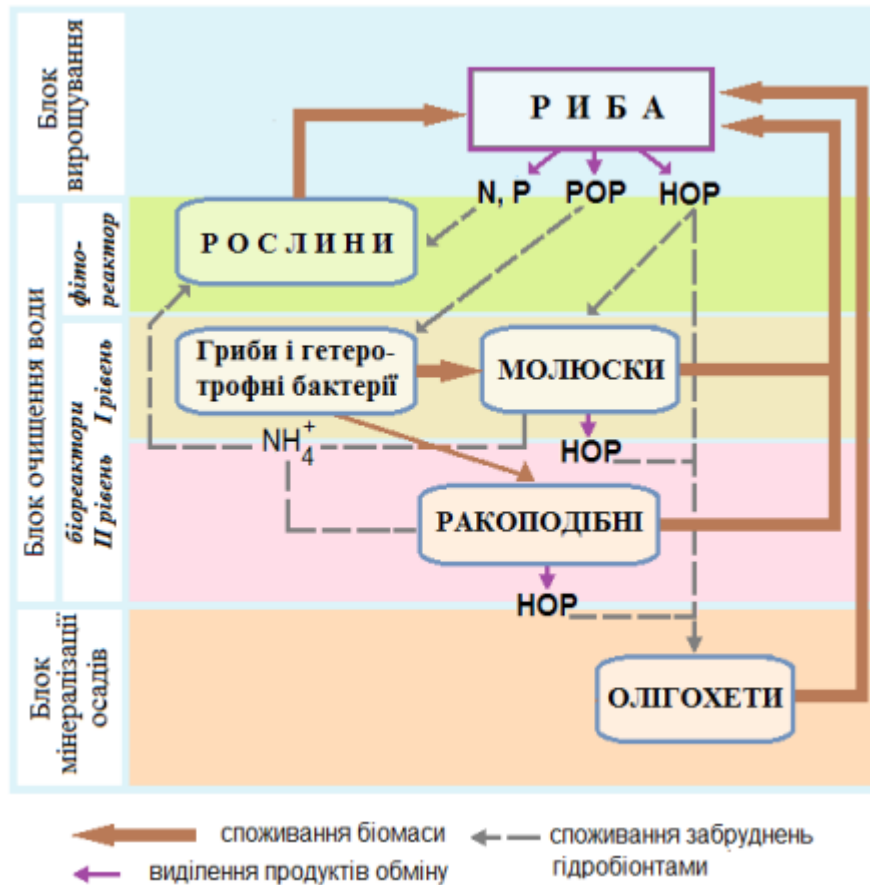


Рис. 3.16. Біоценоз біоставка.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. На основі літературних даних та інших доступних джерел проведений аналіз щодо застосування сучасних технологій з біологічного очищення висококонцентрованих стічних вод харчової промисловості.

За активністю окиснення органічних речовин та відношенням БПК_{повн}/ХПК у стічних водах молокопереробних підприємств обґрунтована доцільність використовувати біологічні методи їх очищення.

2. Розглянуто нормативні документи щодо вимог до сировини та матеріалів, системи контролю очищення стічних вод підприємствами харчової промисловості.

3. Подані технологічні схеми, апаратурне забезпечення та конструкції очисних споруд молокозаводів. Описані катаболічні процеси перетворення органічних залишків карбонвмісних речовин стічної води в затопленому біофільтрі.

4. Повне біологічне очищення стічних вод у затопленому біофільтрі відбувається за дотриманням технологічних параметрів (тривалість попередньої аерації – 8-10 годин; гідравлічне навантаження – 2,0-2,2 м³/(м²/доб); питома маса трубочників у фільтруючому шарі – 6-8 кг/м²).

5. В аквакультурі затопленого біофільтра переважають трубочники (65%) та бактерії (22%), популяція мікроскопічних грибів складає (15%), Що стосується найпростіших, їх кількість була на рівні 5%, а водоростів – на рівні 8%.

6. Для більш ефективного доочищення стічних вод необхідно використовувати біоставки із різними видами гідробіонтів у тому числі іхтіофауни та вищої водної рослинності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шаманський С. Й., Бойченко С. В. Екологічно безпечна технологія водовідведення. Екогеофорум 2017. Актуальні проблеми та інновації. Міжнародна науково-практична конференція, 22–25 березня: тези доп., Івано-Франківськ, 2017. С. 154–156
2. Савицька В. Актуальні проблеми розвитку ринку молока і молочних продуктів // Економіка АПК, 2012. № 11. С. 102–138.
3. Правила технічної експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених пунктів України. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 21 липня 1995 р. за № 231/767. Із змінами, внесеними згідно з Наказом Державного комітету з питань житлово-комунального господарства № 2 від 04.01.2005 Наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства № 191 від 27.06.2008 Наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства № 302 від 27.11.2015.
4. Локальне очищення стічних вод молокозаводів / О.І. Семенова, Л.Р. Решетняк, Н.О. Бублієнко, Т.Л. Ткаченко // Новітні досягнення біотехнології: II Міжнар. наук.-прак. конф., 24 – 25 жовтня 2013 р. К.: НАУ, 2013. С. 127-128.
5. Олійник О. Я., Айрапетян Т. С. Теорія і розрахунки біологічної очистки стічних вод в аеротенках зі зваженим (вільноплаваючим) і закріпленим на додаткових пристроях біоценозом. Прикладна гідромеханіка. 2015. Т. 17, N 3. С. 35–43.
6. Айрапетян Т. С., Телима С. В., Олійник О. Я. Моделювання кисневого режиму в біореакторах-аеротенках при очистці стічних вод від органічних забруднень. Доповіді НАН України. 2017. № 6. С. 21–27.
7. Савчук Л. В. Шляхи зменшення негативного впливу стічних вод пивзаводів на довкілля / Л. В. Савчук, О. Г. Курилець, Р. Р. Оленич // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Хімія, технологія

речовин та їх застосування. 2014. № 787. С. 95-99. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPX_2014_787_20.

8. Петрушка М. Перспективи застосування комплексних сорбентів на основі природних мінералів / М. Петрушка, О.Д. Тарасович, Г.Я. Гребеняк // Матеріали I Міжнародної науковопрактичної конференції “Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства”, Львів: ЛДУ БЖД, 2012. 385 с.

9. Станції очищення стічних вод. Частина 4. Первинне відстоювання (EN 12255 - 4:2002, IDT): ДСТУ EN 12255 - 4: 2008. [Введ. 2010.01.01]. К.: Держспоживстандарт України, 2008. (Національний стандарт України).

10. Красінько В. О. Шляхи інтенсифікації очищення стічних вод харчових виробництв від азотовмісних сполук та сапонінів / [Красінько В. О., Тетеріна С. М., Скокун Т. М.] // Економіка. Екологія. Управління: зб. наук. пр., 2012. № 1. С. 157–162.

11. Апостолюк С.О. Екологічна безпека стану питної води в Україні / С.О. Апостолюк // Промислова екологія. 2013. №1. С. 14-15.

12. Бойченко С. В., Шаманський С. Й., Ільченко А. Я. Техніко-економічне порівняння методів попередньої обробки осадів стічних вод перед анаеробним зброджуванням. Наукоємні технології. 2016. № 4(32). С. 415–419.

13. Пилипенко О. Розвиток харчової промисловості України. Наукові праці НУХТ. 2017. Т. 23. № 3. С. 15–25

14. Пашков А. Проблеми забруднення поверхневих, підземних і стічних вод та заходи щодо їх ліквідації і запобігання в Україні. Безпека життєдіяльності. 2011. № 4. С. 10–16.

15. Весельська М., Бовсуновська М. Вода в харчовій промисловості. Збірник матеріалів VI Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Одеса, 2015. С. 51–52.

16. Милянник О.В. Екологічно безпечне адсорбційне очищення промислових стоків від іонів купруму та хрому: дис. канд. техн. наук: 21.06.01/Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2018, 167с.

17. Штепа В. Обґрунтування алгоритму експериментально аналітичних досліджень режимів електротехнічної очистки стічних вод агропромислових об'єктів з метою побудови енергоефективних систем управління. Енергетика і автоматика. 2014. № 2. С. 62–71.

18. Лемеш М. В., Біляєв М. М., Татарко Л. Г., Якубовська З. М. Моделювання біологічного очищення стічних вод на базі камерних моделей. Наука та прогрес транспорту. 2020. № 3 (87). С. 16–24.

19. Саблій Л.А. Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод: Монографія / Л. А. Саблій. Рівне: НУВГП, 2013. 292 с.

20. Іванько О., Бідненко Л. Сучасні методи знезараження стічних вод (огляд літератури), 2018. С. 137–150.

21. A review on anaerobic biofilm reactors for the treatment of dairy industry wastewater / D.Karadag, O. Köroğlu, V. Ozkaya, M. Sakmakci. 2014.

22. Автоматизація виробничих процесів: навч. посібник / Фединець В.О., Васильківський І.С., Николин Г.А. Львів: СПОЛОМ, 2023. 192 с.

23. Горобець О. М. Удосконалення технології вирбів з дріжджового тіста з використанням хеномелесу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.18.16 "технологія харчових продуктів" / Горобець Олександра Михайлівна. Одеса, 2017. 24 с.

24. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. <https://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p>.

25. Peng L, Liu Y, Gao SH, Chen X, Ni BJ. Evaluating simultaneous chromate and nitrate reduction during microbial denitrification processes. Water

Res. 2016 Feb 1;89:1-8. doi: 10.1016/j.watres.2015.11.031. Epub 2015 Dec 2.
PubMed PMID: 26619398.

26. Покуль О.В. Інфраструктурно-інституційне забезпечення раціонального використання водних ресурсів підприємствами України. Дис. ... канд. екон. Наук. Рівне, 2017. 186 с.

27. Жукова В.С., Саблій Л.А. Вплив розміщення системи аерації на ефективність очищення стічних вод у біореакторах // *Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. пр.* К., 2013. Вип. 12. С. 83-88.

28. <http://www.eco-live.com.ua/content/blogs/sposobi-utilizatsii-upakovki>

29. <https://studfiles.net/preview/2504722/page:2/>

30. Фізико-хімічні та біологічні методи очистки стічних вод: навчальний посібник / С. М. Епоян, Р. І. Назарова, Л. П. Снагощенко, Ю. М. Данченко, В. А. Андронов, Т. М. Обіженко. Харків: Вид. «Міськдрук», 2012. 452 с.

31. Солодовнік, Т.В. Фізична та колоїдна хімія: Лабораторний практикум [Електронний ресурс] / Т.В. Солодовнік; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси: ЧДТУ, 2014. 115 с

32. Бернацька Н.Л. Встановлення оптимальних умов проведення процесу очищення води за допомогою ультразвуку / Н.Л. Бернацька // *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 2015. 4 (10) С. 8-13

33. Клименко І. В. Нове конструкційне рішення проблеми удосконалення апаратів біологічного очищення стічних вод / І. В. Клименко, А. В. Іванченко, М. Д. Волошин // *Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті*, 2016. № 1. С. 66–71.

34. Садова Ю. М. Отримання біогазу шляхом інтенсифікації біологічного очищення стічних вод // *Екологічна безпека*, 2012. №1. С. 174-177.

35. Ткаченко Т. Л., Семенова О.І., Бублієнко Н.О., Ничик О.В. Оптимізація процесу біохімічного очищення стічних вод молокозаводів. *Екологія та промисловість*, Київ. 2012. №1. С. 53-58.

36. Хільчевський В. К., Забокрицька М. Р., Кравчинський Р. Л. Основні засади управління якістю водних ресурсів та їхня охорона: Навчальний посібник. К.: ПВЦ «Київський університет», 2015. 154 с.

37. Вижевська Т.В. Технологія багатоступеневого біологічного очищення стічних вод. // Водопостачання і водовідведення. К., 2012. Вип.1. С.64-67.

38. Вижевська Т.В., Дем'янюк О.Б., Дем'янюк К.О. Досвід впровадження багатоступеневої технології біологічного очищення стічних вод // Вісник НУВГП. Зб. наук.праць. Вип. 1(69). Технічні науки. Рівне, 2015. С. 92-101.

39. Іванченко А. В. Очистка стічних вод від неорганічних фосфатів сорбентами / А. В. Іванченко, О. Р. Очеретнюк, М. Д. Волошин // *Вопросы химии и химической технологии*. 2009. №4. С. 180–182.

40. Патент України на винахід № 97747, МПК C02F 3/02. Спосіб аеробного біологічного очищення стічних вод / Гвоздяк П.І., Глоба Л.І., Саблій Л.А., та ін. – № а 2010 14394; заявл. 01.12.10, опубл. 12.03.12, Бюл. № 5.

41. Потіш А. Ф., Медвідь А. Г. Екологія: теоретичні основи і практикум: навч. пос. для студ. вузів. Львів: Магнолія, 2006, 2008. – 324 с.

42. Шкінь О.М. Технічні проблеми при дотриманні законодавчих вимог. Екологічні аспекти водовідведення // IWAS-Міжнар. конф. «Українсько-Німецьке партнерство у галузі водного господарства – завдання для науки і практики». 15-16.12.2008 р., Івано-Франківськ. 35 с.

43. Якість води. Відбирання проб. Частина 10. Настанови щодо відбирання проб стічних вод (ISO 5667-10:1992, IDT): ДСТУ ISO 5667-10:2005. [Введ. 2007.01.01]. К.: Держспоживстандарт України, 2005. 8 с. (Національний стандарт України)

44. Патент України на винахід № 94856, МПК C02F 3/30. Спосіб біологічного очищення стічних вод / Гвоздяк П.І., Кузьмінський Є.В., Саблій

Л.А., Жукова В.С. – № а 2010 06126; заявл. 20.05.10, опубл. 10.06.11, Бюл. № 5.

45. Грицина О.О. Підвищення ефективності очищення стічних вод від сполук азоту в аеротенках // Водопостачання та водовідведення, 2012. № 1. С. 49-53.

46. Поліщук О.В. Денітрифікація міських стічних вод в коридорних аеротенках: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук: спец. 05.23.04 «Водопостачання, каналізація» – Київ, 2007.