

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: “Оптимізація технології біологічного очищення  
каналізаційних стічних вод”

Виконала: студентка 2\_\_ курсу, групи \_\_1\_\_  
спеціальності

162 «Біотехнологія та біоінженерія»

**Кіт І.Т.**

(прізвище та ініціали)

Керівник **д.вет.н., професор Музика В.П..**

(прізвище та ініціали)

Рецензент **доц. Періг Д.П.**

(прізвище та ініціали)

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

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

Василь БУЦЯК

Львів – 2023

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	3
ВСТУП	6
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	9
1.1. Розташування, історія встановлення та функціонування ЛМКП «Львівводоканал»	9
1.2. Методи біологічного очищення каналізаційних стічних вод	15
1.2.1. Характеристика аеробного методу очищення стічних каналізаційних вод	16
1.2.2. Характеристика анаеробного методу очищення стічних вод	23
1.2.3. Використання біотенків із іммобілізованою мікробною біомасою	25
РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	26
2.1. Матеріал та методи	26
2.2. Контроль якості каналізаційних стічних вод фізико-хімічними методами аналізу	29
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	35
3.1. Апаратурне забезпечення та опис основних ланок технологічного процесу	35
3.2. Дослідження вмісту органічних та мінеральних речовин у складі стічних вод	48
3.3. Перспективи використання гідробіонтів в технології очищення каналізаційних стічних вод	54
3.4. Розрахункові концентрації забруднень стічних каналізаційних вод м. Львова	58
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	61
ДОДАТКИ	66

## АНОТАЦІЯ

Робота написана на 69 сторінках комп'ютерного тексту. Складається із вступу, трьох розділів (огляду літератури, умов та методики проведення досліджень, результатів досліджень), висновків та пропозицій, списку використаної літератури та додатків. Містить 17 рисунків, 8 таблиць, 41 джерел використаної літератури.

**Ключові слова:** анаеробні та аеробні методи очищення, апаратне забезпечення, технологічна схема очищення каналізаційних стічних вод, біологічне та хімічне споживання кисню, біологічні об'єкти: мікроорганізми-деструктори, міксоміцети, іммобілізовані системи.

Споживання води для населенням, комунальних потреб та підприємствами різної форми власності щороку зростає. Тому назриває проблема дефіциту питної води. Щоб таку, важливу проблему, осунути необхідно запроваджувати безвідходні технології щодо використання водних ресурсів.

Одним із напрямків вирішення цієї проблеми є повторне використання водних ресурсів після очищення каналізаційних та стічних вод. Однак, таке, повторне використання стічних вод вимагає використання доскональних технологій їх очищення.

В умовах нашого експерименту, не було досягнуто очищення води, яка б відповідала регламентованим нормам. Вміст амонійного Нітрогену у квітні, травні та червні перевищував ГДК, фосфати та СПАР були трансформовані лише на 56 % та 75 %, що сприяло посиленню евтрофікації та негативно впливало на ріст та розмноження значної кількості гідробіонтів.

Для оптимізації біологічного методу очищення стічних вод нами використовувалися популяції міксоміцетів, серед яких найкращу активність

щодо трансформації органічних та мінеральних завислих речовин проявляли три класи міксоміцет: *Ulocladium consortiale*, *Arthrobotrys oligospora*; та *Arthrinium phaeospermum*

**Об'єкт дослідження:** стічні каналізаційні води, активний мул, популяції мікроорганізмів (бактерії, міксоміцети, гідробіонти, вищі водні рослини).

**Предмет дослідження:** технологічні прийоми оптимізації технології біологічного очищення каналізаційних стічних вод.

**Мета роботи:** аналіз сучасних технологій та методів очищення стічної води та запровадження заходів щодо вдосконалення системи біологічного очищення каналізаційних стічних вод.

**Для досягнення поставленої мети вирішувались такі завдання:**

- проаналізувати доступну літературу та інтернет ресурси щодо сучасних технологій та методів очищення каналізаційних стічних вод;
- вивчити та узагальнити перспективні біологічні методи очищення каналізаційних стічних вод з використанням біотенків із іммобілізованою мікробною біомасою;
- охарактеризувати місце розташування, історія встановлення та господарську діяльність ЛМКП «Львівводоканал»;
- подати основне апаратне забезпечення та опис ланок технологічного процесу очищення стічних вод ЛМКП «Львівводоканал»;
- за допомогою фізико-хімічних методів аналізу дослідження вміст органічних та мінеральних речовин у складі стічних вод та у воді після очищення;
- провести математичний розрахунок концентрації основних забруднюючих компонентів стічних каналізаційних вод м. Львова

– визначити недосконалі стадії очищення стічних каналізаційних вод та обґрунтувати модернізацію окремих ланок біологічного з метою оптимізації очисних споруд.

**Актуальність теми.** Вода, як відомо, є основою життя. У водному середовищі відбувається розвиток організм, всі анаболічні та катаболічні процеси також проходять у водному середовищі. Тому вода є необхідним компонентом для всіх, без виключення, біологічних об'єктів. Через те дуже важливо, що ми раціонально використовували водні ресурси.

А, тому, дуже актуальною є проблема запровадження безвідходних технологій у систему постачання та використання води. Одним із таких напрямків є очищення до регламентних якісних параметрів стічних каналізаційних вод із повторним їх використанням для технічних потреб.

В сучасних умовах, за використанням класичних технологічних процесів щодо очищення каналізаційних стічних вод не завжди вдається домогтися нормативних показників щодо якості очищеної води. Тому необхідно вдосконалювати та оптимізувати класичні технології з метою запровадження безвідходних технологій, тобто повторно використовувати для тих чи інших потреб очищену стічну воду.

**Практична цінність роботи** обумовлена експериментальними дослідженнями та полягає в тому, що використання міксоміцетів, особливо популяцій *Ulocladium consortiale*, *Arthrotrichum oligospora*; та *Arthrimum phaeospermum* забезпечує ефективне очищення стічних вод до регламентованих якісних показників.

**Науковий внесок роботи.** Обрано та описано економічно доцільне апаратне забезпечення та основні ланки технологічного процесу очищення міських каналізаційних стічних вод м. Львова.

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АМ – активний мул;

БІС – біоінженерні споруди;

БО – біологічне очищення;

БСК – біохімічне споживання кисню: БСК<sub>5</sub> – впродовж 5 діб; БСК<sub>20</sub> – впродовж 20 діб; БСК<sub>повн</sub> – повне;

ГДК – гранично-допустимі концентрації;

ЗР – завислі речовини;

ЛЖК – леткі жирні кислоти;

НАМ – надлишковий активний мул;

РАМ – рециркуляційний активний мул;

ОС – очисні споруди;

СВ – стічні води;

СПАР – синтетичні поверхнево-активні речовини;

ЦТК – цикл трикарбонових кислот;

ХСК – хімічне споживання кисню;

## ВСТУП

Небажаним наслідком господарської діяльності людини стало порушення природної рівноваги в багатьох водоймищах та погіршення в них якості води. Промислові й побутові стоки, що потрапляють у природні об'єкти, характеризуються високим рівнем вмісту забруднювальних речовин, значною кількістю токсикантів.

За таких обставин самостійне відновлення водних джерел стає неможливим. І тут виникає нагальна необхідність у розробці й застосуванні сучасних екологічно безпечних, ефективних методів очищення стічних вод, особливо тих, що повертаються у водні об'єкти, і тих, які підлягають вторинному використанню. ¶

Стічними водами називають водні системи, насичені багатьма речовинами, що утворилися внаслідок господарсько-побутової та виробничої діяльності, у зв'язку з чим набули значних змін у первинному хімічному складі або втратили свої фізичні властивості й стали непридатними для зворотних процесів. Слід зауважити, що складові компоненти промислових стічних вод вельми різноманітні, а їхня характеристика залежить від типу виробництва забруднювача. При цьому його кількість зумовлена продуктивністю технологічних процесів.

Технологічний процес очищення каналізаційних стічних вод є досить складним в технологічному плані процес, який покликаний очистити водні ресурси до нормативних показників якості та можливості повторного їх використання у так званих безвідходних технологіях. Даний процес, процес очищення води, на даний час, є найбільш актуальною проблемою в різних галузях народного господарства [1].

На даний час, основним методом очищення комунальних, промислових, побутових, сільськогосподарських та інших стічних вод є біологічний, як один із найбільш безпечних екологічних методів. Суть біологічного методу заснований на використанні за аеробних чи анаеробних

умов автотрофних та гетеротрофних мікроорганізмів, гідробіонтів та вищих водних рослин [4]. Перераховані вище живі організми використовують завислі у стічних водах органічні та мінеральні речовини, перетворюючи їх в енергетичні та пластичні компоненти для власних анаболічних процесів та кінцеві продукти катаболізму (вода, вуглекислий газ, йони та катіони).

Очищення й повторне використання господарсько-побутових стічних вод конкретного підприємства – проблема, розв'язання якої дозволить зробити суттєвий крок у зменшенні забруднення та раціональному використанні водних ресурсів на регіональному рівні [4].



## РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1. Розташування, історія встановлення та функціонування ЛМКП

#### «Львівводоканал»

ЛМКП «Львівводоканал» [41] створене з метою забезпечення міста Львова та супутніх сіл області питною водою, каналізування та очистки стоків. Комунальне підприємство виконує будівельні, пусконаладжувальні та проектні роботи на об'єктах водопостачання та водовідведення. Окрім цього ЛМКП «Львівводоканал» проводить аналіз якості питної води та стічної рідини. А також Дочірнє підприємство «Водомір» займається монтажем, демонтажем, ремонтом та повіркою приладів обліку витрат води [41]. Міське комунальне підприємство «Львівводоканал» створене у 1901 році та перебуває у власності територіальної громади міста Львова [26].

Комунальне підприємство «Львівводоканал» забезпечує [41]:

- видобування питної води зі 180 артезіанських свердловин, об'єднаних у 17 водозаборів, які розташовані на території Львівської області;
- транспортування води по магістральних водогонах;
- експлуатацію міських внутрішньо-квартальних та дворових водопровідних мереж;
- подачу води для ~700 тисяч мешканців міста Львова та мешканців 67 сіл депресійної лійки;
- надання послуг по відведенню стічних вод та експлуатацію каналізаційних колекторів;
- повну механічну та біологічну очистку стічних вод на міських каналізаційних очисних спорудах;
- хіміко-бактеріологічне дослідження якості питної води.

Діяльність ЛМКП «Львівводоканал» поділяється на ліцензійну та неліцензійну. До ліцензійної діяльності підприємства належить централізоване водопостачання та водовідведення. До неліцензійної діяльності відноситься [41]:

- надання послуги з централізованого постачання холодної води, водовідведення (з використанням внутрішньо будинкових систем);
- субпідрядні роботи з технічного обслуговування внутрішньо будинкових систем (мереж);
- видача технічних умов та технічних завдань на водопостачання та водовідведення і влаштування водомірного вузла;
- видача листів корегування технічних умов;
- погодження проектів, розроблених згідно технічних умов;
- лабораторні дослідження питної води та стоків;
- приєднання / від'єднання до / від мереж (після підключення за несплачену заборгованість);
- вивіз рідких стоків;
- ліквідація закупорок мереж водовідведення;
- промивка мереж водовідведення;
- обстеження водопровідно-каналізаційних мереж;
- приєднання до мереж централізованого водопостачання та водовідведення;
- виготовлення проектно-кошторисної документації на централізоване споживання водопостачання та водовідведення;
- спільне використання технологічних електромереж;
- реєстрація (опломбування) приладів обліку гарячого водопостачання.

#### Технічні характеристики підприємства [41]:

1. Середньодобова подача води – 280 тис. м. куб./добу;
2. Середньодобова очистка стічних вод – 440 тис.м<sup>3</sup> /добу;
3. Кількість абонентів, яке обслуговує підприємство – 260 тис. абонентів
4. Джерело водопостачання – підземні джерела: 17 водозаборів, 182 свердловини;
5. Кількість водопровідних насосних станцій – 27 шт;

6. Кількість локальних насосних станцій підкачки – 23 шт;
7. Кількість каналізаційних насосних станцій – 15 шт;
8. Загальна протяжність водопровідних мереж – 1750 км; в т.ч. протяжність водогонів – 655 км
9. протяжність вуличної водопровідної мережі – 850 км;
10. протяжність внутрішньо-квартальної та внутрішньо-дворової мережі – 245 км
11. Загальна протяжність каналізаційних мереж – 605 км;
12. Кількість водопровідних насосів – 106 шт;
13. Кількість артезіанських насосів – 182 шт;
14. Кількість каналізаційних насосів – 39 шт;
15. Спосіб знезараження та очищення води – хлорування, знезалізнення;
16. Спосіб очищення стоків:
  - механічний;
  - бактеріологічний та хімічний.

Місто Львів за умовами географічного розташування знаходиться на хребті Європейського вододілу, у місцевості, бідній на джерела видобутку води. Водопостачання міста здійснюється виключно з підземних джерел (17 водозаборів), розміщених на відстані від 20 до 110 км від міста. Проектна потужність водозаборів складає 452 тис.м<sup>3</sup>/добу. Загальна кількість свердловин 182 шт, глибина окремих свердловин досягає 250 м.

Великий перепад геодезичних відміток у м. Львові (до 120 м) обумовлює потребу в роботі 27-ти насосних станцій 2,3,4 підйомів, термін експлуатації яких становить від 20 до 100 років, а також 23 локальних насосних станцій підкачки. Загальна ємність резервуарів чистої води складає понад 200 тис.м<sup>3</sup>. Видобута на водозаборах вода подається в місто по магістральних водогонах довжиною 655 км діаметром до 1400 мм. Система водопостачання міста розвивалась з 1901 року. На сьогоднішній день понад 30% водогонів знаходиться в незадовільному технічному стані.

Наступним досить складним і технологічно важливим елементом системи є міська розподільча мережа. Її протяжність становить: вуличні водопровідні мережі – 850 км, внутрішньо-квартирні і внутрішньо-дворові – 245 км. Експертними дослідженнями вітчизняних та іноземних спеціалістів встановлено, що 76% міських мереж знаходяться в незадовільному технічному стані. Щорічно на водопровідних мережах міста ліквідується понад 5 тисяч витоків води.

Внаслідок тривалої експлуатації (понад 60-90 років) значна частина водопровідних мереж та з амортизованого і морально застарілого енергоємного обладнання вимагають заміни.

Характеристика системи водовідведення міста Львова [41].

Система відведення стічних вод складається з 605 км. каналізаційних мереж, в тому числі головні колектори – 70 км, та 10-ти каналізаційних насосних станцій. Господарсько-побутові, виробничі та дощові стоки міста по закритому колектору Полтва потрапляють на каналізаційні очисні споруди проектною потужністю 490 тис.м<sup>3</sup>/добу, які складаються з двох технологічних ліній.

На очисних спорудах здійснюється механічна і повна біологічна очистка каналізаційних стоків з використанням первинних відстійників, аеротенків, вторинних відстійників. Мул зневоднюється в цеху механічного зневоднення мулу з використанням центрифуг шведської фірми NOXON, а потім вивозиться на мулові майданчики площею 20 га.

На очисні споруди каналізації поступає значна кількість дощових стоків та дренажних вод. На даний час це одна з найгостріших проблем, оскільки відсутні реальні платники за очистку зазначених стоків.

Історія будівництва каналізаційних очисних споруд міста Львова [41].

Перша черга очисних споруд міста Львова була введена в експлуатацію у 1965 році, до того часу стоки по загально-сплавних каналізаційних колекторах скидалися у річку Полтва неочищеними. З другої половини 60-х років відбувається інтенсивна розбудова міста, спричинена

розвитком промисловості та зростанням кількості мешканців. Такі зміни вимагали збільшення обсягів водопостачання і водовідведення, побудови нових каналізаційних колекторів та підвищення продуктивності очисних споруд. У 1976 році введена в експлуатацію друга технологічна лінія споруд очистки на лівому березі Полтви.

Якість води у системах централізованого питного водопостачання [41].

Якість води, яка подається централізованою системою львівського міського водопроводу, відповідає вимогам стандарту – ГОСТ 2874-82 та вимогам Державних санітарних норм і правил №383. Припущення, що кожний другий мешканець нашої країни п'є „брудну" воду не стосується міста Львова, яке користується виключно водою з підземних джерел. Вода підземних джерел характеризується стабільністю хімічного складу, мінімальним вмістом органічних сполук та надійно захищена від поверхневого забруднення [41].

Вода до Львова надходить із 17-ти водозаборів, які об'єднують понад 180 свердловин. Їхня глибина - від 40 до 200 метрів. Кожен район Львова отримує воду із різних водозаборів. Тому всюди вона якісна - але різниться хімічним складом, а тому і властивостями. Характерною особливістю підземної води є підвищена твердість (або жорсткість), яку обумовлюють солі кальцію та магнію. Підвищена вміст солей не шкодить здоров'ю людини, проте створює певні побутові незручності при утворенні більшої кількості осаду на стінках труб, посуду [41].

Так звану тверду воду отримують дві третини львів'ян. Найтвердіша вода тече з насосної станції Плугів (Золочівський напрямок) і подається у Личаківський район міста. М'яку ж воду отримує третина мешканців нашого міста. Така вода тече від водозабору Стрий і подається мешканцям Франківського району, у Сокольники, та з боку Карачинова у райони Рясне, до частини Левандівки, на вулицю Шевченка і аж до центру. Втім уся вода, що подається до міста, є безпечна та якісна [41].

По мережах Водоканалу питна вода подається до стіни будинку, а далі

її якість залежить від стану внутрішньо-будинкових водопроводів, які експлуатуються житловими організаціями (ЛКП, ЖБК та ОСББ).

Хлорування відбувається для дезінфекції, аби вберегти воду від можливого забруднення у внутрішньо-будинкових мережах. Дезінфікують воду мінімальними дозами хлору 0,3 міліграма на літр. А оскільки вода добута не з поверхневих, а з підземних джерел, то жодних хлорорганічних речовин, шкідливих для здоров'я людини, при кип'ятінні не утворюється.

Щоденно лабораторіями Водоканалу та СЕС перевіряється якість води у контрольних точках. Щороку проводиться понад 85 тисяч аналізів якості води за 32 показниками [41].

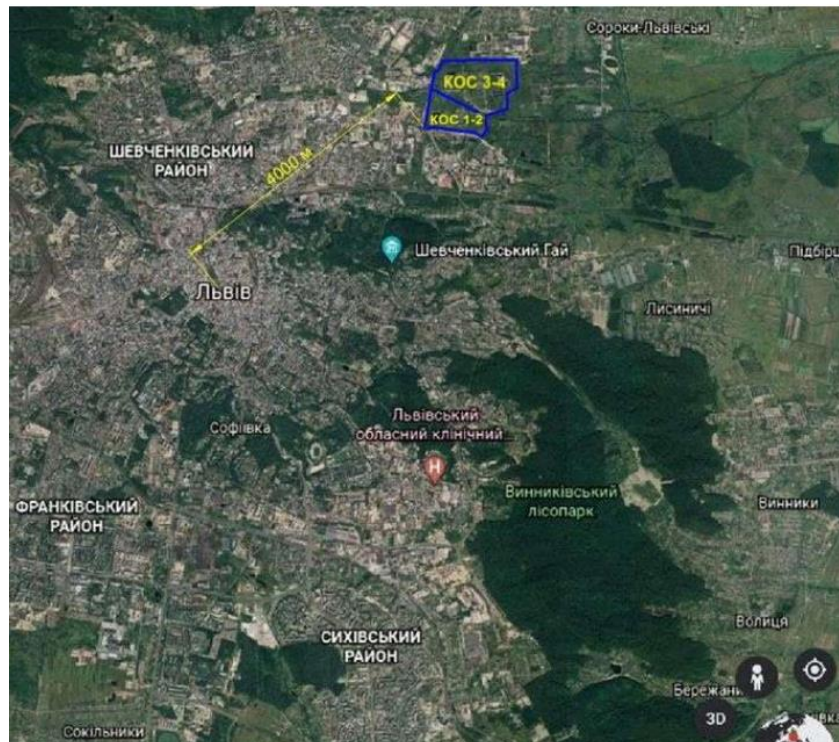


Рис. 1.1. Оглядова карта-схема розташування очисних споруд каналізації м. Львова

## 1.2. Методи біологічного очищення каналізаційних стічних вод

Окрім, загальних методів очищення та знезараження каналізаційних стічних вод, до яких відносяться механічні та хімічні, важливе значення відіграють біологічні методи. До них відносяться анаеробні, аеробні та змішані біохімічні (біологічні) методи, використання яких економічно доцільне залежно від концентрації забруднення водного середовища залишками органічних речовин (табл.1.1)

Таблиця 1.1.

Використання біологічних методів очищення каналізаційних стічних вод залежно від концентрації органічних залишків в них [8].

Значення показника концентрації розчинених у воді органічних забруднень (БСК <sub>повн.</sub> )	Метод біологічного очищення
до 1000 мг/л	аеробні методи
від 1000 до 5000 мг/л	економічна ефективність аеробних та анаеробних методів практично однакова
понад 5000 мг/л	анаеробні методи

В процесі очищення каналізаційних стічних вод залежно від концентрації забруднюючих речовин необхідно враховувати, що за анаеробного біохімічного процесу утворюються побічні газоваті продукти, такі як біогаз, у складі якого може міститися значна кількість амоніаку та сірководню, що суттєво впливають на якісні показники очищеної води.

За таких умов є доцільним на першому етапі очищення стічних вод використовувати анаеробні методи, а по закінченню цього процесу використовувати аеробні методи [5].

### 1.2.1. Характеристика аеробного методу очищення стічних каналізаційних вод

Процес аеробного перетворення органічної складової стічних каналізаційних вод здійснюється за рахунок значної групи мікроорганізмів та гідробіонів [3]. Із мікроорганізмів важливе значення мають гетеротрофні та автотрофні бактерії.

Гетеротрофні бактерії використовують Карбон з готових органічних речовин, що переробляються ними для отримання енергії, необхідної для біосинтезу клітин. Автотрофи для синтезу клітин застосовують неорганічний Карбон, а енергію утримують у результаті фотосинтезу або хемосинтезу (окиснення деяких органічних речовин: амоніаку, нітритів, солей двовалентного заліза, сірководню тощо). Під дією мікроорганізмів можуть протікати окиснювальний (аеробний) або відновлювальний (анаеробний) процеси [6].

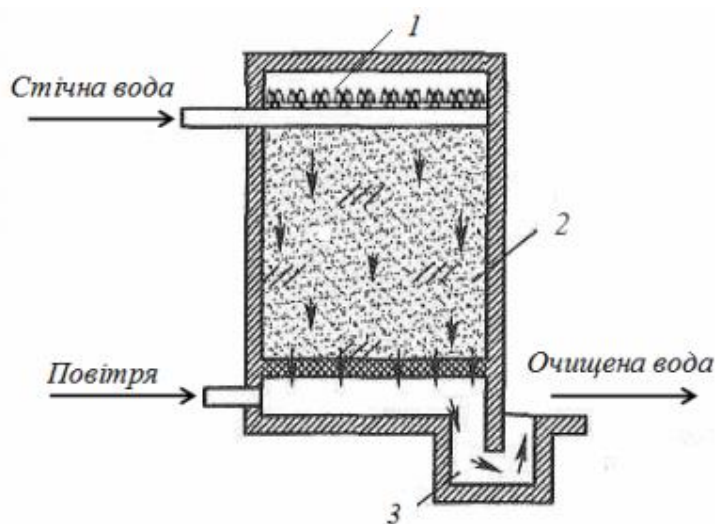


Рис. 1.2. Принципова технологічна схема біофільтра:

- 1 – подача води; 2 – фільтрувальний матеріал із іммобілізованою біоплівкою;  
3 – очищена вода.

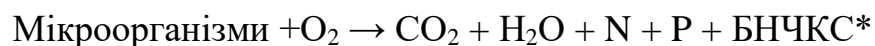


Для аеробних організмів необхідною умовою біохімічних перетворень органічних відходів є достатня кількість кисню та оптимальна температура навколишнього природного середовища (стічних вод) у межах 20-40°C. Із технологічної точки зору біохімічні процеси аеробних перетворень відбуваються в біофільтрах в активному мулі, де симбіотично співіснують різноманітні групи живих організмів. Біофільтри – біореактори із завантаженими фільтрувальним наповнювачем, що тісно зв'язаний із біоплівкою (активним мулом) (рис.1.2).

Біоплівка (активний мул) це своєрідна колоїдна субстанція, до складу якої входить до 70-90% органічних речовин – решта зола із рН = 4-9. В активному мулі акиснювальні процеси можуть відбуватися безпосередньо як у природних, так й у штучних умовах та проходять за наступною схемою:



По завершенню біохімічного процесу щодо окиснення органічних завислих речовин стічних вод у біофільтрах відбувається часткове руйнування та окиснення клітинних сінок мікроорганізмів за наступною схемою:



\* БНЧКС - біологічно нестійкі частинки клітинної стінки.

Процес окиснення органічних речовин у стічних водах – це послідовний ряд складних біохімічних перетворень у клітинах мікроорганізмів. Спочатку мікроорганізми адаптуються до наявності різних хімічних речовин і поступових змін їх концентрації. Тривалість адаптаційного періоду залежить від конкретних умов і становить від 1–2 діб до декількох місяців.

Активний мул (біоплівка) представлена наступними родами бактерій: *Paracoccus*, *Caulobacter*, *Hyphomicrobium*, *Nitrobacter*, *Acinetobacter*,

Sphaerotilus, Aeromonas, Pseudomonas, Cytophaga, Flavobacterium, Flexibacter, Halisomenobacter, Artrobacter, Corynebacterium, Microtrix, Nocardia, Rhodococcus, Bacillus, Clostridium, Lactobacillus, Staphylococcus [7].

Біологічне окиснення органічних залишкових речовин (білків, ліпідів та цукрів) каналізаційних стічних вод проходить за класичною схемою (рис.1.3.):

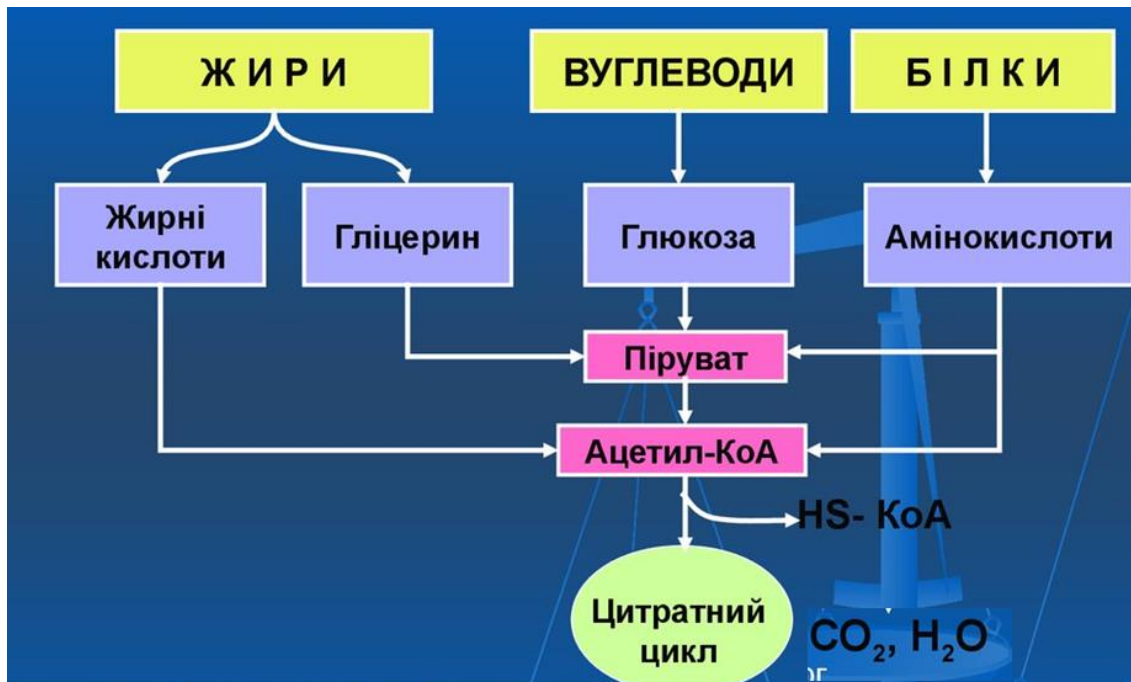
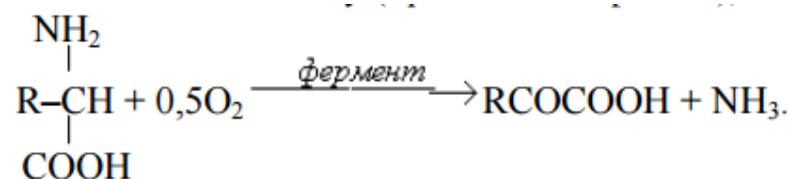
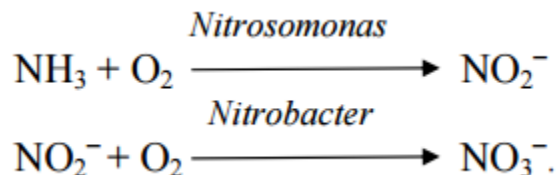


Рис. 1.3. Перетворення органічних компонентів стічних вод за аеробних умов

У процесі життєдіяльності мікробів перетворення більшості цукрів, ліпідів та амінокислот зводиться до утворення проміжного продукту – ацетил-КоА, який в ЦТК далі перетворюється на кінцеві продукти – відновні коферменти оксид Карбону (IV) та воду. Завислі частинки білків стічних вод під дією ферментів бактерії-амоніфікаторів руйнуються до карбонових кислот та вільного амоніаку за наступною схемою:



Важливе значення у біоценозі активного мулу (біоплівки) мають популяції бактерій-нітрифікаторів (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*), які знешкоджують вільний амоніак шляхом його окиснення до відповідних відновних форм Нітрогену за схемою:



Целюлозо-лігнінові комплекси стічних вод розщеплюються за набагато складнішою схемою за участю різних видів популяції мікроорганізмів та різних типів гідролітичної ферментації субстрату. Спочатку відбувається деструкція лігнінових компонентів, а потім поліцукридів (клітковини тощо) до моноцукридів.

Ліпіди (вищі жирні кислоти) розкладаються шляхом  $\beta$ -окиснення за участю АТФ через утворення спочатку активованої форми ацетатної кислоти, яка залучається до подальших складних ферментативних реакцій [10]. Кінцевими речовинами, які утворюються з метаболічних продуктів  $\beta$ -окиснення жирних кислот, є вода й діоксид карбону. Процес аеробного окиснення характеризується повнотою, оскільки його метаболічними продуктами виступають прості низькомолекулярні сполуки ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ). Вони не здатні до подальшої деструкції в мікробній клітині й не мають резервної енергії для вивільнення.

При нормальному режимі експлуатації біофільтрів водні забруднення контактують з активним мулом усього протягом 10-30 хвилин. Постачання кисню в біоценоз біофільтра забезпечується системою аерації (вентиляцією). Як і при очищенні в аеротенках, на швидкість окиснення органічних речовин у біофільтрах впливає температура стічної води. Стійка й ефективна робота біофільтрів можлива в інтервалі температур 6-30°C [19].

Їх типова конструкція – це глибокий залізобетонний герметичний прямокутний резервуар висотою 3-6 м, обладнаний пристроями для аерації і з'єднаний з відстійником (рис. 1.4). Аеротенк розділено перегородками на 3-4 коридори. Типи аеротенків визначаються в основному способом надходження кисню, конструкцією самого реактора та об'ємом завантаженого матеріалу. Очищення води в аеротенку відбувається в процесі протікання через нього збагаченої киснем суміші стічної води й активного мулу.



Рис. 1.4. Конструкція аеротанків

Біологічні перетворення в активному мулі аеротанків, в основному проходять наступні стадії:

- поверхнева іммобілізація активного мулу із завислими органічними рештками, які активно піддаються окисненню ферментними системами мікроценозу мулу в аеробних умовах із подальшою їх мінералізація;

- подальша деградація залишків органічних речовин із відновленням активного мулу [16].

Зазвичай із практичної та економічної точки зору використовуються витіснювальні (рис. 1.5.А) та змішувальні (рис. 1.5.Б) види аеротенків.

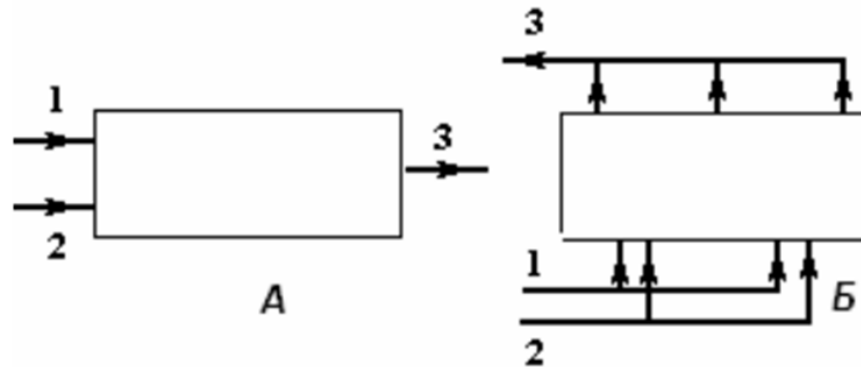


Рис. 1.5. Схеми роботи аеротенків: А – витіснювач; Б – змішувач; 1 – стічна вода; 2 – активний мул; 3 – мулова суміш

Вони відрізняються один від одного технологічними схемами. Наприклад, в аеротенку-витіснювачі підтримується режим, при якому стічні води послідовно переміщуються по коридорах без повного перемішування, а біохімічні процеси на кожному відрізку шляху проходять з різною швидкістю, тобто рівень забруднень за показником БСК зменшується поступово.

При цьому гідравлічний режим виявляється близьким до режиму витіснення, а біологічний режим діяльності мікроорганізмів відповідає різним фізіологічним фазам їхнього розвитку. На початку процесу спостерігається надлишок поживних речовин, а на кінцевій стадії – їх нестача.

Для аеробного очищення січних каналізаційних стоків використовуються різноманітні інженерні споруди, зокрема, біологічні ставки (поля для фільтрації, біоплато) [9]. Суть процесу очищення в біологічних ставках (рис. 1.6) зводиться до того, що основним постачальником кисню для окиснювальних процесів є гідробіотни, зокрема, мікроводорості та значна кількість найпростіших, які використовують аеробних бактерій як основне джерело живлення.



Рис.1.6. Біологічний ставок для очищення стічних вод

Використання у біологічних ставках вищих водних рослин забезпечує накопичення ними значної кількості як біогенних, так й токсичних речовин, що значно покращує ефективність процесу очищення стічних каналізаційних вод аеробним методом [11].

Для сильно забруднених стічних каналізаційних вод застосовують більш складні технології (рис. 1.7) [17]:

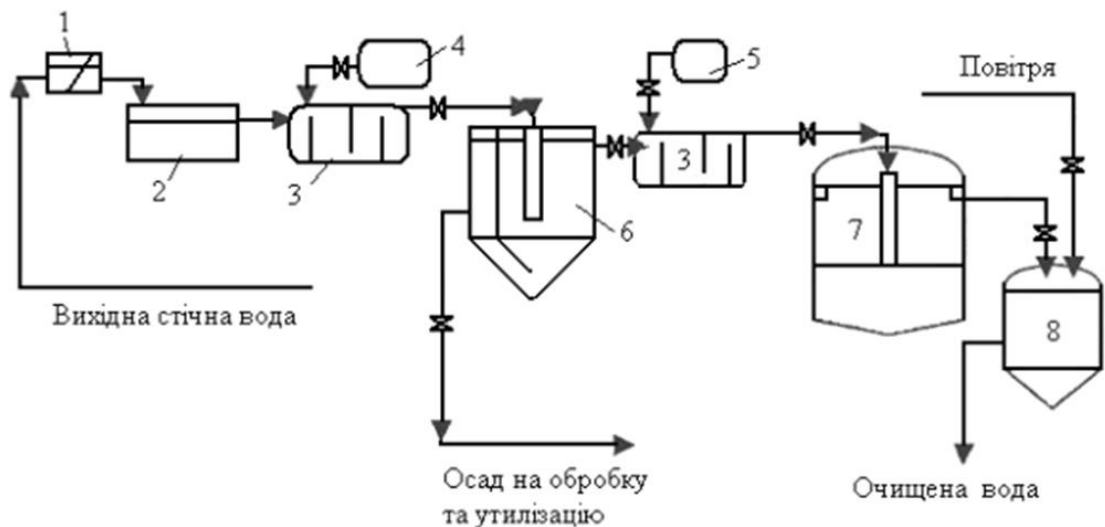


Рис. 1.7. Схема очищення сильно забруднених вод : 1 — відділення решіток; 2 — піскоуловювач; 3 — змішувач; 4 — блок приготування та дозування реагентів; 5 — бак суперфосфату; 6 — відстійник; 7 — біореактор першого ступеню (анаеробні умови); 8 — біореактор другого ступеню (аеробні умови)

## 1.2.2. Характеристика анаеробного методу очищення стічних вод

Другим ефективним методом очищення стічних каналізаційних вод є їх анаеробне (без доступу кисню) очищення. Таким методом можна проводити очищення стічних вод із отриманням додаткового побічного продукту – біогазу, який на 65-70% складається з метану, вуглекислого газу (біля 30%), амоніаку та сірководню. Біохімічні процесів анаеробного збродження органічних речовин наведено на рис. 1.8.

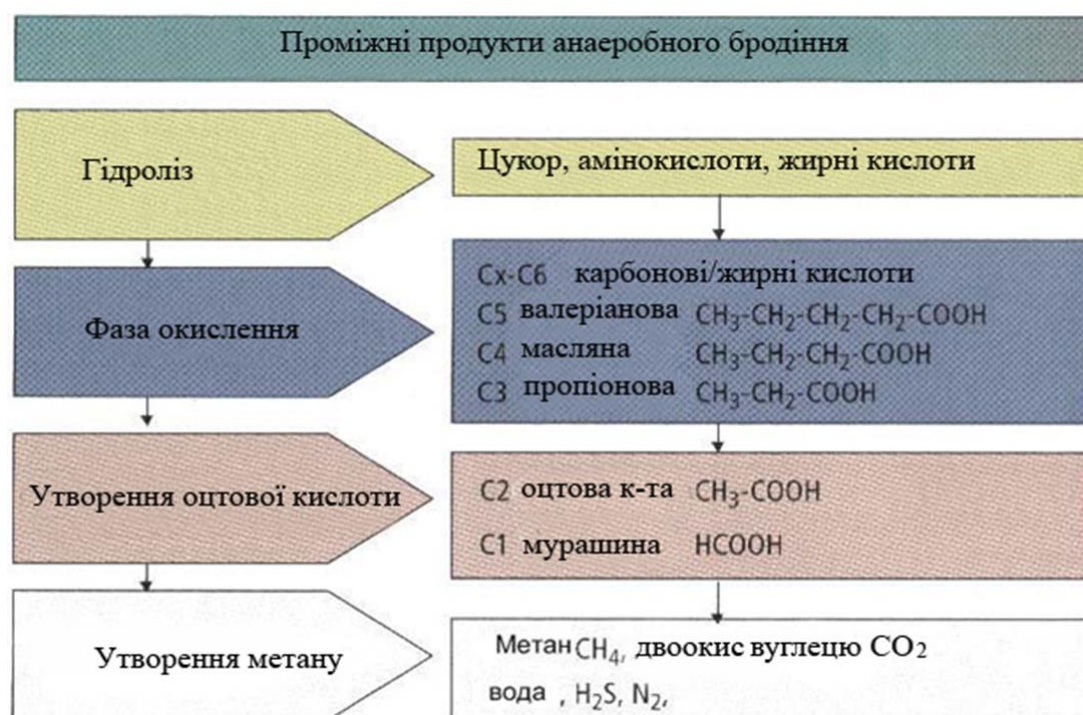
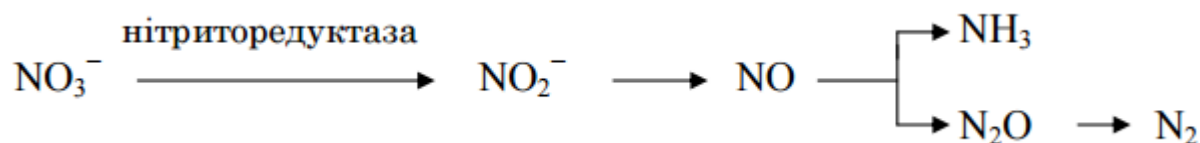


Рис. 1.8. Біоконверсія органічних речовин стічних вод популяціями анаеробних метаносинтезуючих мікроорганізмів

Азотовмісні речовини, які утворилися в процесі ферментації за таких умов окиснюються денітрифікуючими бактеріями з утворенням газуватих речовин ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ) за схемою:



Процес бродіння проводиться в закритих резервуарах – метантенках. Метантенки – це герметичні реактори-змішувачі, заповнені іммобілізованим активним мулом, мулові ставки або інші споруди. Метантенки призначені як для очищення стоків, так і для генерації біогазу. Основні параметри анаеробного метанового зброджування – це температурний режим, кількість завантажених стоків та інтенсивність перемішування стічних вод з активним мулом. Треба зауважити, що в метантенках неможливо досягти повного зброджування органічних речовин, оскільки анаеробне окиснення проходить з малою інтенсивністю і не забезпечує глибокої деструкції, а також вимагає стабільних і сприятливих температурних умов [11, 21].

В процесі анаеробного перетворення органічних залишків стічних вод біля 60% органічних відходів залишаються у стічних водах. Тому є важливим поєднувати різні методи очищення із використанням різних видів живих організмів, включаючи мікроорганізмів, різних класів гідробіонтів та вищої водної рослинності. Принципова технологічна схема біоконвеєра закритого типу наведена на рис. 1.9 [12]:

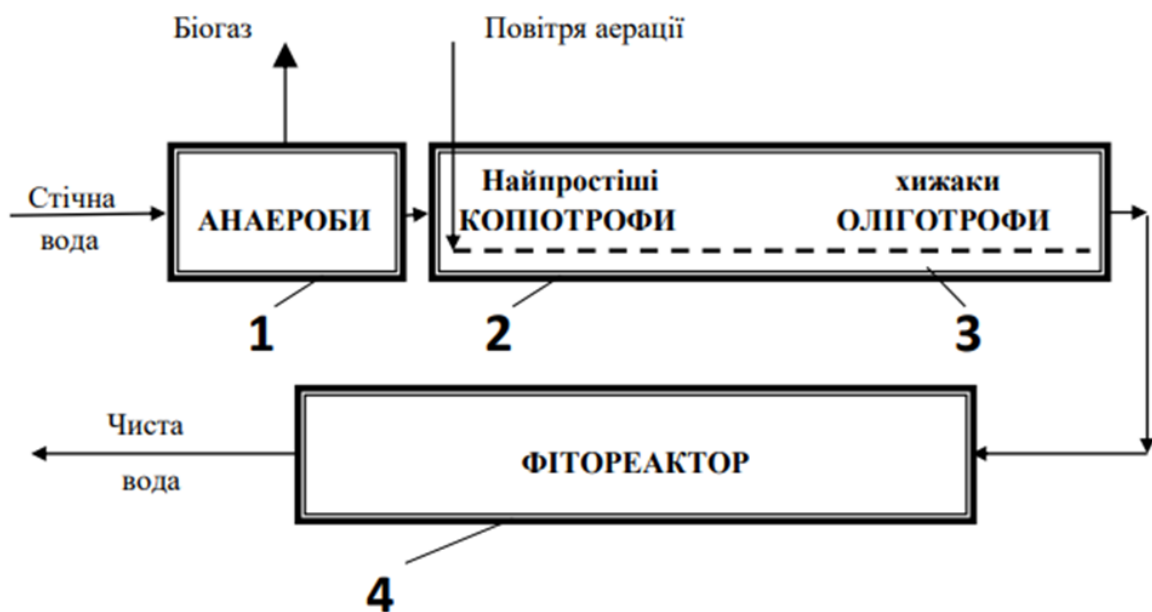


Рис. 1.9. Принципова технологічна схема біоконвеєра закритого типу, зони:  
1 – анаеробного, 2 – аеробного, 3 – зоо-, 4 – фітореакторів.



### 1.2.3. Використання біотенків із іммобілізованою мікробною біомасою

В сучасних технологіях очищення стічних вод використовуються біотенки – аеротенки із іммобілізованою на активний мул мікробною біомасою. У таких біотенках зростає ефективність окиснення субстрату (органічних залишків) у стічних водах у 2-3 рази. Схему біотенка подаємо на прикладі біореактора МакІСІ (рис. 1.10) [19]:

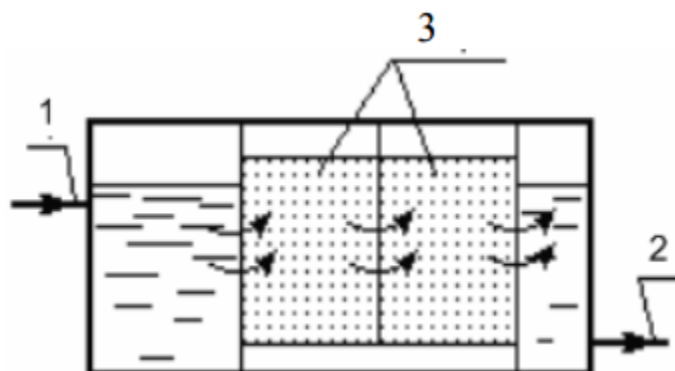


Рис. 1.10. Схема біореактора МакІСІ: 1 – подача води; 2 – відведення очищеної води; 3 – контейнер з активним мулом [31]:

Носіями в біотенках слугують сітки, гофроленти з полівінілхлориду, полотнища з нетканинних матеріалів, конструкції із синтетичних матеріалів типу "йоржиків". Їхня здатність утримувати забруднення відповідно становить 4,5; 0,22; 0,45; 0,4 кг біомаси на 1 кг носія.

У таких реакторах стічна вода рухається по каналу й послідовно проходить через днище металевих каркасів (контейнерів), заповнених носієм іммобілізованого мулу. Носії – йоржики із синтетичних ниток – кріпляться на рамі каркаса. На одному погонному метрі йоржів утримується до 30–40 г біологічних обростань, а в 1 м<sup>3</sup> об'єму контейнера – до 5,5–6 кг. Реактори обладнуються системою аерації. За ступенем насичення біологічними обростаннями вміст біотенка регенерується шляхом інтенсивного продування повітрям [13, 18, 25].

## РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Матеріали та методи

Таблиця 2.1.

Регламентні показники контролю стічних каналізаційних вод та технологічні вимоги до приготування відповідних реагентів

Стадія	Параметр, який контролюється	Періодичність контролю	Норма	Метод контролю	Метод контролю та прилад вимірювання
1	2	3	4	5	6
Надходження СВ міста на очисні споруди	Витрата СВ міста м <sup>3</sup> /добу	1 раз/добу	40 000	КТ	Акустичний витратомір АКРОН-02
	ЗР, мг/дм <sup>3</sup>	1 раз/добу		КХ	КНД 211.1.4.039-95 Методика гравіметричного визначення завислих (суспендованих) речовин в природних та стічних водах
	БСК <sub>повн</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	1 раз/добу		КХ	КНД 211.1.4.039-95
	Фосфати, мг/дм <sup>3</sup>	1 раз/добу		КХ	КНД 211.1.4.043-95 Методика фотометричного визначення фосфатів у стічних водах
	Температура, °С	1 раз/добу	<40	КТ	Термоелектричний датчик ТВР-0687. Клас точності: 2
	рН	1 раз/добу	6,5-8,5	КХ	Іономір Vante321. Точність ±0.2 мВ
Підготовка технологічного аераційного повітря	Робочий тиск стисненого повітря, МПа	1 раз/годину	0,16	КТ	Манометр для вимірювання надлишкового тиску МТП-100/1-ВУМ «МАНОМЕТР». Клас точності: 2.5

*продовження табл. 2.1.*

Підготовка реагенту – алюміній сульфату	Масова концентрація алюміній сульфату, мг/дм <sup>3</sup>	1 раз/добу	30	Кх	Концентратомір АЖЭ-15
Підготовка хлорної води	Масова концентрація хлору, мг/дм <sup>3</sup>	1 раз/добу	210	Кх	Концентратомір АЖЭ-15
Підготовка реагенту для підлогування	Масова концентрація гідроксиду кальцію, мг/дм <sup>3</sup>	1 раз/добу	15	Кх	Концентратомір АЖЭ-15
Підготовка розчину коагулянту FeCl <sub>3</sub>	Масова концентрація хлориду заліза, мг/дм <sup>3</sup>	1 раз/добу	5	Кх	Концентратомір АЖЭ-15
Очищення СВ на решітках	Масова концентрація крупних механічних домішок	1 раз/добу	>60% від max	Кт	КНД 211.1.4.039-95
Очищення СВ на пісковловлювачах	Масова концентрація піску	1 раз/добу	0,8-1,2	Кт	КНД 211.1.4.039-95
Відстоювання у первинних відстійниках	Масова концентрація ЗР на вході, мг/дм <sup>3</sup>	1 раз/добу	<250	Кх	КНД 211.1.4.039-95
	Масова концентрація ЗР на виході, мг/дм <sup>3</sup>	1 раз/добу	<150	Кх	КНД 211.1.4.039-95
	Температура, °С	1 раз/добу	<40	Кт	Термоелектричний датчик ТВР-0687. Клас точності: 2
Біологічне очищення СВ в аеротенку-витиснювачі	Доза АМ, г/дм <sup>3</sup>	3 рази/тиждень	3	Кт	Методика контролю за роботою ОС
	Температура, °С	1 раз/добу	17-20	Кт	Термоелектричний датчик ТВР-0687. Клас точності: 2
	pH	1 раз/добу	6,5-8,5	Кх	Іономір Vante321. Точність ±0.2 мВ
	Муловий індекс, см <sup>3</sup> /г	1 раз/добу	90	Кт	Методика контролю за роботою ОС
	Склад біологічного агенту-АМ	3 рази/тиждень		К <sub>мб</sub>	Мікроскоп LEICA DM6 FS

продовження табл. 2.1.

Відстоювання у вторинних відстійниках	Вологість НАМ, %	3 рази/тиждень	99,2-99,7	КТ	Методика контролю за роботою ОС
	Масова концентрація ЗР, мг/дм <sup>3</sup>	1 раз/добу	<15	КТ	КНД 211.1.4.039-95
Змішування з реагентом, протікання реакції та відстоювання	Доза сульфату алюмінію, мг/дм <sup>3</sup>	1 раз/добу	30	КХ	Ваговий дозатор-виратомір. Точність складає 0,1%
	Масова концентрація ЗР, мг/дм <sup>3</sup>	1 раз/добу	7	КТ	КНД 211.1.4.039-95
	Масова концентрація фосфатів, мг/дм <sup>3</sup>	1 раз/добу	0,1	КТ	КНД 211.1.4.039-95
	Масова концентрація БСК <sub>повн</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	1 раз/добу	3	КТ	КНД 211.1.4.039-95
Знезаражування СВ хлоруванням	Доза хлору, мг/дм <sup>3</sup>	1 раз/добу	5	КХ	Ваговий дозатор-виратомір. Точність складає 0,1%
	Колі-індекс	1 раз/добу	<3	К <sub>мб</sub>	Методика контролю за роботою ОС
Ущільнення стабілізованого осаду	Вологість, %	1 раз/тиждень	98	КХ	Методика контролю за роботою ОС
Аеробна стабілізація НАМ	Вологість, %	1 раз/тиждень	98,5	КТ	Методика контролю за роботою ОС
Дегельмінтизація ущільненого осаду	Температура, °С	щогодини	65	КТ	Термоелектричний датчик ТВР-0687. Клас точності: 2
Коагуляція осаду	Масова концентрація гідроксиду кальцію, мг/дм <sup>3</sup>	1 раз/добу	15	КХ	Ваговий дозатор-виратомір. Точність складає 0,1%
	Масова концентрація хлориду заліза, мг/дм <sup>3</sup>	1 раз/добу	5	КХ	Ваговий дозатор-виратомір. Точність складає 0,1%
Зневоднення на фільтр-пресі	Вологість, %	1 раз/тиждень	70-75	КТ	Методика контролю за роботою ОС

	Тиск, МПа	1 раз/годину	0,05	КТ	Манометр для вимірювання надлишкового тиску МПІ-100/1-ВУМ «МАНОМЕТР». Клас точності: 2.5
Аварійні мулові майданчики	Вологість осаду, %	1 раз/тиждень	80	КТ	Методика контролю за роботою ОС
Піскові майданчики	Вологість піщаної пульпи, %	1 раз/тиждень	80	КТ	Методика контролю за роботою ОС

## 2.2. Контроль якості каналізаційних стічних вод

## фізико-хімічними методами аналізу

До каналізаційних стічних вод, згідно Водного кодексу нашої держави, відносяться стічні води, що утворилися у наслідок виробничої та побутової діяльності, а також води атмосферних опадів. Враховуючи вище наведене, до каналізаційних стічних вод можуть надходити різноманітні токсичні речовини органічного та мінерального походження.

Тому необхідно постійно проводити дослідження зразків стічних вод за регламентованими показниками, які проводили у сертифікованій лабораторії (рис. 2.1):



Рис. 2.1. Фото лабораторії, де проводили дослідження

- визначення біохімічного споживання кисню (БСК<sub>5</sub>);
- визначення хімічного споживання кисню (ХСК);
- визначення біохімічної потреби кисню (БПК);
- визначення фосфатів;
- визначення сульфатів;
- визначення хлоридів;
- визначення вмісту амоніаку;
- визначення синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР);
- визначення загального вмісту Феруму;
- визначення нафтопродуктів [9, 15].

### Визначення біохімічного споживання кисню (БСК<sub>5</sub>)

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 [22].

### 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.

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 [22, 33].

### 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 БПК<sub>5</sub> становить приблизно 70 % повного БПК<sub>20</sub>.

У чистих водоймищах БПК<sub>5</sub> менша за 2 мг, а у відносно чистих вона становить 2-4 мг О<sub>2</sub>/л (БПК<sub>20</sub> – 3-6 мг О<sub>2</sub>/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 О<sub>2</sub>/л. Розрахунки здійснювали за такою формулою:

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

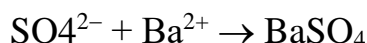
де: БПК – кількість кисню, мг/л, а – концентрація кисню в підготованій для визначення пробі з початку інкубації, мг/л; b – концентрація кисню у воді, якою розводять, мг/л; n – кількість повторень [22].

#### 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 Н<sub>3</sub>РО<sub>4</sub> [2, 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 ВаCl<sub>2</sub>.

Щоб збільшити стійкість суспензії до розчину можна додавати захисний колоїд, наприклад, желатину або гліцеролу. Вміст сульфат – іонів визначаємо за методикою [22].

#### Визначення хлоридів

Хлорид-іони у стічній воді також визначали титриметричним методом Мора [39]. Реакція базується на процесах осадження іонів  $\text{Cl}^-$  розчином  $\text{AgNO}_3$  в присутності індикатора Калій хромату. На першій стадії титрування утворюється білий осад  $\text{AgCl}$ . На другій стадії – осадження хлорид-іонів при додаванні Аргентум нітрату спостерігали утворення цегляно-червоного осаду Аргентум хромату  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ . Вміст хлорид – іонів розраховували за методикою [39].

Кількісним фотометричним методом аналізу визначали концентрацію нітритів у стічних водах [15, 40].

#### Визначення вмісту амоніаку

За допомогою реактива Несслера – суміші комплексної солі тетраїодомеркурату (II) калію  $\text{K}_2[\text{HgJ}_4]$  з Калій гідроксидом  $\text{KOH}$  в присутності солей амонію утворюється буро-червоний осад йодиду дийододимеркуріату  $[\text{Hg}_2\text{J}_2\text{NH}_2]\text{J}$ . При додаванні надлишку луку утворюється  $[\text{NH}_2\text{HgJ}_2]\text{J}$  йодид оксодимеркурамонію. Висока чутливість даної реакції (0,25 мкг), дозволяє використовувати її щоб перевірити повноту виділення  $\text{NH}_3$  з реакційної суміші,

Вказану реакцію використовують в екологічних дослідженнях для аналізу стічних вод [35].

#### Визначення синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР)

Визначення СПАР у стічних водах проводили екстрагуванням комплексної сполуки хлороформом у лужному середовищі (буферний розчин,  $\text{pH}=10$ ). Надалі, хлороформні екстракти обробляли кислим розчином метиленового синього. Вказане подвійне екстрагування усуває дію іонів  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SCN}^-$ , 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.

#### Визначення загального вмісту Феруму

Метод ґрунтується на фотометричному визначенні Феруму з сульфосаліцилатом натрію. Сульфосаліцилова кислота або її солі взаємодіють із солями Феруму утворюючи забарвлені комплексні сполуки. Причому сульфосаліцилова кислота в слабокислому середовищі реагує лише із солями

Феруму (II), а у слаболужному – і з солями Феруму (II) і Феруму (III) [2].

#### Визначення нафтопродуктів

Методом екстракції ефіророзчинних фракцій нафти і нафтопродуктів з наступною відгонкою розчинника визначають вміст нафтопродуктів у стічних водах. Масову концентрацію нафтопродуктів обчислюють за часткою між різницею мас склянки з нафтопродуктами і порожньої склянки та об'ємом стічної води, що брали для [22, 39].

Після закінчення експериментальних досліджень зразків стічних каналізаційних вод лабораторними фізико-хімічними методами, отримані результати досліджень порівнювали із даними науково-технічної документації щодо перевірки сировини наведеної в табл. 2.2.

Очищеними вважаються такі стічні води, якщо у них:

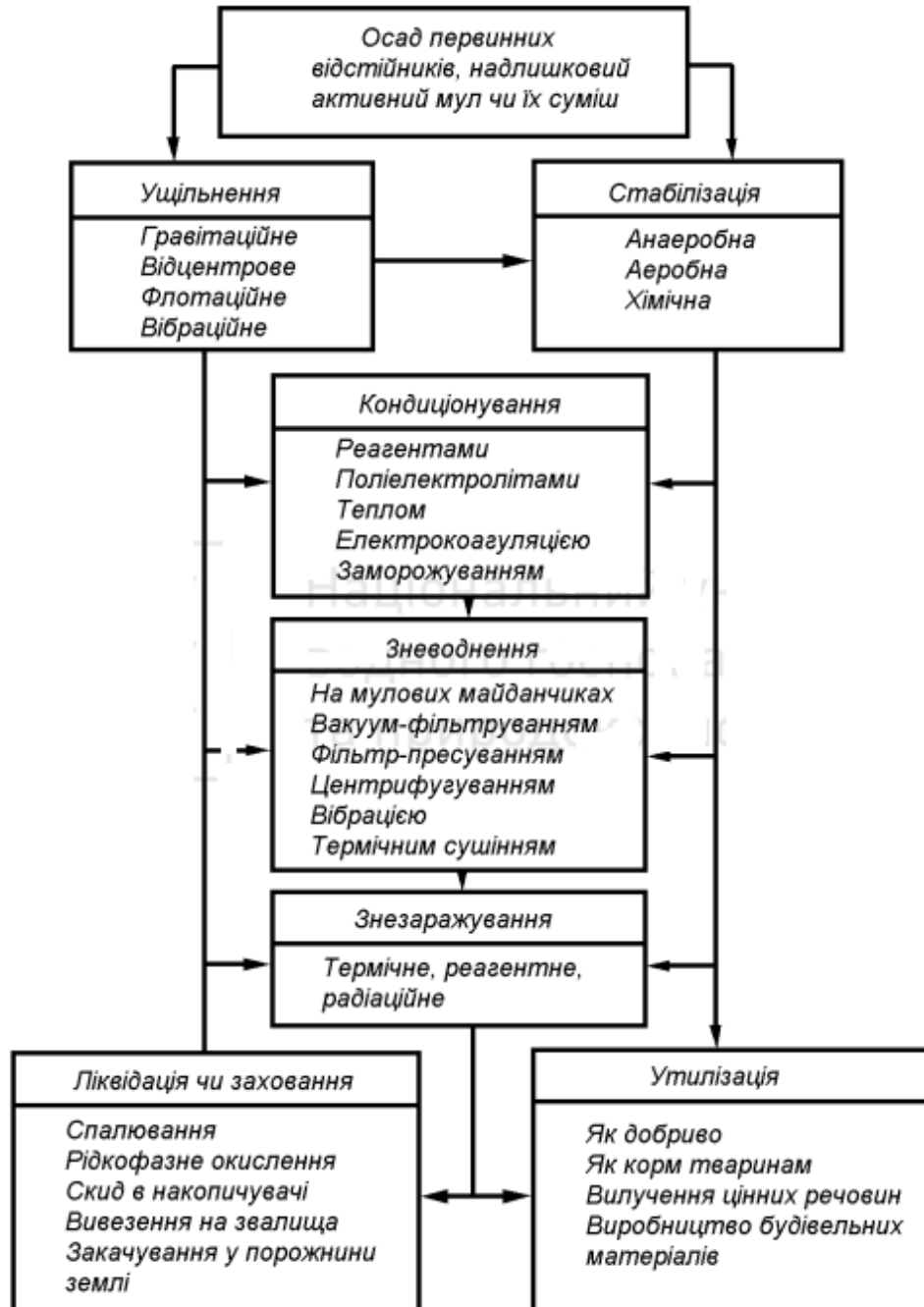
- показник БСК не перевищує 50 мг/л;
- повністю відсутні спливаючі органічні забруднювачі;
- концентрація завислих речовин не перевищує 60 мг/л;
- вміст нафтопродуктів (не перевищує 5 мг/л;
- кольоровість (за платино-кобальтовою шкалою) становить понад 20 одиниць;
- водневий показник рН = 6 [27-29].

Таблиця 2.2.

Назва сировини	НТД щодо перевірки сировини	Показники	
СВ міста	ДБН В.2.5-75:2013 та наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України №316 від 01.12.2017	Реакція середовища (рН)	6,5 - 9,0
		БСК <sub>повн</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	згідно з проєктом КОС або не більше 350,0
		ХСК, мг/дм <sup>3</sup>	500,0
		Фосфор загальний (Р <sub>заг</sub> ), мг/дм <sup>3</sup>	30
		ЗР, мг/дм <sup>3</sup>	300,0
Хлорна вода	ДСТУ 6718-93. Хлор рідкий. Технічні умови	Масова частка води, %	<0,01
		Об'ємна частка хлору, %	>99,6
Хлорид заліза	ТУ 6-18-33-85. Залізо хлорне технічне (розчин)	Масова частка FeCl <sub>3</sub> , %	>40
Негашене вапно	ДСТУ Б В.2.7-90:2011 Вапно будівельне.	Вміст СаО, %	>85
Сульфат алюмінію	ГОСТ 12966-85. Алюміній сульфат технічний очищений	Масова доля нерозчинного у воді залишку, %	<0,3
		Масова доля оксиду алюмінію, %	>16
Осад з первинних відстійників	ДБН В.2.5 -75:2013	Вологість, %	95
Ущільнений НАМ		98	
Очищена СВ		ЗР, мг/дм <sup>3</sup>	7

## РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1. Апаратурне забезпечення та опис основних ланок технологічного процесу



Методи обробки осадів

Рис. 3.1. Технологічний процес очищення каналізаційних стічних вод

## ДР 1. Підготовка аераційного повітря [14, 20]

На подачу в аеротенк надходить очищене стиснене повітря, для якого контролюється вологості та температури.

### ДР 1.1 Забір повітря з атмосфери

Забір здійснюється за допомогою повітрозабірників ПЗ-1 з 4-6 м над рівнем землі. Температура повітря знаходиться в діапазоні  $-20\dots45^{\circ}\text{C}$ . Повітрозабірники – споруди, що є розтрубом із запобіжною сіткою на вході. Повітря від повітрозабірника через повітропроводом надходить до фільтра Ф-2.

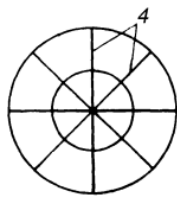
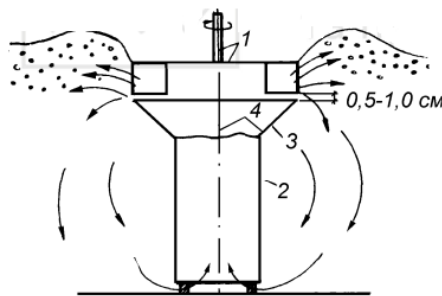


Схема дискового аератора з трубою-стабілізатором:  
1 - дисковий аератор; 2 - труба-стабілізатор; 3 - верхнє розширення стабілізатора; 4 - лопаті для запобігання закручуванню потоку

### ДР 1.2 Фільтрування повітря

Повітря очищується від пилу та механічних часток на волокнистому фільтрі Ф-2. Фільтрувальний матеріал – тканина Петрянова (ФПП15-30), має максимальний діаметр пор 15 мкм, робоча температура повітря до максимумно  $60^{\circ}\text{C}$ , ефективність очищення 98%. Після механічного очищення вміст механічних часток не більше  $10\text{ мг/м}^3$ .

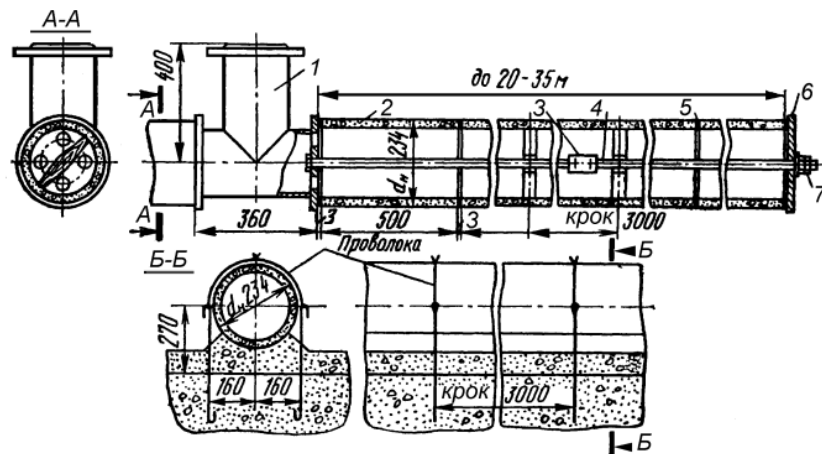
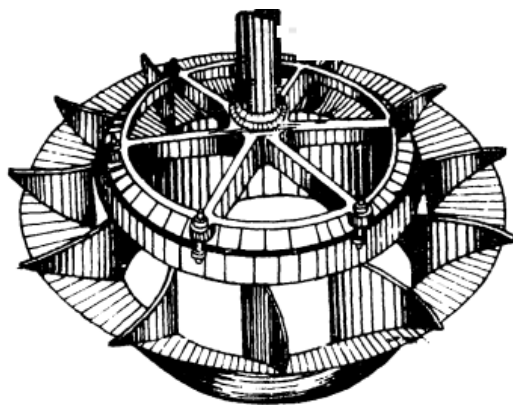


Схема встановлення фільтросних труб в аеротенку:  
 1 - повітряний стояк; 2 - фільтросні труби; 3 - проміжна муфта; 4 - металевий тяг; 5 - гумові прокладки; 6 - заглушка

### ДР 1.3 Компресування повітря

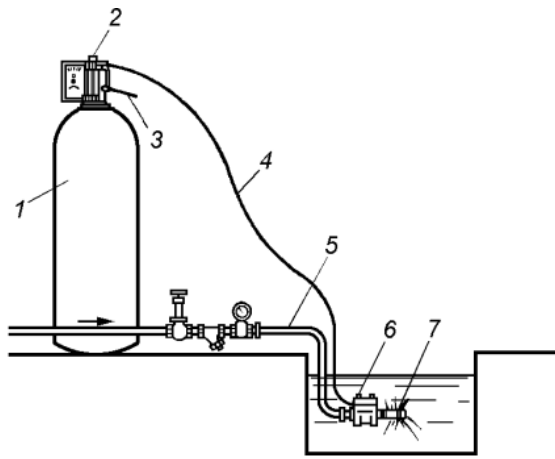
За допомогою повітродувки В-3, що мають тиск нагнітання 0,163 МПа повітря компресується, на даному етапі контролюється тиск. Стиснене очищене повітря подається до аеротенку на аерацію на ТП 6.1.



Аератор «Симплекс»

### ДР 2. Приготування хлорної води

Хлор зберігається на очисні станції в балонах чи контейнерах під тиском у рідкому стані. Спочатку хлор переводять у газоподібний стан, після цього проводять розчинення у воді. Готують розчин у реакторі Р-4. Відповідно до ДБН розрахункова доза активного хлору для біологічного очищення стічних вод становить 3 г/м<sup>3</sup>. На даній стадії здійснюють технологічний контроль концентрації розчиненого хлору у розчині. Готова хлорна вода відкачується насосом Н-5 на знезаражування очищених стічних вод до ТП 9.1.



Установка для хлорування стічних вод у відкритому каналі [2]:  
 1 - балон з хлором; 2 - хлоратор; 3 - стиснене повітря; 4 - напірний хлоропровід; 5 - робоча вода; 6 - інжектор; 7 - душова насадка

### ДР 3. Приготування розчину коагулянту – хлориду заліза (III)

Для обробки осадів та надлишкового активного мулу від процесу очистки стічних вод, застосовують коагулянти – хлорид заліза (III) марки Б, що в Україні виробляється згідно ТУ У 24.1- 05444552-045-2005. Хлорид заліза (III) сприяє утворенню гідроксидів заліза, які малорозчинні у воді і сорбують на своїй поверхні колоїдні, завислі, та дрібнодисперсні речовини. Такі комплекси осідають на дно відстійника, утворюючи осад. Хлорид заліза на станції зберігають у спеціальних ємностях у вигляді концентрованого розчину. Робочий 10%-розчин готують у реакторі Р-6. У реактор подають концентрований розчин хлорного заліза, воду та ретельно механічно перемішують. Швидкість обертання мішалки становить 5 об/с. На стадії приготування розчину здійснюють технологічний і хімічний контроль якості і концентрації розчину. Приготований розчин насосом Н-7 відкачують на коагуляцію до ПВ 9.4. Об'єм розчину хлорида заліза (III) при цьому не має перевищувати 70 % від загального об'єму реактора Р-6.

### ДР 4. Приготування розчину гідроксиду кальцію

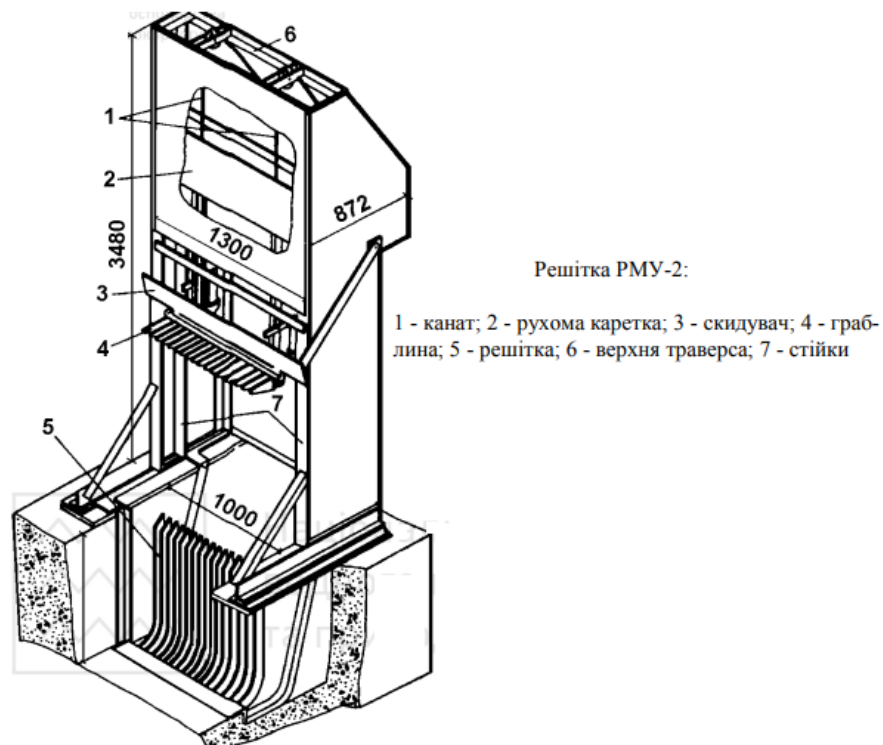
Гідроксид кальцію також застосовують як коагулянт. Насичений розчин зберігають на складі у спеціальних ємностях. Розчин готують у реакторі Р-8 шляхом змішування насиченого розчину (вапняної води) з водою та механічно перемішують. Швидкість обертання мішалки 5 об/с. Готовий розчин насосом Н-9 надходить на коагуляцію до ПВ 9.4. На стадії

приготування розчину здійснюють технологічний і хімічний контроль якості і концентрації розчину. Об'єм розчину кальцію не повинен перевищувати 70 % від загального об'єму реактора Р-8.

## ТП 5. Механічне очищення стічних вод

### ТП 5.1. Очищення стічних вод на решітках

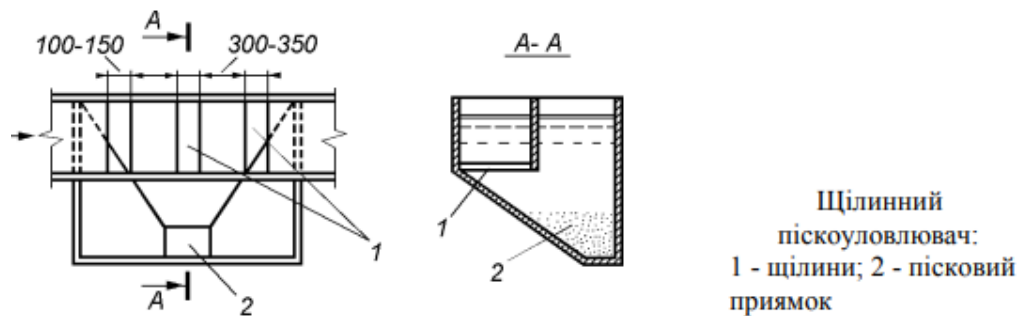
На решітках-дробарках РМУ-2 затримуються та подрібнюються крупні фракції сміття. На станції буде встановлено три решітки-дробарки, з яких дві будуть працювати постійно. Швидкість руху рідини в підвідних каналах до решіток становить 0,8-1,0 м/с. На стадії механічного очищення на решітках проводиться технологічний контроль пропускної здатності решіток (має становити не менше 60% від максимальної). Відходи зі споруди відвантажуються у відкидний лоток та вивозяться.



### ТП 5.2. Очищення на пісковловлювачах

Вода від решіток-дробарок поступає на пісковловлювачі П-11, де зі стічних вод видаляється пісок та інші механічні частки, із розміром 0,15...0,25 мм, щоб таким чином запобігти накопиченню цих часток в наступних спорудах біологічного очищення, що призведе до зниження ефективності їх роботи. Кількість пісковловлювачів проектується не менше двох. Стічна вода

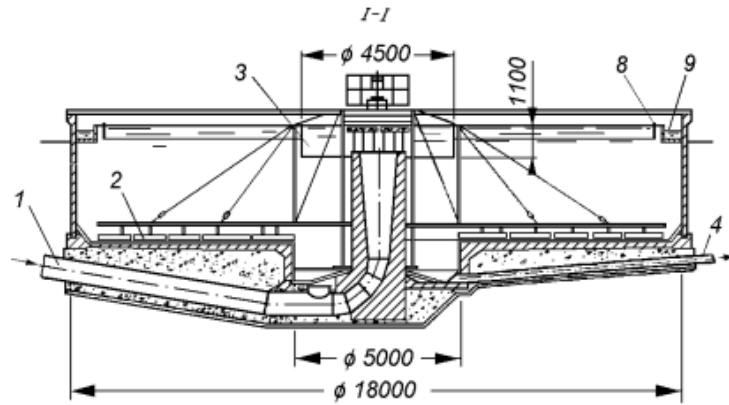
поступає знизу споруди та рухається вертикально вгору зі швидкістю 0,3 м/с і потім відводиться через відвідний канал. Ефективність видалення дрібних механічних часток – 65-75%. Осад накопичується в кінчному дні споруди. Відвантаження піску із бункера здійснюється два рази на добу гідроелеватором. Пісчану пульпу переміщують на пісчані майданчики ПМ-27. На стадії проводять технологічний контроль концентрації піску та мінеральних домішок в стічній воді на виході з пісковловлювача, що має складати не більше 0,8 мг/дм<sup>3</sup>



### ТП 5.3. Первинне відстоювання

Стічні води після пісковловлювачів поступають до первинних радіальних відстійників В-12 через підвідний канал знизу споруди. Запроектовані відстійники – 4 залізобетонні споруди діаметром 30 м, з робочою глибиною 3,4 м. На дно споруди опускаються завислі речовини, осад збирається в зоні осаду, звідки видаляється насосами Н-13 на обробку осадів до аеробного стабілізатора ПВ 9.2. Висота зони осаду 0,3 м; об'єм зони осаду 340 м<sup>3</sup>. Освітлена вода переливається через водозлив і відводиться по кільцевому каналу у відвідний лоток, а далі направляється на ТП6. Здійснюється технологічний контроль по концентрації завислих речовин на вході ( $C_{зав} = 305$  мг/дм<sup>3</sup>) та на виході ( $C_{зав} = 147$  мг/дм<sup>3</sup>). Ефективність видалення становить 52%. На даному етапі здійснюється технологічний контроль мутності стічної води нефелометрично, за концентрацією завислих речовин.



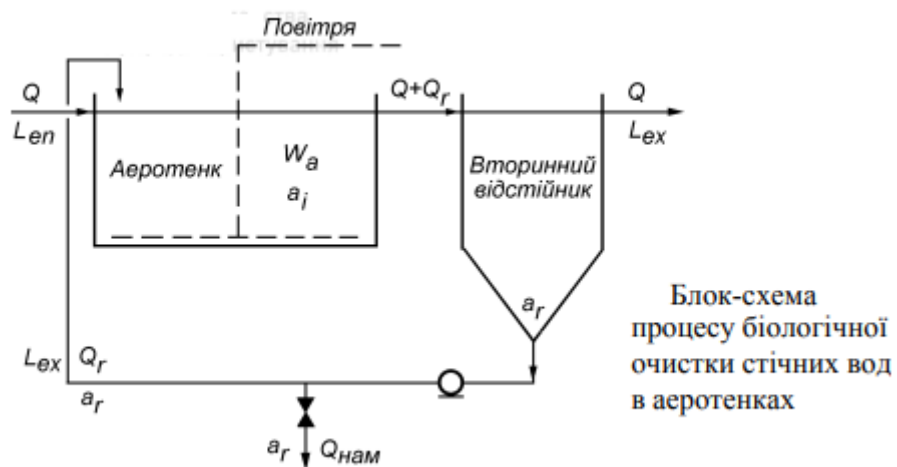


Радіальний первинний відстійник діаметром 18 м:  
 1 - подаючий дюкер; 2 - механічні скрепки; 3 - струмінорозподільний циліндр; 4 - трубопровід для видалення осаду; 5 - відвідний трубопровід освітленої води; 6 - жиросбірник; 7 - привід мулоскреба; 8 - напівзанурена дошка; 9 - водозбірний лоток

## ТП 6. Біологічне очищення стічних вод

### ТП. 6.1. Очищення стічних вод в аеротенку

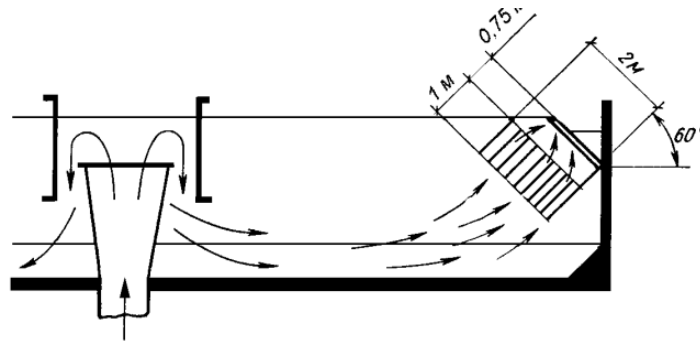
Аеротенк АР-14 – видовжений залізобетонний резервуар, у якому за участі активного мулу проходить окиснення органічних речовин. Для забезпечення киснем процесу аеробного очищення від органічних речовин в аеротенк подається стиснене повітря від ДР 1. Подається рециркуляційний активний мул від ТП 5.2. та стічна вода від споруд механічного очищення. На даному етапі здійснюється технічний, хімічний та мікробіологічний контроль: контролюють інтенсивність аерації, рН води, дозу активного мулу та його гідробіологічні показники, а також вимірюють температуру двічі на добу.



### ТП 6.2. Вторинне відстоювання

Вода переходить до вторинного відстійника В-16, де осаджуються пластівці

активного мулу. Частина активного мулу повертається до ТП 6.1 у вигляді РАМ, а залишок направляється до ПВ 9.1 у вигляді НАМ. Освітлена вода поступає відвідний канал. Тривалість вторинного відстоювання 1,5 години. Вода після очищення переходить на біологічне доочищення на ТП 7. На даному етапі проводиться технологічний контроль концентрації завислих речовин. Вологість осаду  $W=99,2\%$ .



Радіальний відстійник із тонкошаровими боками

#### ТП 7. Доочищення в біологічних ставках

При розрахунку необхідного ступню очищення була виявлена необхідність проектування споруд біологічного доочищення – біологічних ставків. Такі ставки є неглибокими штучно створеними водоймами. При біологічному доочищенні час перебування води в аеробному контактному ставку становить приблизно 8 діб, глибина ставка не більше 1 м.

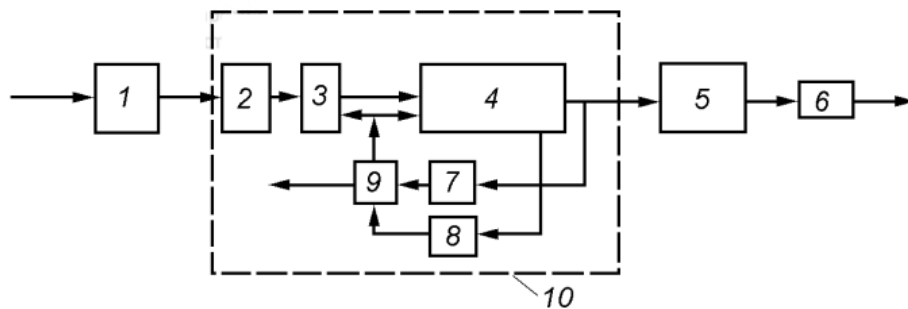


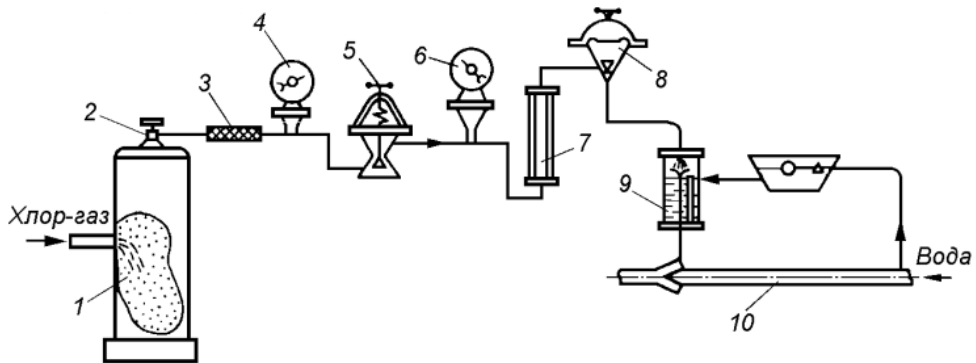
Схема станції доочистки стічних вод:

1 - приймальний резервуар; 2 - насоси для подачі стічних вод на фільтрувальні споруди; 3 - барабанні сітки; 4 - фільтри із зернистим завантаженням; 5 - хлораторна установка; 6 - контактний резервуар; 7 - резервуар води для промивки барабанних сіток і фільтрів; 8 - резервуар брудних промивних вод; 9 - насосна станція для подачі води на промивку і забрудненої промивної води в «голову» очисних споруд; 10 - контур приміщення фільтрувальної станції

#### ТП 8. Знезараження очищеної стічної води

## ТП 8.1. Змішування стічної води з розчином хлору

Розчин хлору від ДР 2 подається у реактор з перемішуючим пристроєм Р-19, в цей же реактор поступає стічна вода від ТП 6.2. На даному етапі здійснюється технічний та хімічний контроль. Суміш стічної води з розчином хлору надходить до контактного резервуару ТП 8.2, де проходять основні хімічні реакції знезараження.



Принципова схема вакуумного хлоратора:

1 - проміжна ємність; 2 - вентиль; 3 - фільтр; 4, 6 - манометри; 5 - понижуючий редуктор; 7 - вимірювач витрати хлору; 8 - запобіжний клапан; 9 - змішувач; 10 - ежектор

## ТП 8.2. Знезараження стічної води в контактному резервуарі

Знезараження проходить шляхом перебування води у контактному резервуарі КР-20, кількість резервуарів проектується не менше двох, час контакту – 30 хвилин. З контактного резервуару відбираються проби, має бути досягнуто  $БСК_{повн} = 3 \text{ мг/дм}^3$ . Знезаражена вода скидається у річку.

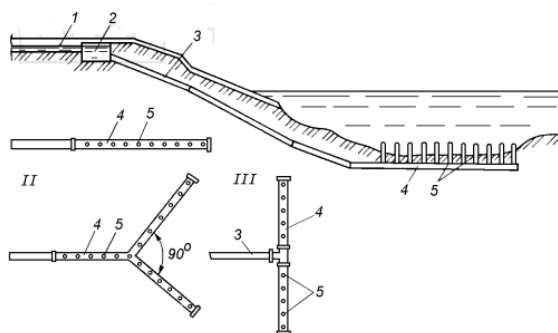


Схема руслового розпоршуючого випуску:  
I, II, III - відповідно поперечна, У-подібна і Т-подібна розпоршуючі частини; 1 - підвідний лоток чи трубопровід; 2 - береговий колодязь; 3 - береговий трубопровід; 4 - розпоршуюча частина; 5 - отвори

## ПВ 9. Обробка осаду та надлишкового активного мулу

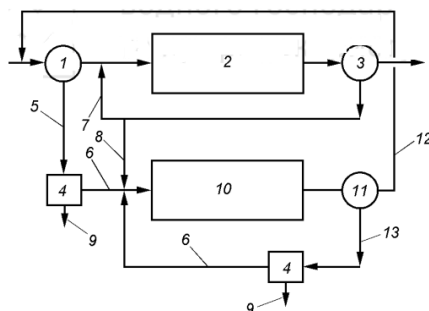
### ПВ 9.1. Аеробна стабілізація надлишкового осаду та надлишкового

## активного мулу

В спорудах, що проектуються за типом аеротенків аеротенків, аеробних стабілізаторах, активний мул та осад з первинних відстійників тривалий час аеруються, в результаті чого розкладається значна частина органічних речовин до кінцевих продуктів, а осад втрачають здатність до загнивання. Біохімічному розпаду піддається біля 65-80% беззольної речовини активного мулу.

### ПВ 9.2. Ущільнення надлишкового активного мулу

Осад ущільнюють для зниження його вологості до 96-97%, що дозволить зменшити загальний об'єм осадів і розміри інших споруд обробки осадів. Зменшення вологості й об'єму осадів здійснюється за допомогою мулоущільнювача МУ-22 гравітаційно. Мул під своєю вагою осідає на дно та відводиться муловідсмоктувачем на подальшу обробку. Час ущільнення 4 години. Мулова вода відкачується насосом Н-23 та повертається до ТП 6.1.



Комбінована схема центрифугування осадів стічних вод:  
1 - первинний відстійник; 2 - аеротенк; 3 - вторинний відстійник; 4 - центрифуги; 5 - сирий осад первинних відстійників; 6 - фугат; 7 - зворотний активний мул; 8 - надлишковий активний мул; 9 - кек; 10 - аеробний стабілізатор; 11 - мулозгущувач; 12 - мулова вода; 13 - ущільнений стабілізований мул

### ПВ 9.3. Дегельмінтизація осадів

Термічна обробка осадів проходить в дегельмінтизаторі Р-24. Це резервуар із теплообмінником змішувиком, до якого подається теплоагент – насичена водяна пара. Процес обробки триває близько 20 хв при температурі 60-70°C, що дозволяє знищити яйця гельмінтів. 20% осаду надходить до ЗВ 9 на зневоднення.

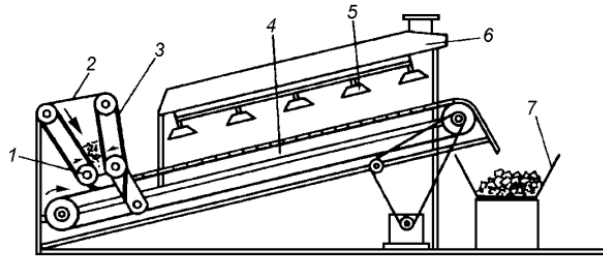
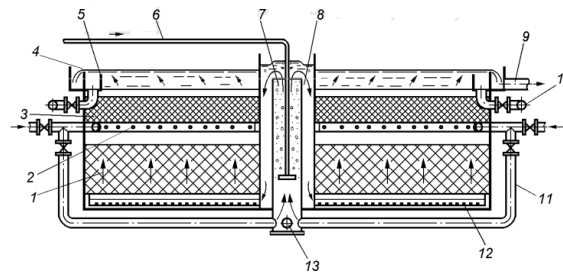


Схема установки для дегельмінтизації осади:

1 - регулювальні вали; 2 - приймальний бункер осаду; 3 - рухомі стінки бункера; 4 - мета-лева стрічка конвейера; 5 - газові горілки інфрачервоного випромінювання; 6 - ви-тяжний зонт; 7 - конвейер обробленого осаду

### ПВ 9.4 Коагуляція осаду

На дану стадію поступають приготовані коагулянти від ДР 2, ДР 4. Осади обробляються послідовно хлорним залізом та гашеним вапном в реакторі Р-29. При такій послідовній обробці удвічі скорочується витрата коагулянтів, а також запобігається гниття осаду й розповсюдження неприємних запахів. Також гашене вапно відіграє роль присаджувального матеріалу, підвищує жорсткість структури осаду. Таким чином, застосування хлорного заліза у поєднанні з гашеним вапном наразі є найбільш поширеним для кондиціонування осадів перед механічним зневодненням.



Біосорбер конструкції НДІ ВОДГЕО:

1 - шар псевдозрідженого завантаження; 2 - дренажна система; 3 - шар щільного завантаження; 4 - водозлив очищеної води; 5 - водозлив промивної води; 6 - повітропровід; 7 - центральна камера аерації; 8 - камера циркуляції; 9 - відвід очищеної води; 10 - відвід промивної води; 11 - циркуляційний трубопровід; 12 - водорозподільна система; 13 - подача стічної води

### ПВ 9.5 Зневоднення осаду на фільтр-пресі

Метою зневоднення на фільтр-пресі є доведення вологості осаду до 70- 80% перед наступним вивезенням, на фільтр-пресі ФП-30 осад ущільнюється до вологості 70%. Осад поступає на фільтрувальні пластини, а потім на пластини подається робочий тиск 0,05 МПа. На стадії здійснюється технічний контроль тиску. Фільтрат повертається до ТП 5.1, а зневоднений

осад вивозиться з очисної станції.

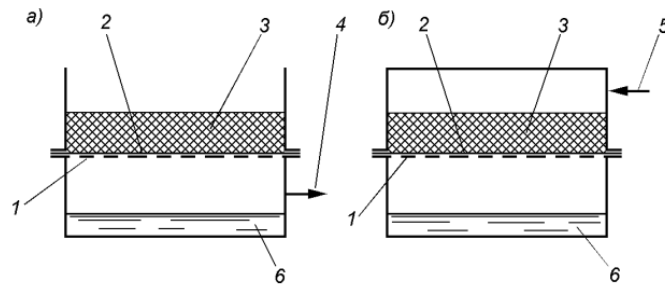
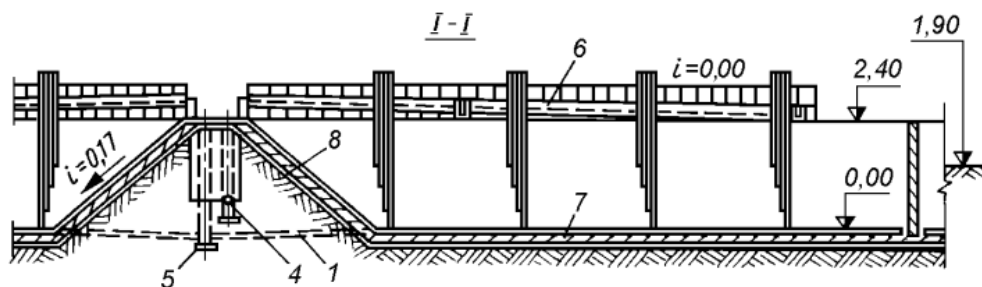


Схема процесів зневоднення осаду  
вакуум-фільтруванням (а) і фільтр-пресуванням (б):  
1 - сітка; 2 - фільтрувальна тканина; 3 - зневоднений осад; 4 - вакуум; 5 - тиск; 6 -  
фільтрат

### ЗВ 10. Зневоднення осаду на мулових майданчиках

20% річних відходів осаду передбачено відводити на аварійні мулові майданчики ММ-25. Осад відводять на підсушування та зберігають на випадок несправності фільтр-пресу. Осади періодично вивозяться, а дренажна вода насосом Н-26 перекачується до ТП 5.1.



Мулові майданчики-ущільнювачі з твердим покриттям:  
1 - трубопровід для відведення мулової води; 2 - трубопровід для подачі осаду; 3 - водовипуски; 4 - колодязь для напускання осаду; 5 - колодязь для мулової води; 6 - розподільний лоток; 7 - бетонowana основа; 8 - земляні валики з твердим покриттям

### ЗВ 11. Зневоднення піску на піскових майданчиках

Піскові майданчики ПМ-27 являють собою дренавані ділянки, огорожені валиками з висотою 1-2 м. Розташовуються близько до пісковловлювачів. На піскові майданчики відводиться піщана пульпа від ТП 5.2. Вода гравітаційно проціджується крізь пісок, а волога випаровується з поверхні шару осаду. Підсушений пісок вивозиться з очисної станції, а дренажна вода насосом Н-28 повертається на ТП 5.1 [14].

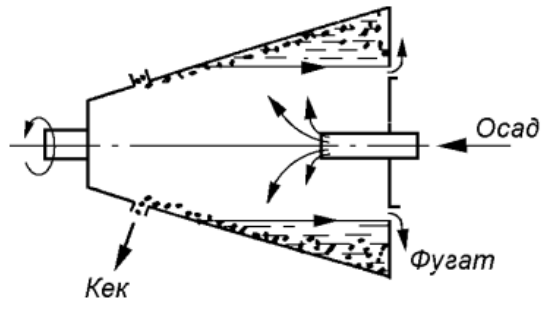


Схема процесу зневоднення осаду центрифугуванням

### 3.2. Дослідження вмісту органічних та мінеральних речовин у складі стічних вод

Згідно статистичних даних вміст органічних речовин у каналізаційних стічних водах складає біля 58%, а решта припадає на мінеральну складову (табл. 3.1) [30].

Таблиця 3.1

#### Якісний склад каналізаційних стічних вод м. Львова та нормативи ГДК забруднюючих речовин

№	Найменування показника	Максимальні концентрації речовин, мг/л	ГДК згідно з правилами охорони поверхневих вод від забруднення
1.	Зважені речовини	300,0	+ 0,75 до фону
2.	ХСК	450,0	30,0
3.	БСК <sub>5</sub>	300,0	6,0
4.	Хлориди	<350	350,0
5.	Сульфати	<450	450,0
6.	Фосфати	6,0	3,5
7.	Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР)	4,0	0,5
8.	Жири	30,0	Відсутні
9.	Нафтопродукти	4,0	0,3
10.	Азот амонійний	15,0	2,0
11.	Нітрати	4,5	45,0
12.	Нітрити	Відсутні	3,3
13.	Сухий залишок	1200,0	1000,0
14.	рН, од.	6,5-8,5	6,5-8,5
15.	Розчинений кисень	0	4,0
16.	Колі-індекс	1000000	<1000
17.	Колі-фаги	–	<1000
18.	ЛКП	–	<5000
19.	Життєздатні яйця гельмінтів	–	Відсутні
20.	Збудники захворювань	–	Відсутні

Як видно із таблиці, така концентрація органічних речовин сприяє активному розвитку ціанобактерій і синьо-зелених водоростей, що в свою чергу призводить до зменшення вмісту кисню у воді та є передумовою евтрофікації води. За таких умов у воді нагромаджується значна кількість біогенних та токсичних речовин, що негативно впливає на ріст та розвиток гідробіонтів [24, 34].



Очищення господарсько-побутових стічних вод на підприємстві «Львівводоканал» здійснюється за сучасною технологією мембранного біологічного реактору (МБР) у блочно-модульному комплексі (БМК) «БРАВО» із МБР. Технологія МБР охоплює процеси біологічного очищення стічних вод від забруднень органічного походження аеробними мікроорганізмами активного мулу та відокремлення очищеної води від активного мулу на ультрафільтраційних мембранах. Технологічну схему очищення господарсько-побутових стічних вод наведено на рис. 3.1.

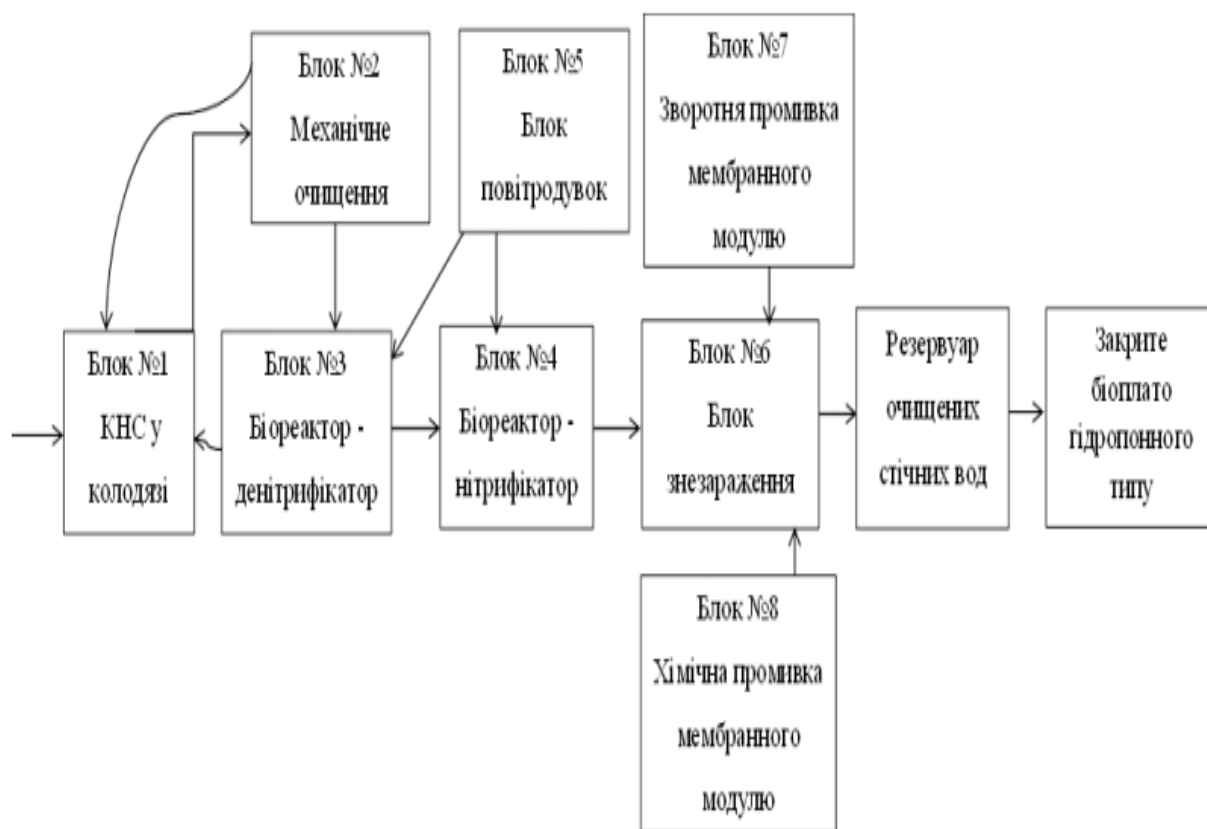


Рис. 3.1. Схема очищення каналізаційних стічних вод

Комплексна система очищення каналізаційних стічних вод, яка використовується «Львівводоканалом» є доволі складною (рис. 3.2), яка суладається із 17 об'єктів, однак ефективною, за більшістю забруднюючими компонентами вода після очищення гранично допустимих концентрацій для поверхневих вод.

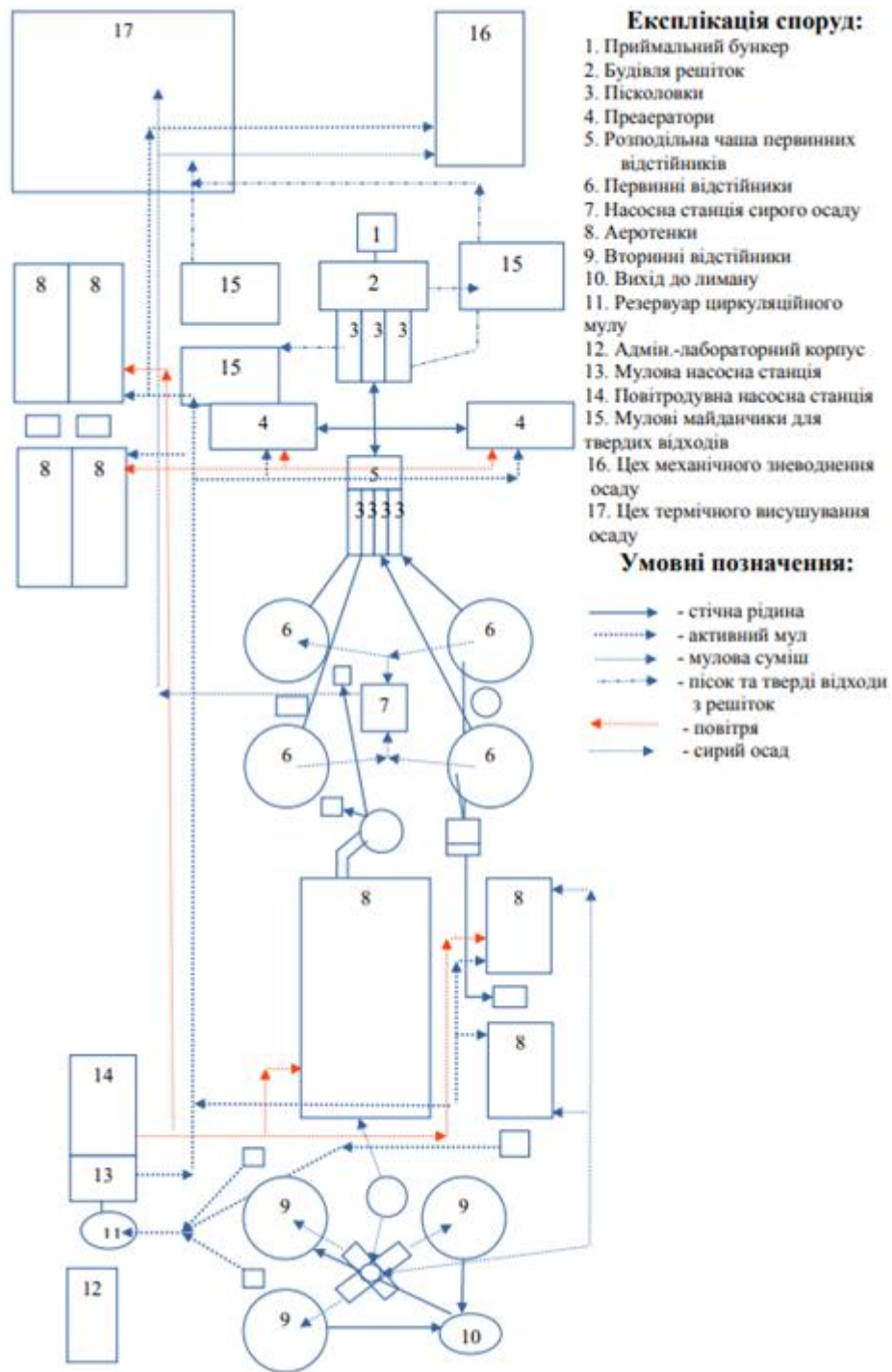


Рис. 3.2. Принципова технологічна схема очищення каналізаційних стічних вод [36].

Лабораторними дослідженнями було встановлено, що вміст у стічних каналізаційних водах амонійного Нітрогену, залежно від пори року, в 5,4 – 7,1 рази перевищував ГДК (рис. 3.3). У результаті технологічного процесу

очищення стоків його вміст знаходився в межах ГДК, лише у квітні, травні та червні дещо перевищував його, однак дані показники знаходилися в межах статистичної похибки.

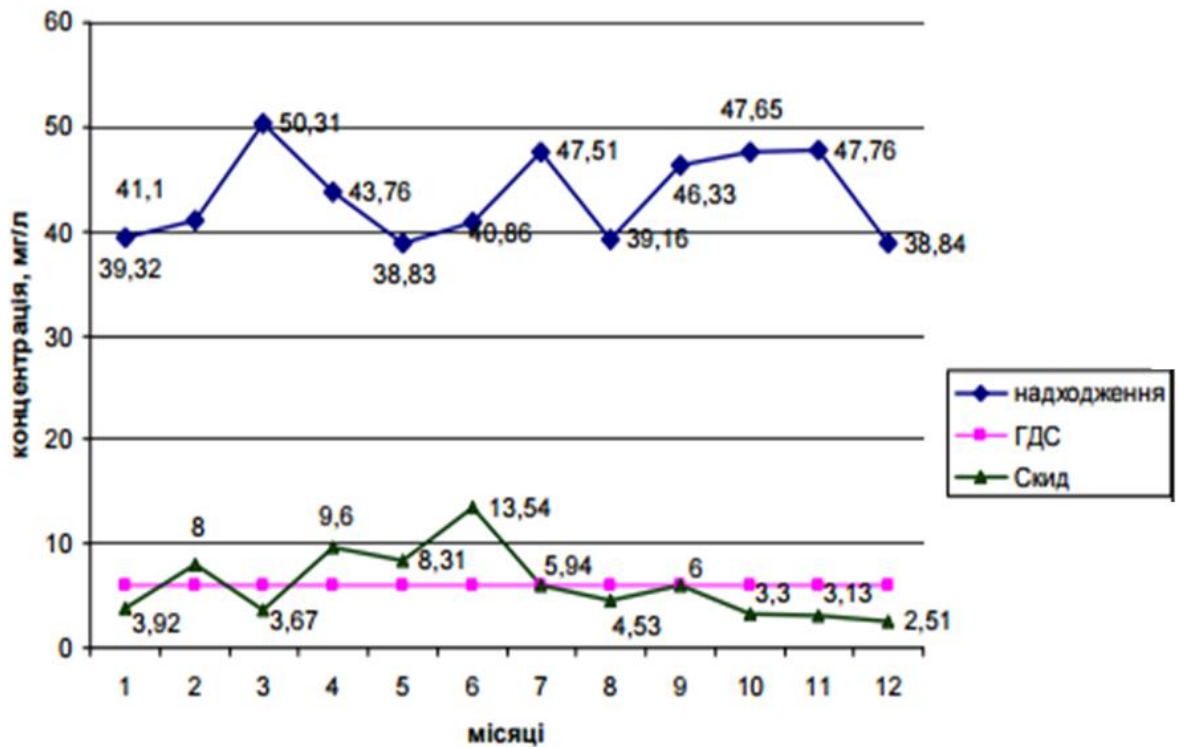


Рис. 3.3. Динаміка вміст Нітрогену амонійного у стічних каналізаційних водах до та після очищення залежно від пори року



Рис. 3.4. Частка Нітрогену амонійного у каналізаційних стічних водах.

Як видно із рис.3.4, основна частка амонійного Нітрогену надходить в каналізаційні стоки від господарсько-побутової діяльності населення 94% та 6% від діяльності підприємств. З даних табл.3.1, видно що за даних технологічних прийомів не вдається повністю очистити каналізаційні стоки від фосфатів та СПАР. Очищення каналізаційних стоків від них відповідно складає 56 % та 75 %. Наявність навіть не значних концентрацій зазначених вище забруднюючих речовин сприяє посиленню евтрофікації, що негативно впливає на ріст та розмноження значної кількості гідробіонтів.

Дисбаланс співвідношення органічних компонентів і азоту призводить до низької ефективності очистки стоків. Для вирішення проблеми, яка склалася навколо очистки стічних вод на каналізаційних очисних спорудах м. Львова, необхідно розглянути можливі способи вдосконалення технологічної схеми очистки стічних вод в коридорних аеротенках з метою досягнення регламентованих показників за вищевказаними забруднювачами.

Для ефективного видалення біогенних елементів зі стічних вод в коридорних аеротенках із застосуванням біотехнології нітри-денітрифікації є просторове розділення процесів очистки шляхом послідовно розташованих зон для здійснення процесів денітрифікації, окислення органічних речовин і нітрифікації в одну або декілька стадій [37].

Технологічний процес ступінчатої нітри-денітрифікації наведений на рис. 3.5, його суть зводиться до того, що на початку процесу стічна вода подається анаеробну зону, де відбувається процес денітрифікації.

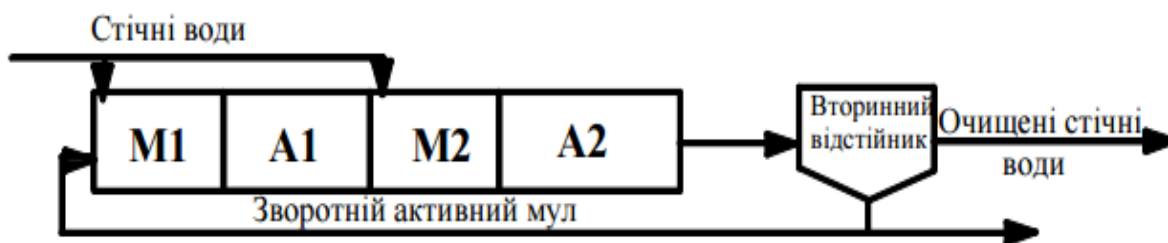


Рис. 3.5. Ступінчатий процес денітрифікації: M1, M2 – зони перемішування; A1, A2 – зони аерації.

Процес денітрифікації проходить за участю ферментних систем денітрифікуючих бактерій, які відновлюють нітрити та нітрати до азоту. Ефективність процесу залежить від анаеробних умов та наявності безазотистих органічних речовин, на окиснення яких використовується Оксиген, який утворюється за рахунок відновлення нітритів та нітратів.

Пройшовши зону денітрифікації, мулова суміш потрапляє в зону нітрифікації (аеробну), де відбувається перетворення нітрифікуючими бактеріями амонійних солей у нітрити та нітрати, які засвоюються бактеріями. Далі мулова суміш, насичена нітритами і нітратами, знову потрапляє в зону денітрифікації. Сюди ж подається частина стічних вод, що дозволяє денітрифікуючим бактеріям відновити нітрити та нітрати до молекулярного азоту.

### 3.3. Перспективи використання гідробіонтів в технології очищення каналізаційних стічних вод

В умовах глобальної урбанізації, зростання чисельності населення, розвитку промислових підприємств сприяє погіршенню якості каналізаційних та стічних вод. Однак, на даний час, одною із головних вимог суспільства є вимога щодо покращення якісних показників очищеної стічної води. Тому, необхідно розробляти і запроваджувати нові технологічні прийоми та методи щодо біологічного очищення стічної води, які б забезпечили її регламентовану якість.

У результаті лабораторних досліджень вмісту основних забруднюючих компонентів стічних вод було встановлено перевищування ГДК за вмістом амонійного Нітрогену, фосфатами та БСК<sub>5</sub> та важкими металами (табл. 3.2). В експериментальних умовах, для покращення очищення стічних вод були використані міксоміцети (біомаса грибів).

Таблиця 3.2.

Біоконверсія грибною біомасою органічних та мінеральних залишків стічних вод

Хімічна речовина	Вміст до очищення	Вміст після очищення	Вміст після застосування грибної біомаси
Амонійний азот	32,3	17,2	1,7
Нітрати	6,72	4,15	0,51
Нітрити	5,34	3,87	1,2
Фосфати	7,53	4,27	0,54
Хлориди	98,7	48,4	3,2
Сульфати	39,5	15,4	4,7
БСК <sub>5</sub>	126	79	3
Fe	4,2	2,1	0
Cr	1,9	0,7	0
Ni	1,56	0,89	0
Cu	2,34	1,17	0

Як видно із табл. 3.2, міксоміцети у вигляді біомаси грибів, активно трансформують у стічній воді після очищення як органічні, так й мінеральні речовини. Так, за додаткового використання міксоміцетів, вміст амонійного Нітрогену зменшився в 10 разів, БСК<sub>5</sub> у 26 разів, концентрація нітритів, нітратів, фосфатів, хлоридів та сульфатів відповідно знизилась приблизно у 8; 3; 8; 15 та 3 рази. Що стосується біогенних та важких металів, то використана популяція грибної біомаси практично повністю трансформувала їх.

Наочна динаміка трансформації органічних та мінеральних речовин різними популяцій міксоміцетів у досліджуваних стічних водах наведена на рис. 3.6.

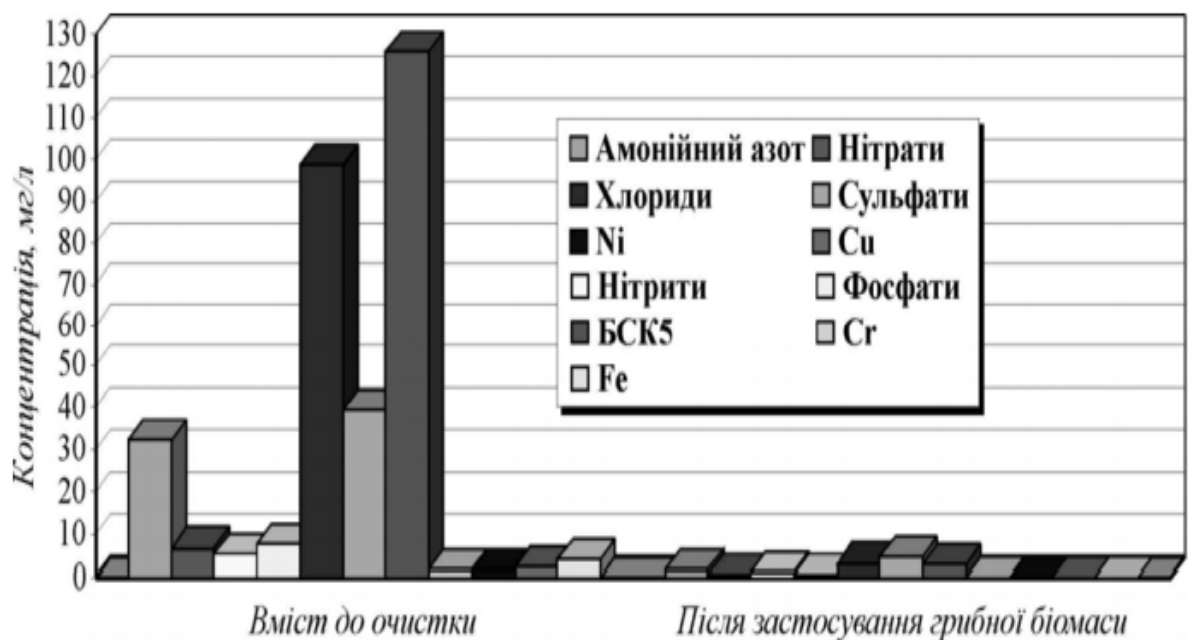


Рис. 3.6. Динаміка трансформації міксоміцетами органічних та мінеральних речовин досліджуваних стічних водах

Наступною метою наших експериментальних досліджень було вивчити активність окремих популяцій міксоміцетів щодо трансформації як органічних, так й неорганічних речовин у стічних каналізаційних водах. Серед семи досліджуваних популяцій міксоміцетів найбільш активними

щодо трансформації забруднених речовин із стічних вод виявилися наступні популяції:

- *Ulocladium consortiale*;
- *Arthrotrus oligospora*;
- *Arthrinium phaeospermum* (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Динаміка активності популяцій мікроміцетів щодо трансформації органічних та мінеральних речовин стічних вод

№ з/п	Видовий склад мікроміцетів очисних споруд	Активність видів у деструкції органіки	Активність в адсорбції металів
1	<i>Penicillium nigricans</i>	+	+
2	<i>Penicillium expansum</i>	+	+
3	<i>Penicillium vinaceum</i>	++	+
4	<i>Ulocladium consortiale</i>	+++	+++
5	<i>Arthrotrus oligospora</i>	+++	+++
6	<i>Arthrinium phaeospermum</i>	+++	++
7	<i>Mucor hiemalis</i>	++	+

У таблиці 3.4. наведені дані щодо трансформації біогенних та важких металів вище наведеними популяціями міксоміцетів. Як видно із таблиці саме три популяції (*Ulocladium consortiale*, *Arthrotrus oligospora*; та *Arthrinium phaeospermum*) повністю адсорбують із стічних вод досліджувані метали.

Таблиця 3.4.

Активність мікроміцетів у сорбції металів

Види грибів	Вміст металів після застосування грибів		
	Fe	Ni	Cu
<i>P.nigricans</i>	2,3	0,78	1,7
<i>P.expansum</i>	1,7	0,9	0,5
<i>P.vinaceum</i>	2,4	0,71	1,03
<i>Ulocladium</i>	Слідові кількості	-	-
<i>Aethrobotrus oligosp.</i>	-	-	-
<i>Aethrinium</i>	-	-	-
<i>Mucor hiemalis</i>	3,2	0,9	1,72



Міксоміцети також проявляють високу активність щодо використання завислих у стічній воді органічних решток (табл. 3.5). Особливо це стосується популяцій *Ulocladium consortiale*, *Arthrotrus oligospora*; та *Arthrinium phaeospermum*, які в середньому в два рази більш ефективніші за інші популяції міксоміцетів при дослідженні біологічного поглинання кисню за 5 днів та відповідно у 16 разів при дослідженні біологічного поглинання кисню за 20 днів.

Таблиця 3.5.

Динаміка утилізації міксоміцетами залишків органічних решток у каналізаційних стічних водах

Види грибів	БПК <sub>5</sub>	БПК <sub>20</sub>
<i>P.nigricurs</i>	89	34
<i>P.expansum</i>	78	31
<i>P.vinaceum</i>	74	28
<i>Ulocladium</i>	52	3
<i>Aethrobotrus oligosp</i>	44	2
<i>Aethrinium</i>	37	2
<i>Mucor hiemalis</i>	97	35

Таким чином, враховуючи наші експериментальні дослідження можна стверджувати, що використання міксоміцетів, особливо популяцій *Ulocladium consortiale*, *Arthrotrus oligospora*; та *Arthrinium phaeospermum* забезпечать ефективне очищення стічних вод до регламентованих якісних показників.

### 3.4. Розрахункові концентрації забруднень стічних каналізаційних вод м. Львова

Концентрація забруднень міських СВ визначається за формулою:

$$C = \frac{a \cdot N}{Q_{\text{побут}}}, \text{ мг/дм}^3$$

де:

$a$  - маса забруднюючих речовин, що припадає на одного жителя, за добу, г/доб, яка визначається за описаним методом [17] і приймається: 65 г/доб – для ЗР, 75 г/доб – БСК<sub>повн</sub>, 2,5 г/доб – ПАР;

$N$  – кількість жителів у місті Львові (720 000 станом на 01.01. 2022 року) [32]:

Концентрація завислих речовин у міських СВ:

$$C_{\text{ЗР}} = \frac{a_{\text{ЗР}} \cdot N}{Q_{\text{побут}}}$$

$$= 65 \times 720\,000 : 70\,000 = 670 \text{ мг/дм}^3.$$

Концентрація органічних речовин за БСК<sub>повн</sub> у міських СВ:

$$C_{\text{БСК}} = \frac{a_{\text{БСК}} \cdot N}{Q_{\text{побут}}} :$$

$$= 75 \times 720\,000 : 70\,000 = 770 \text{ мг/дм}^3.$$

Концентрація ПАР у міських СВ:

$$C_{\text{ПАР}} = \frac{a_{\text{ПАР}} \cdot N}{Q_{\text{побут}}}$$

$$= 2,5 \times 720\,000 : 70\,000 = 26 \text{ мг/дм}^3.$$

Концентрація фосфатів у міських СВ:

$$C_{\text{PO}_4^{3-}} = \frac{a_{\text{PO}_4^{3-}} \cdot N}{Q_{\text{побут}}}$$

$$= 5,7 \times 720\,000 : 70\,000 = 58 \text{ мг/дм}^3.$$



## ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. На основі літературних даних та інтернет ресурсу проаналізовано сучасні технології очищення каналізаційних стічних вод. Розглянуто існуючі методи фізико-хімічного та біологічного очищення та обґрунтована доцільність використання біотенків із іммобілізованою мікробною біомасою.

2. Подана характеристика господарської діяльності, розташування, історії встановлення та функціонування ЛМКП «Львівводоканал». Розраховано математичним способом концентрації забруднень стічних каналізаційних вод м. Львова.

3. У лабораторних умовах проведений контроль якості каналізаційних стічних вод фізико-хімічними методами аналізу. Досліджено вмісту органічних та мінеральних речовин у складі стічних вод.

4. Обрано та описано економічно доцільне апаратне забезпечення та основні ланки технологічного процесу очищення міських каналізаційних стічних вод м. Львова.

5. На основі експериментальних досліджень встановлено, що використання міксоміцетів, особливо популяцій *Ulocladium consortiale*, *Arthrotrichum oligospora*; та *Arthrimum phaeospermum* забезпечує ефективне очищення стічних вод до регламентованих якісних показників.

1. 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](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPX_2014_787_20).
2. Саблій Л.А. Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод: Монографія / Л. А. Саблій. Рівне: НУВГП, 2013. 292 с.
3. ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація: Проектування Зовнішніх Мереж та Споруд
4. Крусір Г. В. Дослідження режимів процесу анаеробного зброджування стічних вод м'ясопереробного підприємства у мезофільних умовах / Г. В. Крусір, О. О. Чернишова, В. М. Поліщук. // Екологічна безпека. 2016. №2. С. 112–117
5. Старун В.Ю. Використання мікроводоростей для очищення стічних вод пивоварних заводів «Біотехнологія ХХІ століття» Матеріали XV Всеукраїнської науково-практичної конференції , м. Київ 23 квіт 2021 р. С. 153.
6. З. С. Одноріг, О. Р. Василюк, О. І. Рубай, і Д. О. Березюк, «Модернізація технологічної лінії очищення стічних вод птахофабрики,» Науковий вісник НЛТУ України, № 29 (3), с. 96-98, 2019.
7. A review on anaerobic biofilm reactors for the treatment of dairy industry wastewater / D.Karadag, O. Köroğlu, B. Ozkaya, M. Sakmakci. 2014.
8. 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
9. 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.

10. Крамаренко Л.В. Технологія очищення природних вод: Навчальний посібник. Харків: ХНАМГ, 2008. 145 с

11. 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.

12. Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною". ДСанПіН 2.2.4-171-10. затверджено наказ міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010 №400. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 1 липня 2010 р. за N 452/17747

13. Орлов В.О. Водопостачання промислових підприємств: Навчальний посібник / В.О. Орлов, Л.Л. Литвиненко, А.М. Орлова. К.: Знання, 2014. 278 с

14. Рудник, В.П. Експлуатація систем водопостачання / В.П. Рудник, П.М. Петімко, В.Д. Семенюк, Ю.С. Сергєєв. Київ: Будівельник. 2013. 126 с.

15. Орлов В.О. Водопостачання та водовідведення / Підручник. Затверджено МОН // Орлов В.О., Тугай Я.А., Орлова А.М. К. 2011. 359 с.

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. Сакалова Г.В. Очищення стічних від іонів хрому природними дисперсними сорбентами. Технологічні аспекти. Вісник ХНУ, 2018, №6(267), Ч.2. С.109-115.

18. Мальований М.С., Петрушка І.М. Очищення стічних вод природними дисперсними сорбентами: монографія. Львів: В-во Львівської політехніки, 2012. 164с.

19. Мальований А. М., Ятчишин Й. Й., Мальований М. С. Законодавчі та технологічні аспекти видалення біогенних елементів із побутових стоків в Україні та Європейському союзу. Вісник КДУ ім. Михайла Остроградського. 2010. № 64(5). С. 151–158.

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

21. Ткачов В.В., Стаднік М.І., Шевченко В.І., Козарь М.В., Карпеко О.В. Технічні засоби автоматизації: Навчальний посібник. Д.: НТУ «Дніпровська політехніка». 2018. 142 с.

22. 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.

23. Сафоник А. П., Таргоній І. М., Лакус П. О. Моделювання та дослідження процесу біологічної очистки води з урахуванням температурного режиму. Вісник ЖДТУ. 2019. № 1 (83). С.115 –125.

24. Сафоник А. П., Клепач М. І., Таргоній І. М. Дослідження та автоматизація реакторів біологічного очищення стоків при контролі концентрації кисню. Радіоелектроніка, інформатика, управління. 2017. № 3. С.192 –197.

25. Олійник О. Я., Колпакова О. А. Моделювання і розрахунки біологічної очистки стічних вод на краплинних біофільтрах. Екологічна безпека та природокористування. 2014. Вип. 16. С. 68–86

26. 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.

27. 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.

28. Епоян С. М., Сухоруков Д. Г. Особливості роботи пористої полімербетонної перегородки водопровідного горизонтального відстійника і її регенерація. Науковий вісник будівництва. 2012. Вип. 69. С. 327–331.

29. Грицина О.О., Волощук В.А., Бляшина М.В., Жукова В.С. Дослідження температурних режимів очищення стічних вод системи первинний відстійник – аеротенк вторинний відстійник. Х.: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2017. Т. 90, №4. С.171–175.

30. Бойко Т. В., Жежерун Я. В. Алгоритмізація розрахунку біологічного очищення стічних вод в аеротенках. Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і системах сталого розвитку. 2019. С. 290–293.

31. 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.

32. І. М. Таварткіладзе, О. В. Замогильна, і О. А. Коваль, «Попередня очистка стічних вод від виробництва плит МДФ,» [Електронний ресурс]. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, № 18, с. 49-59, 2012. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG\\_2012\\_18\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG_2012_18_7) .

33. М.Д. Волошин, О.Л. Щербак, Я.М. Черненко, І.М. Корнієнко. Удосконалення технології біологічної очистки стічних вод. Дніпродзержинськ: ДДТУ. 2009. 230 с.

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



35. Айрапетян Т. С. Конспект лекцій з дисциплін «Очистка побутових стічних вод» та «Спори та обладнання водовідведення» / Т. С. Айрапетян; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Х.: ХНУМГ, 2014. 121 с.

36. Hay, J.X.W., Wu, T.Y., Juan, J.C. et al. Effect of adding brewery wastewater to pulp and paper mill effluent to enhance the photofermentation process: wastewater characteristics, biohydrogen production, overall performance, and kinetic modeling. *Environ Sci Pollut Res* 24, 10354–10363 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8557-9>

37. 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.

38. 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.

39. Саблій Л.А., Жукова В. С., Бойчук С. Д. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Біотехнологія очищення води» напряму підготовки 6.051401 – біотехнологія, Електронне видання. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 58 с.

40. Колодійчук І. А. Формування територіально збалансованих систем управління відходами: регіональний вимір: монографія. Львів: ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М. І. Долишнього НАН України», 2020. 524 с.

41. Львівська міська рада: <https://city-adm.lviv.ua/lmr/utilities/lkr-lvivvodokanal>.