

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

Форма № Н-9.02

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут нафти і газу

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра прикладної екології та природокористування

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка
до бакалаврської кваліфікаційної роботи
бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **«Комплексний підхід до очищення стічних вод у контексті їх
раціонального використання»**

Виконав: студент 4-го курсу, групи 401-СЕ

Спеціальність 101 Екологія

(шифр і назва)

Бондар С.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

к.б.н., доцент Смоляр Н.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: к.б.н., доцент,
доцент кафедри ботаніки, екології та
методики навчання біології
Полтавського національного
педагогічного університету
імені В.Г. Короленка

Ханнанова О.Р.

(прізвище та ініціали)

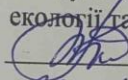
2022 р.

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

Форма № Н-9.01

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут нафти і газу
Кафедра прикладної екології та природокористування
світний рівень бакалавр
спеціальність 101 Екологія
(цифра і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри прикладної
екології та природокористування
 О.В. Степова
"10" червня 2022 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

Бондару Сергію Александровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи "Уважливіший підхід до очищення
стічних вод в контексті їх раціонального
використання"

Рівень роботи Семанер Ж.О., к.б.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом вищого навчального закладу
"01" 04 2022 року № 156 ра

Строк завершення студентом роботи 13.06.2022р.

Вихідні дані до роботи Матеріали офіційних
сайтів та аналізи інформаційних
джерел наукового простору.

Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Характеристика стічних вод, їх класифікація.
2. Загальна характеристика методів очищення стічних вод.
3. Особливості біологічних методів очищення стічних вод.
4. Математичне моделювання процесів біологічного очищення стічних вод.
5. Обґрунтування кількісного виходу

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) ^{10 листів}

Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Збір та опрацювання вихідних даних.	03.05 - 30.05	
2.	Аналітична частина роботи	31.05 - 5.06	
3.	Формулювання висновків та оформлення кваліфікаційної роботи.	06.06 - 12.06	
		13.06 - 15.06	

дент

С.В.М.
(підпис)

Бондар С.О.

(прізвище та ініціали)

івник роботи

У.В.Д.
(підпис)

Смирнов Я.О.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	.....
РОЗДІЛ 1. СТІЧНІ ВОДИ ЯК ОБ'ЄКТ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ.....	.....
1.1.Склад та властивості стічних вод.....	.....
1.2.Розрахунок і нормативи випуску стічних вод у водойми.....	.....
РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	.....
2.1. Знезаражування стічної рідини й випуск її у водойми.....	.....
2.2. Механічне очищення стічних вод.....	.....
2.3. Хімічне очищення стічних вод.....	.....
2.4. Фізико-хімічні методи очистки стічних вод.....	.....
2.4.1. Застосування сорбційних методів для очищення стічних вод.....	.....
2.4.2. Активоване вугілля в процесах водопідготовки.....	.....
2.4.3. Невуглецеві сорбенти в процесах водоочищення.....	.....
2.4.4. Органічні іоніти.....	.....
2.5. Біологічне очищення стічних вод.....	.....
РОЗДІЛ 3. БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ЯК ОДИН ІЗ ЕФЕКТИВНИХ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД .....	.....
3.1. Основи біологічного очищення води.....	.....
3.2. Очищення стічної води за допомогою біоплівки.....	.....
3.3. Аналіз основних проблем біологічного очищення води.....	.....
РОЗДІЛ 4. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД .....	.....
4.1. Основні принципи математичного та імітаційного моделювання.....	.....
4.2. Системний підхід до побудови математичних моделей.....	.....
4.3. Дослідження процесу біологічного очищення стічних вод за допомогою математичного моделювання.....	.....
4.3.1. Побудова концептуальної і математичної моделей.....	.....
4.3.2. Верифікація математичної моделі.....	.....
4.3.3. Алгоритм проведення імітаційного експерименту.....	.....
РОЗДІЛ 5. КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	.....
ВИСНОВКИ.....	.....
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ.....	.....

ВСТУП

Зі збільшенням чисельності населення на Землі зростала й кількість міст та інших поселень, і вже наприкінці XIX ст. деякі річки в густо заселених регіонах були настільки забруднені, що не зважати на це було просто неможливо. Відомо, що санітарна комісія, яка досліджувала на початку XXI століття стан річки, що протікає через один із великих промислових центрів Англії – Брандфорд, написала свій звіт, вмочаючи перо безпосередньо у воду цієї річки. З'ясувалося, що самоочисна здатність водойм не є безмежною і покликана забезпечувати очищення води тільки від забруднень, що потрапляють у неї звичайним природним шляхом. Додаткове, штучне навантаження на водну екосистему згубно позначається на нормальному її функціонуванні, на життєдіяльності організмів, що її населяють, а отже, й на самоочисній здатності водойми, і вона врешті-решт перетворюється на брудну, смердючу клоаку.

То ж не дивно, що з усією гостротою постала потреба збирати стічні води, організовано їх відводити і знешкоджувати. З цією метою створено чимало різних методів очищення стічних вод, які групуються в механічні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні.

Основними джерелами забруднення і засмічення водойм є недостатньо очищені стічні води промислових і комунальних підприємств, крупних тваринницьких комплексів, відходи виробництва при розробці рудних копалин; води шахт, рудників, обробці і сплаві лісоматеріалів; скидання водного і залізничного транспорту; відходи первинної обробки льону, пестициди тощо. Забруднюючі речовини при надходженні до природних водойм, призводять до якісних змін води, які, в основному, вияляються в зміні фізичних властивостей води (зокрема, поява неприємних запахів, присмаків тощо), в зміні хімічного складу води (зокрема, поява в ній хімічних речовин), у наявності плаваючих речовин на поверхні вод й відкладання їх на дні цих водойм.

Україна завжди надавала йнадає належну увагу охороні водного басейну.

Давні народні традиції зобов'язували українців благоговійно ставитись до джерел, річок та озер. Не випадково саме в Україні вперше було створено й уведено в експлуатацію штучні біологічні споруди – поля зрошення: у 1887 р. в Одесі та в 1894 р. в Києві.

Біологічне очищення води було, є і буде основним методом охорони природних вод від хімічного та біологічного забруднення. В перманентному і вічному самоочищенні води саме водні організми – гідробіонти – беруть активну участь із моменту їхньої появи у воді. З огляду на відносну дешевизну, надійність та екологічну безпеку саме біологічне очищення стічних вод займає перше місце серед інших методів очищення стічних вод, які все ж слід використовувати комплексно.

Мета наукового дослідження за темою кваліфікаційної роботи – обґрунтувати доцільність застосування комплексного підходу до методів очищення стічних вод в контексті їх раціонального використання.

Основні завдання дослідження:

- охарактеризувати стічні води як продукт технологічних процесів і забруднювач навколишнього середовища;
- з'ясувати нормативно-правовий супровід вирішення проблем стічних вод в Україні;
- охарактеризувати основні методи очищення стічних вод із визначенням їх переваг і недоліків;
- висвітлити переваги й екологічну доцільність застосування біологічних методів очищення стічних вод;
- запропонувати математичне моделювання процесу біологічного очищення стічних вод;
- обґрунтувати доцільність комплексного підходу до застосування методів очищення стічних вод.

Об'єкт дослідження – стічні води як продукт технологічних процесів на виробництвах.

Предмет дослідження – обґрунтування доцільності комплексного

підходу до очищення стічних вод для підвищення ефективності зменшення забруднення навколишнього середовища від них.

У ході виконання наукового дослідження нами використано загальноприйняті у науці та в прикладній екології зокрема такі методи: аналіз, узагальнення, співставлення, порівняння, а також експериментальні методи та методи екологічного моделювання та прогнозування.

Кваліфікаційна робота виконана на базі кафедри прикладної екології та природокористування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» упродовж 2021-2022 навчального року.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості застосування їх для доповнення банку даних щодо методів очищення стічних вод при плануванні та проектуванні екологічних об'єктів та вирішення конкретних екологічних задач прикладного характеру.

Апробація результатів досліджень. Деякі результати досліджень лягли в основу доповіді, з якою автор взяв участь у роботі наукового заходу – 74-тій науковій конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», квітень-травень 2022 року, та опубліковані в збірнику тез цієї конференції.

Структура роботи включає вступ, п'ять розділів (основні – з підрозділами), висновки та список використаних інформаційних джерел). Загальний текст роботи викладений на .. сторінках машинописного тексту, із яких основного тексту – .. сторінки.

РОЗДІЛ 1.

СТІЧНІ ВОДИ ЯК ОБ'ЄКТ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ

1.1.Склад та властивості стічних вод

Згідно з Водним кодексом України, стічна вода – вода, що утворилася в процесі господарсько-побутової і виробничої діяльності (крім шахтної, кар'єрної і дренажної води), а також відведена з забудованої території, на якій вона утворилася внаслідок випадання атмосферних опадів. Термін «стічні води» не можна підмінити неунормованим не науковим виразом «стоки», який часто зустрічається в аматорських текстах.

Стічні води в залежності від походження та складу забруднювальних речовин (домішок) поділяються на чотири основні категорії: господарсько-побутові, промислові (виробничі), сільськогосподарські та дощові стічні води, що стікають із території виробничих об'єктів та населених пунктів у результаті випадання атмосферних опадів чи поливання вулиць. Як правило, стічні води з територій виробничих об'єктів та населених пунктів видаляються системами каналізації. Стічні води забруднені різними домішками – мінеральними, органічними, а також містять патогенні (хвороботворні) мікроорганізми.

Стічні води вважаються очищеними, якщо вони мають такі показники:

- біохімічне споживання кисню не перевищує 50 мг/л;
- відсутні плаваючі органічні забруднювальні речовини;
- уміст завислих частинок не перевищує 60 мг/л;
- уміст нафти (конденсату) при екстрагуванні ефіром не перевищує 5 мг/л;
- кольоровість (колірність) – понад 20 одиниць (за платинокобальтовою шкалою);
- водневий показник складає рН = 6-9.

Склад стічних вод характеризується вмістом органічних і мінеральних забруднень у нерозчиненому, колоїдному і розчиненому станах. У стічних водах міститься близько 60% органічних і 40% мінеральних забруднень.

Органічні забруднення бувають рослинного походження (залишки плодів, овочів, рослин, папір та ін.) і тваринного походження (фізіологічні виділення людей і тварин, органічні кислоти, залишки тканин живих організмів, різні бактерії, у тому числі і хвороботворні, дріжджові і цвілеві гриби, що викликають, так звані, бактеріальні і біологічні забруднення). Атмосферні стічні води містять переважно мінеральні забруднення й у меншій кількості органічні забруднення. Склад і концентрація стічних промислових вод дуже різноманітні, тому що вони залежать від характеру виробництва, що випускається продукції й особливостей технологічного процесу.

Промислові стічні води поділяють на дві основні категорії: забруднені і незабруднені (умовно чисті).

Забруднені стічні води містять різні домішки і поділяються на три групи:

1. Забруднені переважно мінеральними домішками (підприємства металургійної, машинобудівної, рудо- і вуглевидобувної промисловості; заводи з виробництва мінеральних добрив, кислот, будівельних виробів і матеріалів тощо).

2. Забруднені переважно органічними домішками (підприємства м'ясної, рибної, молочної, харчової, целюлозно-паперової, хімічної, мікробіологічної промисловості; заводи з виробництва пластмас, каучуку тощо)

3. Забруднені мінеральними й органічними домішками (підприємства нафтовидобувної, нафтопереробної, нафтохімічної, текстильної, легкої, фармацевтичної промисловості; заводи з виробництва консервів, цукру, продуктів органічного синтезу, паперу, вітамінів та ін.).

Склад промислових стічних вод пов'язаний із характером технологічного процесу на підприємстві. Вода використовується як теплоносій, розчинник, засіб для транспортування, для вилучення викидів і інших потреб. Активна реакція стічних вод коливається від кислої до лужної. Вони містять різні хімічні речовини, в тому числі токсичні, часто мають специфічний запах, колір, підвищену температуру.

Фекальні стічні води надходять із житлових, і громадських будівель,

побутових приміщень промислових підприємств. Вони включають води із кухонь, вбиралень, лазень, пралень, лікарських закладів тощо. Ці води містять велику кількість органічних речовин (близько 60%), характеризуються значною каламутністю, слаболужною реакцією ($\text{pH}=7,2-7,6$), великою кількістю завислих частинок. Вони небезпечні в епідемічному відношенні, оскільки містять патогенні мікроорганізми і ентеровіруси, а також велику кількість яєць гельмінтів.

Зливові води поділяють на дощові і розталі. Ці води каламутні, містять велику кількість ґрунтових домішок, мікроорганізмів, їх склад в значній мірі залежить від санітарного стану територій, з яких вони стікають. Скидання неочищених зливових вод у водойми може зумовити їх забруднення.

Різні стоки збільшують каламутність води, надають воді специфічного запаху, кольору. На окиснення органічних речовин, що містяться у стічних водах, витрачається багато кисню води, внаслідок чого вода у водоймі може загнивати, викликати загибель водоростей, риби і інших тварин у водоймі. Неочищені стоки містять значну кількість збудників інфекційних захворювань і яєць гельмінтів, що небезпечно в епідемічному відношенні.

Щоб попередити забруднення водойм, які є джерелом питного і культурно-оздоровчого водокористування, стічні води перед спуском у відкриті водойми необхідно очищати й знезаражувати.

Для прийому стічних вод у місцях їх утворення, транспортування, очистки, знезараження і випуску їх у водойми або на ґрунтові ділянки, використовується сплавна система (каналізація). Вона до мінімуму зводить контакт людей з нечистотами, сприяє високому санітарному комфорту, попереджує забруднення рідкими речовинами об'єктів навколишнього середовища: ґрунту, повітря, водойм. Вона економічно дешевша, ніж вивіз.

Каналізація буває господарсько-фекальна, промислова і зливова. Господарсько-фекальна каналізація приймає стічні води і рідкі речовини, які утворюються внаслідок господарсько-побутової діяльності і фізіологічних відправлень людини. Промислова каналізація відводить стічні води від

підприємств, зливно-дошові і розталі води. Каналізація може бути роздільною і загальносплавною. Роздільна система передбачає окремий збір, транспортування і очистку стоків кожна з описаних вище видів каналізації. Загально-сплавна каналізація призначена для відведення всіх стоків разом.

Каналізація складається з послідовно сполучених внутрішньо-квартирних, будинкових, міських і позаміських трубопроводів, по яких рідкі речовини відводяться на очисні споруди. Улаштування каналізацію, необхідно передбачити непроникність труб у місцях їх з'єднання, щоб стоки не забруднювали ґрунт. Процес очищення господарсько-фекальних стічних вод можна розділити на три послідовні етапи: механічне (звільнення від грубих мінеральних і органічних часток), біологічне (мініралізація органічних речовин, які знаходяться в колоїдному або розчиненому стані) і знезаражування.

Для розробки раціональної схеми водовідведення та оцінки можливості повторного використання промислових стічних вод вивчається їх зміст і режим водовідведення. При цьому аналізуються фізико-хімічні показники стічних вод і режим потрапляння в каналізаційну мережу не тільки загального стоку промислового підприємства, але і стічних вод від окремих цехів, а при необхідності від окремих апаратів.

У цих стічних водах повинні визначатися такі основні показники як:

- вміст компонентів, специфічних для даного виду підприємства (фенолів, нафтопродуктів, поверхнево-активних, отруйних, радіоактивних, вибухо-небезпечних речовин);
- загальна кількість органічних речовин, які виражені через величини БПК_{повн} і ХПК;
- активна реакція;
- інтенсивність забарвлення (колірність);
- ступінь мініралізації.

На практиці застосовуються одноступінчасті і багатоступінчасті системи очищення. Одноступінчата схема очищення стічної води представлена на

рис.1.

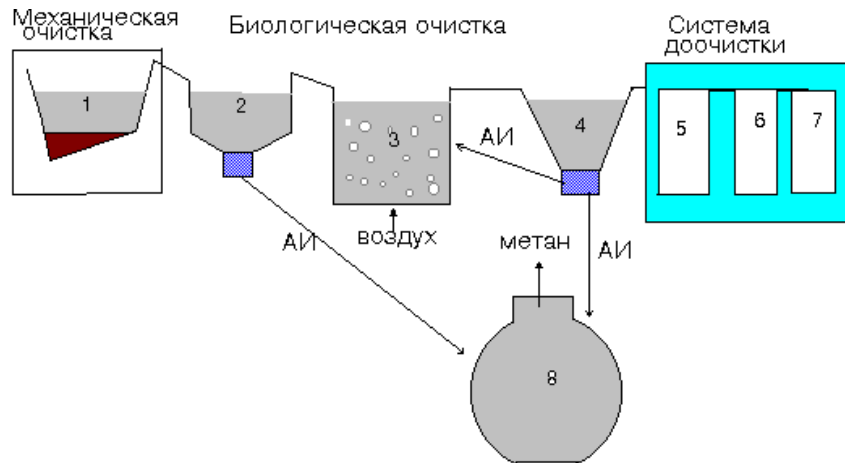


Рис. 1. Принципова схема очисних споруд

1 – пісколовки; 2 – первинні відстійники; 3 – аеротенк; 4 – вторинні відстійники; 5 – біологічні ставки; 6 – освітлювач; 7 – реагентна обробка; 8 – метатенк; АИ – активний мул.

Також необхідно встановлювати також такі параметри, як кінетика осідання чи вспливання механічних домішок і їх об'єм, можливість коагулювання стічних вод і ін. Ці дані дозволяють вибрати найбільш цілеспрямований і економічно обґрунтований метод очистки стічних вод для конкретного підприємства.

Фізико-хімічні показники промислових стічних вод окремих підприємств свідчать про широкий діапазон коливань вмісту цих вод, що визивають необхідність ретельного обґрунтування вибору оптимального методу очистки для кожного виду цих вод.

Значний вплив на кількість і вміст промислових стічних вод має система водозабезпечення: чим більше використовується води оборотного циклу на технологічні потреби в тих чи інших операціях даного чи сусіднього підприємства, тим менша абсолютна кількість стічних вод і тим більша кількість забруднень в них містяться.

Кількість промислових стічних вод визначається в залежності від продуктивності підприємства за ДСТУ «Водопостачання і водовідведення для різних видів промисловості».

Нормою водопостачання приймають кількість води, необхідної для

промислового процесу, встановлення на основі передового досліду чи науково обґрунтованого розрахунку. Нормою водовідведення являється встановлення середньої кількості стічних вод, відведених від підприємства у водойму.

1.2. Розрахунок і нормативи випуску стічних вод у водойми

Скидання стічних вод у водойми є одним із видів водокористування і здійснюється відповідно до дозволу, який видають місцеві органи екологічної безпеки (районні та міські управління екології Мінекології України). Після скидання стічних вод допускаються деяке погіршення якості води у водоймах, однак це не має впливати на їх життєдіяльність і можливості подальшого використання водойми як джерела водопостачання, риборозведення, відпочинку.

Відведення стічних вод у водойми регламентується нормами гранично-допустимого скидання (ГДС) забруднюючих речовин. ГДС – це маса речовини у зворотній воді (вода зворотня – це вода, що повертається за допомогою технічних споруд і засобів із господарської ланки колообігу води в його природні ланки у вигляді стічної, шахтної, кар'єрної чи дренажної), максимально допустима до відведення з установленим режимом у певному пункті водного об'єкта за одиницю часу з метою забезпечення норм якості води в контрольному створі або не погіршення природного складу і властивостей води, які сформувалися, якщо якість гірша, ніж нормативна.

У разі скидання, пов'язаного з плановим ремонтом каналізаційних мереж і споруд підприємствами, що експлуатують комунальні системи каналізації, встановлюються тимчасово узгоджений природоохоронними органами скид (ТУС). Тимчасове узгоджене скидання (ТУС) – маса речовин у зворотній воді, тимчасово допустима до відведення у водний об'єкт за поетапного досягнення ГДС.

Величину ГДС встановлюють для кожного випуску стічних вод у водойму і визначають за формулою

$$ГДС = Q_{ст} C_{ГДЗ},$$

Де $Q_{ст}$ – максимальна витрата стічних вод, $м^3 / год$; $C_{ГДЗ}$ – гранично допустиме значення, $г / м^3$.

Дія нормативів якості води поширюється на таку акваторію: на проточних водоймах – на 1 км вище від найближчого за течією пункту водокористування (місце забору води для господарсько-питного водопостачання, для купання та організованого відпочинку, територія населеного пункту тощо); на непроточних водоймах – на 1 км з обох боків від місця водокористування.

Основою для розрахунку $C_{ГДЗ}$ є відповідні положення. Слід зазначити, що $C_{ГДЗ}$ розраховують для найгірших умов водокористування. Останні характеризуватися такими параметрами:

1. Розрахункова витрата водотоку відповідає максимальній середньомісячній витраті року 95% водної забезпеченості для незарегульованих водотоків або мінімальній гарантованій витраті – для зарегульованих.
2. Значення показника у фоновому створі (фонова концентрація) визначається за допомогою відповідних розрахунків як статистично обґрунтована верхня межа можливих середніх значень.
3. Норми якості води в контрольному створі мають виконуватись у найзабрудненішій частині потоку.
4. ГДС встановлюється для визначеного потрібного ступення очищення стічних вод, які скидають у водойми за умови збереження нормативів екологічної безпеки водокористування. Якщо концентрація будь-яких показників не задовільняє норм якості води, то $C_{ГДЗ}$ має забезпечуватися безпосередньо у стічній воді.
5. Розрахункова величина $C_{ГДЗ}$ не має перевищувати фактично досягнуто (проектну) величину концентрації.
6. Скидання стічних вод у межах кордону населеного пункту допускається у виняткових випадках. У цьому разі екологічні норми якості води мають

виконуватися в самих стічних водах.

7. Для міських стічних вод, після повного біологічного очищення, встановлені такі $C_{ГДЗ}$: BCK_5 – не більше $15 O_2/m^3$; ХСК – не більше $80 O_2/m^3$; завислих речовин – не більше $15 g/m^3$; скидання решти забруднюючих речовин нормується залежно від умов збереження досягнутої категорії якості води у водоймі.

8. Якщо скидання стічних вод відбувається у межах кордону населеного пункту, але здійснюється через ефективний розсіювальний випуск, то ГДС має забезпечити збереження норм якості води у зоні початкового розбавлення розсіювального випуску.

9. Якщо кількість води у природній водоймі (природний фон) за окремими показниками перевищує ГДК, то величини ГДС мають забезпечувати збереження фонові концентрації складових у водоймі.

Під час розрахунку ГДС потрібно враховувати тип водного об'єкта – приймальника стічних вод. При цьому вихідними даними є: розрахункове значення фонові концентрації, кратність розбавлення стічних вод, яка відповідає найгіршим гідрогеологічним умовам; тип випускання стічних вод та місце його знаходження; фактична (проектна) концентрація забрудників у стічній воді; затверджена максимальна витрата стічних вод за годину.

Нормативи якості води встановлені для водойми господарсько-питного і культурно-побутового водокористування та рибогосподарського призначення. Належність водойми до того чи іншого виду водокористування визначають органи Державного санітарного нагляду з урахуванням перспектив використання водойм.

Розрахунок $C_{ГДЗ}$ для випускання стічних вод у проточну водойму промисловим підприємством, розміщеного у межах кордону населеного пункту, виконується в слідуючому порядку.

Норми мають відповідати нормативним значенням, які наведені в «Загальних вимогах до якості поверхневих вод» і переліку ГДК речовин, який наведено в «Санітарних правилах і нормах охорони поверхневих вод від

забруднення (СанПіН 4630-88)», тобто $C_{ГДК}^{роз} = ГДК$; де $C_{ГДК}^{роз}$ – розрахункова концентрація забруднювальної речовини, встановлена для ГДС.

Згідно з методичним положенням величина $C_{ГДЗ}$ не має перевищувати фактично досягнутої (проектної) концентрації ($C_{СТ}$) нормованої речовини у скидуваних стічних водах

$$C_{ГДЗ} \leq C_{СТ}. \quad (1.1)$$

Виходячи з цього, можна записати

$$C_{ГДЗ} = \min(ГДК, C_{СТ}).$$

Для речовин 1- і 2-го класів небезпечності норми якості будуть збережені у стічній воді, коли виконуватиметься таке співвідношення:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_{ГДЗ}^i}{ГДК^i} = 1. \quad (1.2)$$

Очевидно, що для кожної речовини $C_{ГДС}$ становить частку своєї ГДК, тобто

$$C_{ГДС} = K^i ГДК^i \quad (1.3)$$

Де $K^i \leq 1$.

Обмеження (1.1) можна звести до такого виразу:

$$K^i = \frac{C_{ГДС}^i}{ГДК^i} \leq \frac{C_{СТ}^i}{ГДК^i}. \quad (1.4)$$

Із виразу (1.2) випливає, що $\sum K^i = 1$, якщо ця умова не заперечує співвідношення (1.4).

Отже, значення $C_{ГДС}$ визначається співвідношенням (1.3), в якому значення K^i задовільняє обмеження (1.4) і $\sum K^i = 1$. Із урахуванням цих обмежень величини K^i підбирають так, щоб досягнення норм ГДС потребувало мінімальних витрат.

Заходи, спрямовані на запобігання забрудненню водою стічними водами, стосуються і прибережних районів морів. Нормативи якості морської води, які потрібно забезпечити у разі скидання стічних вод, поширюються як на

райони водокористування у відведених межах, так і на акваторію на відстані 300 м обабіч цих меж. Оскільки море розглядається не як джерело водопостачання, а як лікувальний, оздоровчий, культурно-побутовий та гігієнічний фактор, та правила і нормативи стосуються не моря, а лише його прибережних районів, що знаходяться в межах населених пунктів, будинків відпочинку, санаторіїв, туристичних баз тощо.

Нормативи якості води водойм господарсько-питного і культурно-побутового водокористування мають задовільняти також певні вимоги. У воді водойми (після змішування зі стічною водою), відібраній до 12 год. дня, кількість розчиненого кисню має бути не меншою за 4 мг/дм^3 у будь-який період року. Повне біохімічне споживання кисню за 20°C становить близько $3 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$. Вміст завислих речовин після скидання стічних вод не має збільшуватися більше ніж на $0,25 \text{ мг/дм}^3$; вода – не мати запахів і присмаків інтенсивністю понад 2 бали, а для морів – 3 бали; не змінювати забарвлення у стовпчику води заввишки 20 см; реакція води має бути в межах $6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$; не містити отруйних речовин у концентраціях, які б могли прямо чи опосередковано вплинути на здоров'я населення. Крім того, у стічних водах не мають міститися мінеральні масла та інші речовини у кількостях, здатних утворювати на поверхні водойми плівки, плями чи скупчення, а також збудники хвороб.

Способи знезараження стічних вод мають забезпечувати колі-індекс не більше ніж 1000 за вмісту залишкового хлору не менше $1,5 \text{ мг/дм}^3$. Мінеральний склад води не має перевищувати згідно з нормами щільного залишку 1000 мг/дм^3 , у тому числі хлоридів 350, сульфатів 500 мг/дм^3 . Температура води у водоймі після скидання стічних вод не має підвищуватися влітку більше ніж на 3°C порівняно із середньомісячною температурою води найспекотнішого місяця за останні 10 років.

Для діючих і тих, що проектуються підприємств, встановлювані ГДС речовин не повинні перевищувати показників скиду речовин, що можуть бути досягнуті при застосуванні типового способу очищення цієї категорії

стічних вод, навіть якщо водний об'єкт дозволяє скидати значно більші їх величини. Наприклад, для господарсько-побутових стічних вод – це рівень повного біологічного очищення.

При встановленні ГДС допустимі концентрації речовин у стічних водах діючого підприємства не повинні перевищувати значень фактичних середніх, проектних та відповідних типовому способу очищення концентрації речовин для даного випуску стічних вод (за винятком речовин, концентрації яких зростають у процесі очищення, наприклад, азоту нітритів, азоту нітратів, а також розчиненого кисню). Допустимі концентрації речовин у стічних водах не повинні призначатися меншими їх нормативних значень для водоприймача (за винятком випадків, коли фактичні концентрації речовин у стічних водах менші нормативних для водоприймача, а також коли враховуються ЛОШ речовин). Величини ГДС речовин із стічними водами підприємств, що проектуються або будуються (реконструюються), визначаються у складі проектів будівництва (реконструкції) цих підприємств, а дотримання ГДС повинно бути забезпечено з моменту введення цих підприємств в експлуатацію. Після встановлення ГДС речовин вимагається дотримання як допустимих мас, так і допустимих концентрацій речовин, а також не допускається перевищення затвердженої витрати стічних вод. Досягнення величин ГДС речовин потребує проведення складного комплексу технічних, економічних і організаційних заходів, який дорого коштує. Тому встановлення величин ГДС має передбачати оптимізацію (мінімізацію) сумарних витрат водокористувачів для їх досягнення.

Підготовка вихідних даних для визначення розрахункових умов скиду стічних вод здійснюється підприємствами-водокористувачами – щодо фактичних характеристик водозаборів і випусків стічних вод, фактичних та проектних характеристик водоохоронних споруд і планових заходів, якості води водного об'єкта до скиду і після скиду стічних вод (якщо такі заміри ведуться підприємством). Ними ж подаються до обласних та інших місцевих органів Мінприроди України запити щодо встановлення виду

водокористування водних об'єктів або їх ділянок. Визначення розрахункових умов скиду стічних вод здійснюється розробником ГДС. При визначенні розрахункових умов використовуються інформаційні бази і бази даних про норми якості води, розрахункові мінімальні витрати річок, природні фонові концентрації речовин у водних об'єктах, техніко-економічні характеристики типових і найкращих можливих технологій обробки (очищення) стічних вод (для формування проектів планів заходів щодо досягнення ГДС речовин), які можуть надаватись.

Для узгодження і затвердження проектів ГДС речовин від підприємства-водокористувача подаються такі матеріали, отримані від розробника ГДС:

- обґрунтовуючі матеріали (пояснювальна записка), які містять вихідні дані, правове та методичне обґрунтування, розрахункові умови, розрахунок ГДС речовин, визначення ТПС речовин, розробку пропозицій щодо водоохоронних заходів;
- проекти ГДС і ТПС речовин, плану заходів щодо досягнення ГДС.

При відсутності обґрунтовуючих матеріалів проекти величин ГДС і ТПС речовин не розглядаються. Подані документи мають бути розглянуті та узгоджені органами Міністерства охорони здоров'я (МОЗ) України впродовж двох тижнів, розглянуті та затверджені органами Мінприроди України – за місяць. У випадку відмовлення органів МОЗ України від розгляду або при необґрунтованому відхиленні поданих матеріалів органи Мінприроди України мають право прийняти з питання затвердження ГДС і плану заходів щодо їх досягнення самостійне рішення. Перегляд ГДС речовин виконується не рідше одного разу за п'ять років. Органи Мінприроди України мають право зобов'язати водокористувача внести корективи у затверджені ГДС речовин, якщо змінилась категорія водокористування водоприймача або його розрахункові характеристики чи характеристики скиду стічних вод (більше ніж на 20%), введені нові очисні споруди чи споруди доочищення, які забезпечують кращий рівень очищення стічних вод, ніж передбачений встановленими допустимими концентраціями речовин в діючих ГДС і та інші.

За місяць до закінчення строку дії встановлених ГДС речовин, підприємство-водокористувач повинно звернутися до місцевого органу Мінприроди України з клопотанням про перегляд ГДС із представленням нового розрахунку чи уточнення проекту діючих ГДС речовин. Якщо після закінчення строку дії ГДС речовин підприємство-водокористувач не подає клопотання про його перегляд або продовження, то орган Мінприроди України повинен скасувати дозвіл на спецводокористування і ліміти скидів забруднюючих речовин встановлювати на рівні ГДК. Без затверджених ГДС речовин дозволи на спеціальне водокористування видаватись не будуть. Підприємства-водокористувачі несуть відповідальність за вірність вихідних даних; розробники ГДС несуть відповідальність за вірність розрахунків, використання неузгоджених та незатверджених методик і програм на ЕОМ; органи МОЗ України та Мінприроди України несуть відповідальність за узгоджені та затверджені документи при встановленні ГДС відповідно до діючого законодавства. З метою подальшого удосконалення системи екологічного контролю стічних вод вводиться в дію система встановлення контролю гранично допустимих рівнів токсичності. У відповідності з ГОСТ 17.1.01.77 (п.39) під гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водний об'єкт приймається маса речовини в стічних водах, максимально допустима до відведення в даному пункті водного об'єкта на одиницю часу з метою забезпечення нормативної якості води в контрольному пункті. ГДС встановлюється з урахуванням гранично допустимих концентрацій речовин в місцях водокористування і асимулюючої здатності об'єкта. Не допускається об'єднання стічних вод, здатних вступати в хімічні реакції з виділенням отруйних чи вибухонебезпечних газів і утворювати емульсії, а також мають велику кількість нерозчинених речовин. Забороняються залпові скидання сильноконцентрованих стічних вод. Стічні води, у яких можуть міститися радіоактивні, токсичні і бактеріальні забруднення, перед випуском у міську каналізацію повинні бути знешкоджені і знезаражені. Випуск концентрованих маткових і кубових розчинів безпосередньо в каналізацію забороняється.

РОЗДІЛ 2.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

2.1. Знезаражування стічної рідини й випуск її у водойми

Повністю знешкодити хвороботворні бактерії можливо тільки знезаражуванням стічних вод. Стічні води знезаражуються різними способами: хлоруванням, електролізом, бактерецидні промені та інші.

До теперешнього часу значного поширення отримав тільки спосіб хлорування стічних вод. Хлор вводять у стічну воду чи у вигляді хлорного вапна, чи в газоподібному стані. Кількість активного хлору, який вводиться на одиницю об'єма стічної води, називається дозою хлора і виражається в грамах на 1 м^3 ($\text{г}/\text{м}^3$), в залежності від місцевих умов, ступені обробки (очистки) стічних вод, категорії водойм і інші. Державна санітарна інспекція назначає різні дози хлору. Для попередніх підрахунків у відношенні з СнiП 11-Г.6-62 розрахункові дози хлору потрібно приймати для відстоєної стічної води $30\text{ г}/\text{м}^3$, для стічної води, очищеної на біофільтрах чи аеротенках, – $10\text{ г}/\text{м}^3$.

Хлор, доданий до стічної води, повинен бути добре перемішаний із нею. Для того, щоб забезпечити бактерицидний ефект, хлор повинен тримати в контакті зі стічною водою до 30 хвилин. Потім воду можна скинути у водойму.

Установка для хлорування газоподібним хлором має хлораторну, змішувач і контактні резервуари. В хлораторній встановлюють хлоратори для приготування розчину хлорної води із хлор-газу.

Різноманітні системи хлораторів можуть бути розділені на дві основні групи: напорні хлоратори і вакуумні хлоратори. Конструкція вакуумного хлоратору є найбільш раціональною.

На крупних станціях очистки стічних вод із дуже великою витратою газу можна вводити хлор в стічну воду безпосередньо через балони-випарювачі.

Установка для хлорування стічної води хлорним вапном допускається для невеликих станцій при витраті стічних вод до 1000 м³/добу і складається із хлораторної, в яку поміщені баки для приготування розчину хлорного вапна, допоміжних обладнань, змішувача і контактних резервуарів.

Хлорне вапно отримують заводським шляхом в результаті обробки сухого гашеного вапна газоподібним хлором. Вона містить не менш 32-36% активного хлору.

Розчин хлорного вапна концентрацією 10-15% виготовляють у спеціальних затвірних баках. Із затвірного баку розчин пропускають в розчинні або робочі баки, в які додають чисту водопровідну воду для доведення концентрації розчину до 2-5%. Із робочих баків хлорна вода через дозуючий бачок надходить у змішувач.

Хлорну воду зі стічною можна змішувати також за допомогою повітря, що подається в канал через фільтроси або дирчаті труби. Після змішування хлорної води зі стічною, щоб отримати необхідний бактерицидний ефект, цю суміш витримують на протязі 20-30 хвилин в спеціальних контактних резервуарах, встановлених по типу вертикальних або горизонтальних відстійників. В тих випадках, коли проходження очищеної води по лоткам і по трубам від станції очистки до водойми займає не менш 30 хвилин, контактні резервуари можна не влаштовувати.

Очищені стічні води при штучній очистці відводять по каналу до місця випуску їх у водойму. Відвідний канал взагалі закінчується береговим колодцем, із якого очищені стічні води через випуск скидаються у водойму.

Чим більш сприятливими будуть умови для перемішування спускних стічних вод з водами водойми, чим краще використовується самоочищаюча здатність його, тим більш забруднені стічні води можуть бути скинуті в нього. Розрізняють наступні конструкції випусків: зосереджені, через яких вода скидається у водойму тільки через один отвір; розсіючі, при яких вода скидається через ряд отворів. На практиці використовують і інші випуски, але розсіючий випуск більш поширений, так як він забезпечує краще змішування

стічної води з водою водойми. Випуск бажано доводити до середини річки або фарватера. В місці укладки випуску дно річки необхідно захищати від розмиву і замулювання. Вибір місця скиду очищених стічних вод повинен бути затверджений з органами санітарної інспекції, управління судноплавства і іншими організаціями, які зацікавлені в збереженні умов нормальної експлуатації водойми.

2.2. Механічне очищення стічних вод

Механічне очищення (проціджування, відстоювання, просвітлення та фільтрування) застосовують для видалення з води в основному завислих речовин, використовуючи решітки, пісковловлювачі, відстійники, жироловлівачі, нафтовловлювачі, гідроциклони, фільтри та інші споруди.

Ганчір'я, папір, кістки, решітки овочів та фруктів, різні промислові відходи затримуються на решітках і подрібнюються в дробарках. Вода після решіток направляється в пісковловлювачі, в яких затримуються забруднення мінерального походження (пісок, зола, шлак). Основна маса забруднень органічного походження, що знаходяться в завислому стані, відділяється від стічної рідини і первинних відстійниках. Речовини, питома вага яких більша за питому вагу води, осідають на дно. Речовини, легші за воду (жири, масла, нафта та нафтопродукти, різні смоли), спливають на поверхню.

Осад із пісковловлювачів зневоднюють на піскових майданчиках або в піскових бункерах. Осад з первинних відстійників схильний до гниття і тому його направляють на спеціальні споруди обробки осаду. В деяких спорудах механічного очищення (септики, двоярусні відстійники, просвітлювачі-перегнівачі) поєднуються процеси освітлення стічної рідини та обробки осаду, що випав.

Проціджування застосовують для видалення із стічної рідини великих плаваючих речовин і більш малих, головним чином волокнистих забруднень. Для видалення крупних часток використовують решітки, а більш дрібних –

сітки. Решітки для попередньої очистки необхідно передбачати на всіх очисних станціях. Для видалення малих зважених речовин частіше всього застосовують барабанні сітки з комірками розміром 0,5-0,8 м. Для видалення волокна із стічних вод підприємств використовують волокновловлювач різноманітної конструкції.

Для видалення із стічної рідини дуже малих нерозчинних часток застосовують мікропроціджувачі. Мікропроціджувач представляє собою барабан, уміщений в резервуар. Частинки затримуються на внутрішній поверхні барабана. Мікропроціджувачі мають діаметр барабана 0,75-3,0 м.

Відстоюванням із промислових стічних вод виділяють нерозчинні і частково колоїдні забруднення мінерального і органічного походження. Відстійники для очистки промислових стічних вод можуть представляти собою самостійні споруди, на яких процес очистки закінчується, чи споруди, призначені тільки для попередньої очистки.

Фільтрування призначене для затримання зважених речовин, не осівших при відстоюванні. Застосовують фільтри піщані, діатомітові й сітчаті з фільтруючим шаром. Фільтри бувають відкриті (безнапірні) і закриті (напірні). В відкритих фільтрах висота шару завантаження рівна 1-2 м. Закриті фільтри, завантажені піском, мають висоту шару завантаження 0,5-1 м, а при завантаженні дрібного гравію – 1-1,5 м. Швидкість фільтрації залежить від розміру часток і виду фільтруючого матеріалу й від розміру часток і концентрації зважених речовин.

Видалення нерозчинних часток в гідроциклонах і на центрифугах. Гідроциклони застосовують для освітлення стічних вод і згущення осаду. Вони бувають відкриті і напірні. Відкриті гідроциклони використовують для видалення із стічних вод осідаючих і грубодисперсних впливаючих часток, напірні гідроциклони – для видалення лише осідаючих агрегатовитривалих грубодисперсних часток. Відкриті гідроциклони бувають без внутрішнього обладнання, з діафрагмою і циліндричною перегородкою і багатоярусні. Останні застосовують для видалення важких грубодисперсних часток і

нафтопродуктів. Головні недоліки напірного гідроциклону – значна витрата електроенергії, а також зношення стінок апарату. Для запобігання зношення із середини стінки футуруються із матеріалами стійкими до зношення. Центрифуги в останній час знаходять все більше широке застосування для освітлення стічних вод. Частіше всього використовують осаджувальні центрифуги неперервної чи періодичної дії для локальної очистки стічних вод. Найбільше розповсюдження отримали осаджувальні горизонтальні шнекові центрифуги неперервної дії типу ОГШ і центрифуги періодичної дії маятникового типу ОМ і освітлюючі трубчаті типу ОТР. Центрифуги періодичної дії взагалі застосовують при концентрації зважених речовин не більше 2-3 г/л.

2.3. Хімічне очищення стічних вод

До хімічних методів очистки виробничих стічних вод належать: коагулювання, нейтралізація і окислення. Далі охарактеризуємо їх.

Коагулювання. Суть цього процесу полягає в тому, що до стічної води додають реагент (коагулянт), діючи швидкому виділенню із їх дрібних зважених і емульгованих речовин, які при простому відстоюванні не осаджуються. Реагент додають звичайно до направлення стічної води у відстійники. Зважені разом з коагулянтом осаджуються у відстійних басейнах.

Цим способом звичайно очищують стічні води, які містять дуже дрібні частинки, наприклад: води текстильних підприємств (красильні і відбілюючі відділення); води візкозних фабрик; води нафтопереробних заводів, які містять емульговані продукти; банно-стерильні йдушові стічні води, а також стічні води, які одержуються на заводах хімічної промисловості.

В якості коагулянтів застосовують вапно, залізний купорос, глинозем і інші; іноді додають розчин цих реагентів.

Нейтралізація. Стічні води нейтралізуються при їх хімічній взаємодії з речовинами. Стічні води багатьох підприємств, які містять збільшену кількість

кислот чи основ, скидати в каналізаційну мережу, на очисні станції і у водойми не можна без попереднього доведення концентрації цих забруднень до допустимих значень. До таких стічних вод належать води хімічних, машинобудівних, металургійних і нафтопереробних заводів і особливо таких заводів, які мають гальванічні і термічні цехи.

Існує декілька способів нейтралізації стічних вод:

- безпосередньо змішування кислих стоків зі основами перед зпуском їх в каналізаційну мережу;
- використання активної основності міських стічних вод чи водойми;
- додавання реагенту в пропорціях, необхідних для нейтралізації;
- фільтрація забруднених вод через нейтралізуючі матеріали.

Найбільш часто зустрічаються стічні води з високою кислотністю, які сильно взаємодіють на матеріали труб і негативно впливають на мікробіальні процеси, які проходять на станціях аерації. У стічних водах можуть зустрітися: сильні кислоти (першої групи), кальцеві солі яких добре розчинні у воді; сильні кислоти (друга група), кальцеві солі яких погано розчинні у воді, і слабкі кислоти (уксусна).

Нейтралізацію додаванням реагенту проводять тоді, коли змішування стоків і використання активної основності водойми не дають бажаних результатів, тобто стічна вода залишається кислою.

Окислення. Цей метод застосовують, коли інші методи очищення, в тому числі і біохімічний, не дозволяє зруйнувати чи видалити забруднюючі речовини, які затримуються у стічних водах. Наприклад, стічні води збагачувальних фабрик часто містять забруднюючі ціанідні з'єднання. Для обробки цих вод застосовують метод хімічного окислення. При цьому методи ціаніди окислюють введенням в воду гіпохлориту. В якості реагентів застосовують гіпохлорит натрію чи хлорне вапно.

Комплекс споруд для очистки стічних вод цим методом представляє собою реагентне господарство, яке складається із складу реагентів, розчинних баків і дозаторів, камери реакції і відстійників.

2.4. Фізико-хімічні методи очищення стічних вод

2.4.1. Застосування сорбційних методів для очищення стічних вод

Реальні стічні води – це не чисті стабільні розчини, а гетерогенна суміш розчинених, колоїдних і зважених у воді домішок органічного і неорганічного характеру, багато хто з яких нестабільний, окислюються. Практика роботи систем очищення стічних вод показує, що сорбційна обробка доцільна як «фінішна» операція, після механічної і інших дешевших видів очищення від грубодисперсних, колоїдних і частини розчинених домішок. Звичайна оптимальна послідовність процесів фізико-хімічного очищення: коагуляція – відстоювання (флотація) – фільтрування – сорбція. Так, наприклад, знесолювання природних і стічних вод доцільно проводити на іонітах у разі початкового солемісту до 1 г/л. Якщо регенераційні розчини переробляються в корисну продукцію, то іонний обмін успішно може бути використаний для глибокого очищення води з початковим солемістом до 2 г/л. Створення комбінованих схем, що включають попередню коагуляцію і освітлення води дозволяє у декілька разів знизити витрату активованого вугілля на локальних станціях водопідготовки, тим самим вирішити техніко-економічну проблему забезпечення окремих районів додатковими водними ресурсами в осяжному майбутньому.

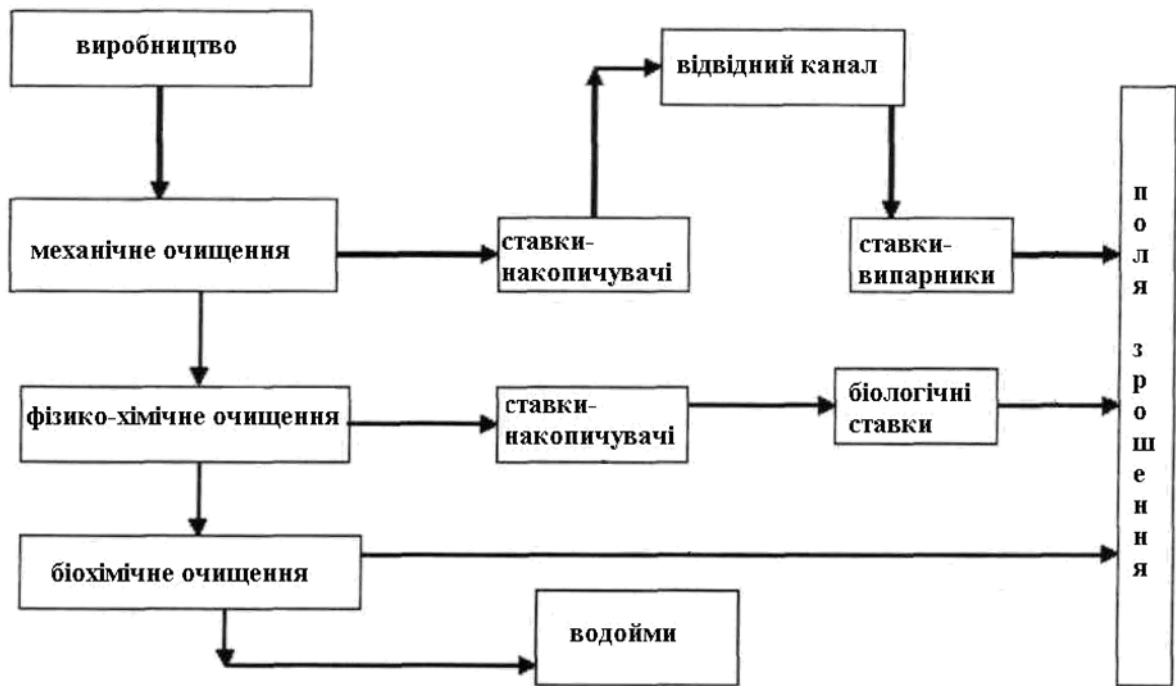


Рис. 2. Варіанти природного біохімічного очищення стічних вод

2.4.2. Активоване вугілля в процесах водопідготовки

Фільтрування води через шар гранульованого вугілля або введення у воду порошкоподібного активованого вугілля є найбільш універсальними методами видалення з води розчинених органічних речовин природного і неприродного походження. Оскільки вміст в питній воді органічних речовин природного походження нормований тільки побічно (за колірністю, запахам і присмакам води), а колірність води зазвичай досить добре знижується коагуляцією і хлоруванням, активне вугілля, що є дорогим матеріалом, застосовується на комунальних водопроводах головним чином для видалення речовин, зумовлюючих і присмаки води, а також для видалення з води органічних забруднень неприродного походження – різних детергентів, пестицидів, нафтопродуктів та інших токсичних речовин, що надходять у відкриті водойми з і стічними водами міст і промислових підприємств. При видаленні з води речовин, що додають їй запахи і присмаки, їх концентрацію потрібно понизити до дуже малих величин, при яких запах і присмак вже не

відчуваються. Концентрації різних речовин, при яких відчувається їх запахи або присмак у воді, неоднакові. Сірководень відчувається при концентрації його у воді більше 0,2-0,3 мг/л, хлор – при концентрації більше 0,3 мг/л, хлорфенол – при концентрації більше 0,02 мг/л, продуктів життєдіяльності актиноміцетів, що додають воді землистий запах, відчуваються при концентрації більше 1(10⁻⁸ мг/л). Природно, що при таких низьких залишкових концентраціях речовини, що видаляється, ступінь використання сорбційної ємкості активованого вугілля в статичних умовах при введенні у воду вугілля у вигляді порошку буде мала.

Так під час контакту порошкоподібного вугілля (ППВ) із водою, що очищається невелика сорбуєма речовина зазвичай не встигає проникнути в глиб частинки вугілля, тому сорбційна здатність ППВ зростає із збільшенням ступеня його подрібнення. Побічно сорбційна здатність ППВ характеризується його фенольним числом – числом міліграммів активованого порошкоподібного вугілля, потрібного для зниження концентрації фенолу в 1 л води з 0,1 до 0,01 міліграма при перемішуванні води з активованим вугіллям упродовж однієї години. Чим вище фенольне число вугілля, тим менше його сорбційна здатність відносно фенолу, тим гірше, як правило, це вугілля сорбує з води речовини, обумовлюючи присмаки і запахи води. ППВ, вживані на фільтрувальних станціях для видалення з води присмаків і запахів, повинні мати фенольне число не більше 30; хороші зразки активного вугілля мають фенольне число менше 15. У кожному конкретному випадку марка ППВ повинна підбиратися пробною обробкою води в лабораторних умовах, при цьому повинні ставитися досліди як з попереднім хлоруванням води, так і без нього. ППВ, вживаний для видалення з води речовин, які додають їй присмаки і запахи, може вводиться як перед відстійниками так і після них, безпосередньо перед фільтрами. Проте введення у воду перед фільтрами можливо тільки в тих випадках, коли його доза не перевершує 5-7 мг/л при тривалому застосуванні після відстійників; в цьому випадку сорбційна здатність вугілля використовується більш повно, чим при введенні

його у воду перед відстійниками, в яких вугілля швидко осідає, не встигнувши сорбувати органічні речовини, що містяться у воді. Реалізація процесу вуглевання на вимагає значних капітальних витрат, необхідне лише будівництво блоку приготування і дозування ППВ і складу ППВ.

Унаслідок сильного пилення і вибухонебезпеки ППВ в сухому вигляді у воду вводять рідко. Зазвичай заздалегідь готують суспензію 2-10% ППВ у воді, яку і направляють в основний потік оброблюваної води. Дозу ППВ вибирають з урахуванням забрудненості води і сорбційних властивостей вугілля. У нашій країні (1982 р) як правило, $D_u=1-5$ мг/дм³, у Фінляндії 5-15 мг/дм³, у ФРН (водозабори на Рейні) 25-40 мг/дм³, у Франції 5-40 мг/дм³, в Англії і США 5-30 мг/дм³. Великі дози ПАУ свідчать про значну забрудненість джерел за кордоном.

Постійне використання ППВ для водопідготовки зазвичай є не вигідним через нерентабельність і неможливість його регенерації і втрат при дозуванні. Для постійної сорбційної обробки води використовує гранульоване активоване вугілля (ГАВ), яке можна регенерувати, що знижує вартість очищення води, хоча ГАУ і дорожче, а їх застосування вимагає великих капітальних витрат. Фільтрування через ГАВ дає воду кращого і більш постійної якості в порівнянні з вуглеванням (термін служби ГАВ при очищенні природних вод – від 2 до 30 місяців). Одним із традиційних напрямів використання активованого вугілля у водопідготовці є дехлорування питної води, що реалізовується на вугільних фільтрах. Висоту фільтру призначають залежно від швидкості фільтрування, початковій і кінцевій концентрації вільного хлора. Дехлоруючі фільтри регенерують один раз в місяць гарячим розчином соди або їдкого натра. До регенерації 1 кг ГАВ дехлорують 50-100 м³ води. Механізм дехлорування води на ГАВ складається з сорбції і подальшого розкладання хлорноватистої кислоти. Іон ОСІ- менш реакційноздатний і гірше сорбував чим НОСІ, тому зрушення рН, що приводить до збільшення ступеня дисоціації НОСІ ($H^{++}OCl^-$), знижує дехлоруючий ефект.

2.4.3. Невуглецеві сорбенти в процесах водоочищення

Для очищення води все більше застосування знаходять невуглецеві сорбенти природного і штучного походження (глинисті породи, цеоліти і деякі інші матеріали). Використання таких сорбентів обумовлене достатньо високою ємкістю, їх вибірковістю, катіонообмінними властивостями деяких із них, порівняно низькою вартістю і доступністю (іноді як місцевого матеріалу). Глинисті породи – найбільш поширені неорганічні сорбенти для очищення води. Вони володіють розвиненою структурою з мікропорами, що мають різні розміри залежно від виду мінералу. Значна частина з них володіє шаруватою жорсткою або такою, що розширюється структурою. Механізм сорбції забруднень на глинистих матеріалах достатньо складний і включає Ван-дер-вальсовські взаємодії вуглеводневих ланцюжків із розвиненою поверхнею мікрочастинок силікатів і кулонівська взаємодія заряджених і поляризованих молекул сорбату з позитивно зарядженими ділянками поверхні сорбенту, що містять іони H^+ і Al^{3+} .

Найбільшого поширення глинисті матеріали набули для знебарвлення води, видалення неорганічних домішок і особливо токсичних хлорорганічних з'єднань і гербіцидів, різних ПАР.

Природні сорбенти здобувають в безпосередній близькості від місця споживання, що постійно розширює масштаб їх застосування для очищення води. Цеоліти – різновиди алюмосилікатних каркасних матеріалів. Ці матеріали мають негативний тривимірний алюмосилікатний каркас із строго регулярною структурою тетраедра. У проміжках каркаса знаходяться гідратовані позитивні іони лужних і лужно-земельних металів, компенсуючих заряд каркаса, і молекули води. У адсорбційні порожнини цеолітів сорбував лише молекули речовин, критичний розмір яких менше ефективного розміру вхідного вікна, від цього і їх друга назва – молекулярні сита.

Відомо більше 30 видів природних цеолітів, але лише частина з них утворює крупні родовища (80% концентратів) зручні для промислової

переробки. Найбільшого поширення набули такі природні цеоліти:

- шабазит $(\text{Na}_2\text{Ca}) \text{O}(\text{Al}_2\text{O}_3(4\text{SiO}_2(6\text{H}_2\text{O}))$ з розміром вікон 0,37-0,50 нм;
- морденіт $(\text{Na}_2\text{K}_2\text{Ca}) \text{O}(\text{Al}_2\text{O}_3(10\text{Si}_3(6,7\text{H}_2\text{O}))$ з розміром вікон 0,67-0,70 нм;
- кліноптіломіт $(\text{Na}_2\text{K}_2\text{Ca}) \text{O}(\text{Al}_2\text{O}_3(10\text{SiO}_3(8\text{H}_2\text{O}))$.

Для отримання міцних і водостійких матеріалів, що фільтрують, з природних цеолітів їх, так само, як і глини, нагрівають у печах із хлоридом карбонатом натрію при 10000°C .

Обробка поверхні цеолітів кремнійорганічними з'єднаннями робить її гідрофобною, що покращує сорбцію нафти з води.

Природні цеоліти використовуються у вигляді порошоків і матеріалів, що фільтрують для очищення води від ПАР, ароматичних і канцерогенних органічних сполук, фарбників, пестицидів, колоїдних і бактерійних забруднень.

Окрім цеолітів і природних глин перспективними є неорганічні іоніти. Серед них можна виділити наступні:

1. Гранульовані методом заморожування малорозчинні фосфати металів (цирконію, титану, хрому, заліза, торія, сурми і ін.), перш за все, цирконілфосфат $(\text{ZRO}) \text{m}(\text{H}_2\text{SO}_4) \text{n}$ з різним відношенням $\text{m}:\text{n}$, що відрізняється високою ємкістю обміну, термічною і радіаційною стійкістю і високою селективністю до іонів цезію, рубідія, калія і амонія, а також талія. Цирконілфосфат стійкий в концентрованих кислотних і сольових розчинах, зберігаючи в них високу іонообмінну ємкість і вибірковість до вищезгаданих катіонів.

Цирконілфосфат може бути використаний для витягання з сильноокислих і сильномінералізованих радіоактивних розчинів довгоживучого ізотопу ^{137}Cs ; для розділення продуктів радіоактивного розпаду урану в атомних реакторах: ^{89}Sr - ^{137}Cs , ^{89}Sr - ^{144}Cs , ^{90}Sr - ^{90}U ; для відділення ^{95}Nb і ^{95}Zr від ^{106}Ru ; для витягання іонів талія з розчинів у виробництві і при використанні солей талія.

2. Синтетичні титано- і цирканосилікати, що володіють

молекулярноситовими властивостями цеолітового рівня, високою обмінною ємкістю і селективністю до ряду катіонів.

3. Малорозчинний кристалічний оксалат цирконію, селективний по відношенню до катіонів свинцю і калія.

4. Молорозчинні солі полі- і гетерополікислот: фосфомолібдати, фосфорвольфрамат, вольфрамат, фосфорарсенат, похідні фосфорносурьмяної кислоти, кремнісурьмяної кислот і інші що володіють селективністю до рідкісних лужних, лужноземельних і важких металів.

5. Фероціаніди лужних і важких металів (заліза, міді, цинку молібдену, нікелю, титану, олова, ванадію, урану, вольфраму тощо), здатні до виборчої сорбції іонів Pb^{+} , використовуються для поглинання Rb, Cs з розчинів і Tl^{+} з водних розчинів. Наприклад, за допомогою фероціаніду лужного металу і нікелю ефективно витягується рубідій з відпрацьованого розчину при переробці карналлітових рудий.

6. Нерозчинні сульфіді і гідроксиди металів. Наприклад, відомо про можливість успішного очищення нікелевих електролітів від домішок іонів міді, свинцю, кадмію, миш'яку, сурми, олова, вісмуту за допомогою нерозчинного сульфіді нікелю, від домішок заліза (II) і кобальту (II) за допомогою гідроксидів нікелю у поєднанні з органічним сильноосновним аніоном АВ-17 на кінцевій стадії очищення.

Багато катіонітів зокрема цеоліти (за виключенням кліноптілоліта, еріоніта і морденіта) і глинисті мінерали, можуть працювати тільки в сольових формах (натрієвою, кальцієвою тощо). Вони не можуть бути переведені у водневу форму, оскільки при цьому руйнується їх структура, і, отже, не можуть застосовуватися в технології знесолювання і опріснення стічних і природних вод. Крім того, знесолювання води неможливе без одночасного використання аніонітов, які серед неорганічних мінералів і з'єднань зустрічаються вельми рідко.

Ці обставини неабиякою мірою сприяли бурхливому розвитку синтезу органічних катіонітів і аніонітів на основі синтетичних органічних сполук,

що отримали широке застосування в технології знесолювання води, в гідрометалургії дорогоцінних і кольорових металів, в технології очищення стічних вод і в інших галузях.

2.4.4. Органічні іоніти

Більшість органічних іонітів виходять шляхом полімераналогічних перетворень сополімерів стиролу і дивінілбензолу (ДВБ). Ці сополімери є надійною базою для створення цілого спектру іонітів гелів і макропористих з найрізноманітнішими властивостями. Крім того, початкові мономерні доступні і відносно дешеві. Все ширше стає і асортимент іонітів, що отримуються методами сополімеризації і сополіконденсації органічних мономерів іоногенного типу. Успішно розвивається синтез важливих в практичному відношенні іонітів на базі вінільних похідних піридину, перш за все, промислово доступного 2,5-метилвінілпіридину, на основі аліфатичних з'єднань іоногенного характеру, таких як метилакрілат, акрилонітрил, поліетіленполіаміни, епіхлоргідрин. Більшість органічних іонітів мають структуру гелю. У них відсутні реальні пори. Доступність всього об'єму їх зерен для іонів, що обмінюються, забезпечуються завдяки їх здібності до набухання у водних розчинах. Макропористі іоніти виходять шляхом введення в реакційну масу в процесі сополімеризацій і поліконденсацій пороутворювач (ізооктан, декан, бензини БР-1, БЛХ, спирти нормальної і ізомерної будови), після видалення, якого іоніт зберігає реальні пори і набуває властивостей адсорбентів типу активованого вугілля: велику питому поверхню і об'єм пор.

Макропористі іоніти мають велику механічну міцність, але меншу об'ємну ємність, чим гелі і ізопористі. Вони володіють високою осмотичною стабільністю, покращуваною кінетикою обміну, проявляють ситовий ефект. Можливості синтезу органічних іонітів справді безмежні, а іоніти, що синтезуються, можна наділяти різноманітними цінними властивостями, що мають деколи унікальне практичне значення.

2.5. Біологічне очищення стічних вод

Серед методів очищення стічних вод велику роль відіграє біологічний метод, оснований на використанні закономірностей біохімічного і фізіологічного самоочищення річок й інших водоймищ. Є декілька типів біологічних пристроїв по очищенню стічних вод: біофільтри, біологічні ставки й аеротенки. У біофільтрах стічні води пропускаються через шар грубозернистого матеріалу, покритого тонкою бактерійною плівкою. Завдяки цій плівці інтенсивно протікають процеси біологічного окислення. Саме вона служить діючим початком в біофільтрах. У біологічних ставках в очищенні стічних вод беруть участь всі організми, що населяють водойму. Аеротенки – величезні резервуари із залізобетону. Тут очисним началом є активний мул з бактерій і мікроскопічних тварин. Всі ці живі істоти бурхливо розвиваються в аеротенках, чому сприяють органічні речовини стічних вод і надлишок кисню, що надходить до споруди потоком повітря, що подається.

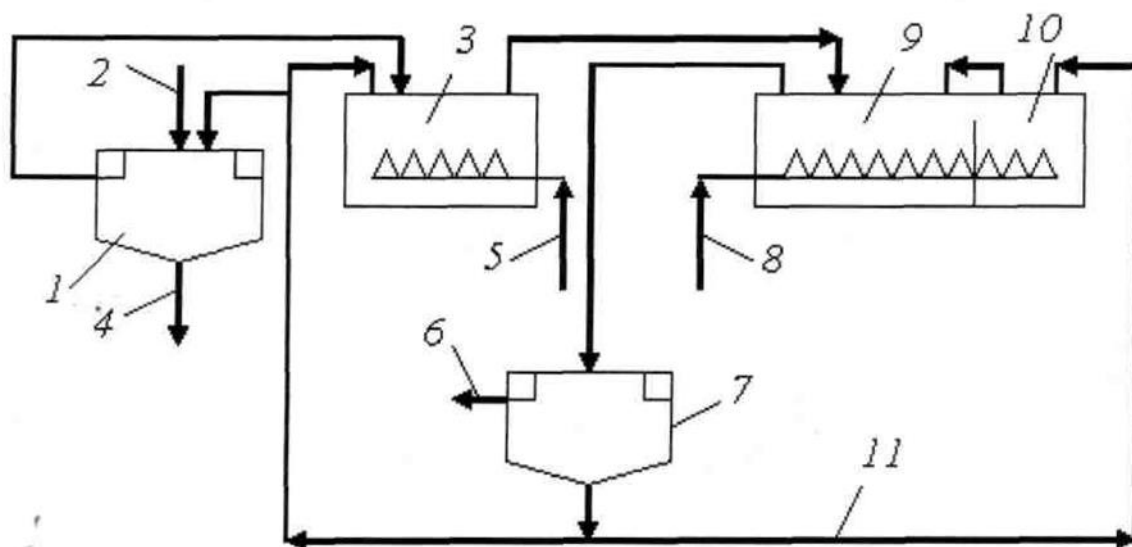


Рис. 3. Схема установки для біологічного очищення стічних вод:

1 – первинний відстійник; 2 – вхідні стічні води на очищення; 3 – преаератор; 4 – осад; 5, 8 – повітря; 6 – очищені стічні води; 7 – вторинний відстійник; 9 – аеротенк; 10 – регенератор; 11 – активний мул

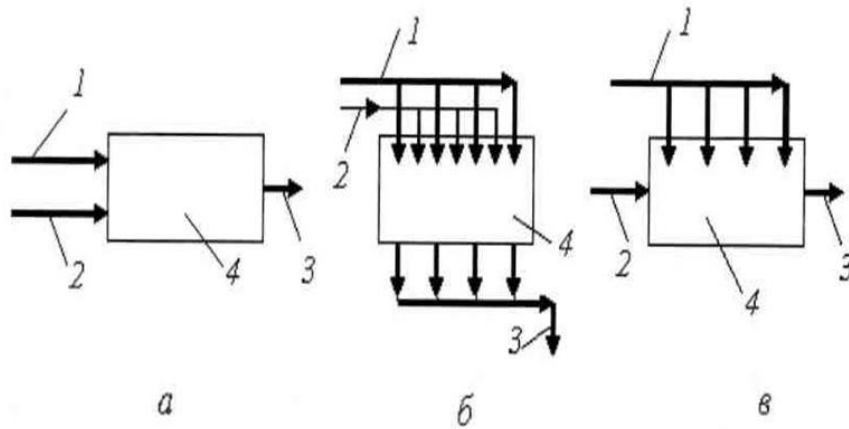


Рис. 4. Аеротенки з різною структурою потоків стічної води і зворотного активного мулу: а – аеротенк-витискувач; б – аеротенк-змішувач; в – аеротенк із розосередженою подачею стічної води: 1 – стічні води на очищення; 2 – активний мул; 3 – мулова суміш; 4 – аеротенк.

Основні технологічні схеми очищення стічних вод в аеротенках представлені на рис. 5, рис. 6.

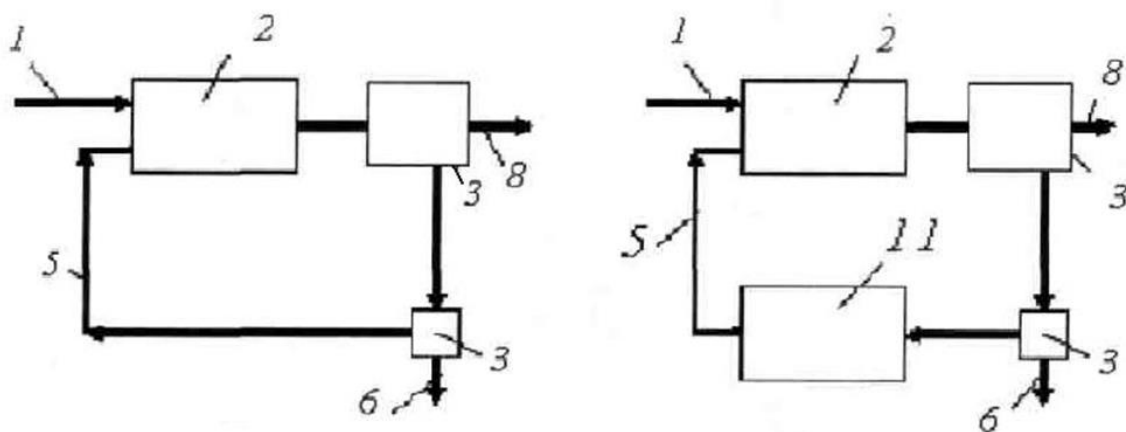


Рис. 5. Основні схеми установок очищення стічних вод в одноступінчатих аеротенках без регенерації та з регенерацією: 1 – стічна вода; 2 – аеротенк; 3 – насосні станції; 5 – зворотний мул, 6 – осад, 8 – очищена вода, 11 – регенератор.

Одноступінчаті схеми без регенерації мулу застосовують при $БПК_{повн}$ стічної води не більш 150 мг/л, з регенерацією – більш 150 мг/л і при наявності шкідливих виробничих домішок. Двоступінчасті схеми застосовують при очищенні висококонцентрованих стічних вод.

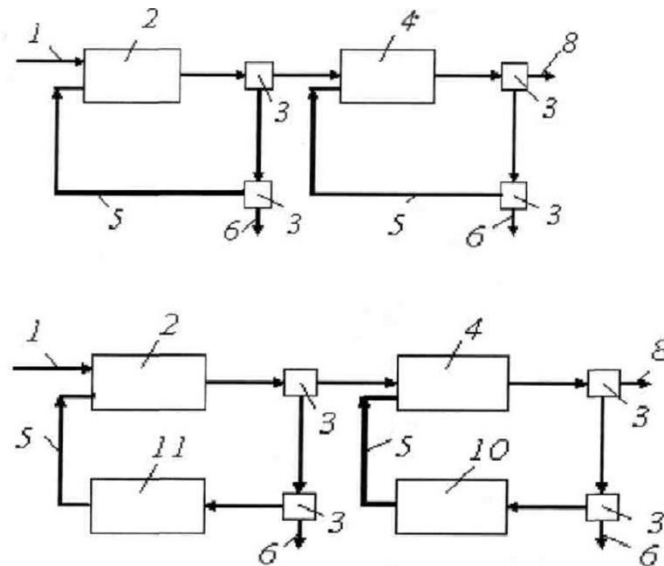


Рис. 6. Основні схеми установок очищення стічних вод в двоступінчатих аеротенках без регенерації та з регенерацією: 1 – стічна вода; 2 – аеротенк; 3 – насосні станції; 4 – аеротенк другої ступені очищення стічних вод; 5 – зворотний мул, 6 – осад, 8 – очищена вода, 10 – регенератор другої ступені очищення, 11 – регенератор.

В очисних спорудах бактерії склеюються в пластівці і виділяють ферменти, що мінералізують органічні забруднення. Мул із пластівцями швидко осідає, відділяючись від очищеної води. Інфузорії, джгутикові, амеби, коловертки й інші найдрібніші тварини, пожираючи бактерії, що не злипаються в пластівці, омолоджують бактерійну масу мулу.

Стічні води перед біологічним очищенням піддають механічному, а після нього, для видалення хвороботворних бактерій, і хімічному очищенню, хлоруванню рідким хлором або хлорним вапном. Для дезінфекції використовують також інші фізико-хімічні прийоми (ультразвук, електроліз, озонування та ін.).

Біологічний метод надає великі результати при очищенні комунально-побутових стоків. Він застосовується також і при очищенні відходів підприємств нафтопереробної, целюлозно-паперової промисловості, виробництві штучного волокна.

РОЗДІЛ 3.

БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ЯК ОДИН ІЗ ЕФЕКТИВНИХ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

3.1. Основи біологічного очищення води

Біологічне очищення є основою, серцевиною зовні простого до примітивності, а насправді надзвичайно складного процесу перетворення брудної, токсичної рідини – промислових чи побутових стічних вод – на чисту, екологічно безпечну, біологічно повноцінну воду. Повний набір цього традиційного, можна навіть сказати класичного, процесу включає такі три стадії:

- первинне – механічне очищення;
- вторинне – власне біологічне очищення;
- третинне – фізико-хімічне доочищення стічних вод.

Під час механічного очищення стічна вода проходить крізь решітки, де затримуються грубі механічні домішки, потім крізь пісковловлювач, де відокремлюється пісок, і, нарешті, потрапляє у первинні відстійники, де завдяки силам гравітації все, що важче за воду, осідає на дно, збирається і відкачується в метантенки на зброджування або через певний проміжок часу (іноді один раз за квартал) випускається на мулові майданчики з дренажем, а все, що легше за воду, – піднімається на поверхню води, де зберігається спеціальними пристроями в бункер і теж направляється в метантенк.

Біологічні процеси відбуваються у воді на всіх етапах проходження її крізь очисні споруди. Більше того, вони розпочинаються в момент утворення стічних вод, тривають під час збирання і транспортування цих вод до очисних споруд (у каналізаційних мережах), не припиняються після будь-якого, навіть найбільш ретельного очищення і знезараження води. Стерильної води на поверхні Землі немає і бути не може.

Однак найбільш помітне біологічне очищення стічних вод відбувається

саме на другій – біологічній стадії, де вже згадувані біоплівка, активні аеробні чи гранульовані анаеробні мули, спеціально селекціоновані мікроорганізми-деструктори чи сформовані у трофічний ланцюг гідробіоценози у спеціально створених для них умовах у відповідних спорудах інтенсивно розмножуються, споживаючи з води органічні сполуки та інші речовини, які ми розглядаємо як забруднення. Біомасу гідробіонтів, що наростає під час очищення води, відділяють у так званих вторинних відстійниках, звідки її подають або в метантенки або на мулові майданчики.

Третинне очищення води полягає в основному у спробі знезаразити воду – знищити можливо наявні в ній епідемічно небезпечні організми та вібріони (збудники захворювань травного каналу – холери, дизентерії, гепатиту тощо). Для цього використовують переважно хлорування, іноді – опромінювання ультрафіолетовим світлом, ще рідше – озонування. У разі обробки очищених стічних вод хлором їх витримують протягом 20-30 хв. у контактних резервуарах, після чого скидають у відкриті водойми. Експериментально доведено, що така обробка води, яка містить значні кількості (десятки міліграмів у літрі) органічних речовин (а сюди належать усі без винятку, навіть найретельніше очищені стічні води і переважна більшість поверхневих природних вод), призводить до утворення найрізноманітніших хлорорганічних речовин – від не дуже шкідливого хлороформу до надтоксичних діоксинів, серед яких трапляються дуже активні і смертельно небезпечні мутагени. Тому деякі вчені вважають хлорування стічних вод абсолютно неприпустимим, навіть злочинним актом. Для повного, надійного і безпечного доочищення води у світі розробляються різноманітні схеми, найтипівіша з яких включає процеси обробки флокулянтами і коагулянтами, відстоювання, фільтрування крізь пісок і, нарешті, крізь активоване вугілля. Осади, що утворюються внаслідок коагулювання і відстоювання, згущують на центрифугах, фільтр-пресах чи барабанних вакуум-фільтрах і складують у балках, ярах чи на звалищах.

Нині найбільш популярні і поширені в Україні та інших розвинених країнах біологічні методи очищення води ґрунтуються на використанні біоплівки,

й особливо, активного мулу, що буде охарактеризовано в наступному підрозділі.

3.2. Очищення стічної води за допомогою біоплівки

Біоплівка – головний дійовий гідробіоценоз таких очисних споруд, як біофільтри та обертові біоконтактори.

Типовий «класичний» біофільтр – це кругла, багатогранна чи прямокутна в плані залізобетонна ємкість з несправжнім дном, в яку вміщено (насипано) завантаження. На цій поверхні розвиваються найрізноманітніші гідробіонти, що власне й створюють біоплівку. Стічна вода, що надходить на очищення, розбризкується тим чи іншим пристроєм по всій поверхні завантаження біофільтра, стікає, омиваючи біоплівку, вниз і збирається у піддоні, звідки насосом і рециркулюється крізь біофільтр для повторного її очищення. Для забезпечення біоплівки, що обростає завантаження в усьому тілі біофільтра, киснем повітря в нижній частині біофільтра передбачено вентиляційні вікна. Для запобігання замерзанню води в біофільтрах їх споруджують у приміщеннях або укомплектовують вентиляційними системами з калориферами. На період роботи вентиляторів і підігрівання повітря (взимку) вентиляційні вікна герметизують.

Сучасні невеликі біофільтри, призначені для локального очищення стічних вод окремих будинків, вкопують у землю або обваловують, зверху герметизують кришками, в яких монтують маленькі вентилятори, що подають повітря крізь завантаження біофільтра згори вниз. Виходить повітря з біофільтра по тій самій трубі, по якій витікає очищена вода.

За типом завантаження біофільтри поділяють на дві категорії: з об'ємним і плоским завантаженням. У разі об'ємного, як правило насипного, завантаження застосовують гравій, керамзит, шлак, кільця Рашига, Полля, сідла Берля, «інталкс», пластмасові вироби різноманітних конфігурацій та розмірів.

Питома поверхня об'ємного завантаження становить від 70 до 300 м²/м³.

Плоске завантаження – це переважно блокові вироби з шиферу, пластмас, тканин, ниток, волокон (виготовлених, наприклад, у вигляді «йоржів» чи «вій») тощо. Питома поверхня їх може досягати $10\,000\text{ м}^2/\text{м}^3$.

Біофільтри не потребують особливих затрат на аерацію. Однак вважається, що біофільтр не може нормально функціонувати без рециркулювання рідини, яку очищають, бо основна маса води проходить крізь біофільтр дуже швидко, і за цей короткий проміжок часу весь бруд не встигає осісти на біоплівці, що міститься на насадці. Однак рециркулювання має свої недоліки, пов'язані не лише зі значними витратами електроенергії на перекачування води, а й зі збільшенням об'ємів відстійників, підвищенням навантаження на біофільтр за забрудненнями, схильністю до колюматації завантаження, а найголовніше – з вирівнюванням якісного складу біоценозів біоплівки по всій висоті біофільтра. Доречно зазначити, що біоплівка на зернах піску виконує чи не найважливішу роль в очищенні питної води від розчинених органічних сполук під час пропускання її крізь шар піску, особливо в так званих повільних фільтрах.

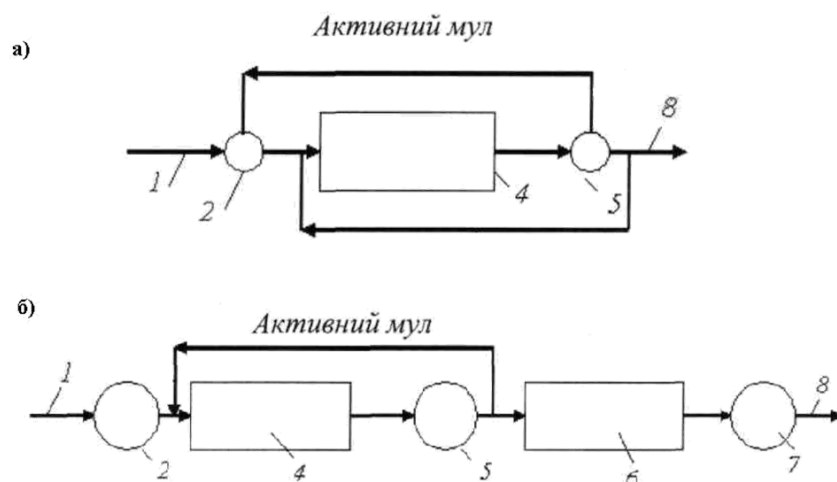


Рис. 7. Схеми установок для очищення стічних вод біофільтрами:

а) – одноступінчатая; б) – двоступінчатая: 1 – стічні води, 2 – первинні відстійники; 4, 6 – біофільтри I і II ступенів; 5 – вторинні відстійники; 7 – третинний відстійник, 8 – очищені води.

Своєрідним різновидом біофільтра можна вважати відносно новий тип очисних споруд, що набуває всезростаючої популярності в США, Великій Британії, Нідерландах та інших країнах, а саме – мочари.

Мочари – це інженерна споруда в землі, «лежачий біофільтр» із гравійним завантаженням, розміщеним невеликою товщиною (до 1 м) на надійній гідроізоляції з синтетичної плівки. Стічна вода після ретельного механічного очищення розподіляється по ширині мочари перфорованою трубою і дуже повільно просочується впродовж тривалого часу (1-3 доби) крізь обросле біоплівкою завантаження, на якій, крім того, щільно ростуть водні рослини – рогози вузьколистий та широколистий, очерет звичайний, череда трироздільна, аїр болотний (лепеха) тощо, які сприяють аерації води, що очищається, вилучають із неї біогенні елементи, зокрема фосфор, калій, азот, а також важкі метали, і завдяки своїй розгалуженій кореневій системі збільшують поверхню обростання біоплівкою. Природно очищена вода збирається перфорованою трубою і відводиться в найближчий потік. Така очисна споруда не потребує жодних енергетичних затрат на аерацію, переміщення води, вона проста в обслуговуванні, екологічно бездоганна і повинна зайняти гідне місце в системі очищення стічних вод в Україні.

Біоплівка є основою функціонування ще одного типу очисних споруд, об'єднаних загальною назвою обертові біоконтактори. Це напівзанурені у стічну воду металеві або пластмасові диски, барабани з різноманітних синтетичних матеріалів у вигляді склеєних між собою під різними кутами листів шиферу, волоконних йоржів, «вій», що інтенсивно обростають біоплівкою. Ці диски чи барабани прикріплені до вала, що повільно (1-4 оберти за хвилину) обертається, і біоплівка, яка наростає на розвиненій поверхні біоконтакторів, постійно то занурюється у стічну воду, перемішуючи її та сорбуючи й адгезуючи з неї розчинені та завислі органічні речовини, то підіймається у повітря, де добре аерується й окиснює (розкладає, мінералізує) зазначені забруднення. Частина біомаси зривається водою, суспендується в ній і теж бере участь в її очищенні. Надлишкова біомаса виноситься з очищеною водою у вторинний відстійник, де й осідає.

Біоконтактори використовують, як правило, на біологічних очисних спорудах невеликої потужності. Їх розміщують в обвалованих ґрунтом приміщеннях.

Біоплівка в застосуванні має ряд незаперечних переваг. Вона дуже стійка

проти будь-яких змін у складі та кількості стічної води, не боїться залпових скидів, витримує короткочасну негативну дію токсичних речовин, швидко відновлює свої очисні функції після зняття збурювальних чинників.

3.3. Аналіз основних проблем біологічного очищення води

Біологічним очищенням побутових, міських і промислових стічних вод займалися здебільшого інженери-будівельники, і слід віддати їм належне, у своїй інженерній, технічній царині вони досягли великих успіхів. Біологи, в свою чергу, намагалися розібратися у надзвичайно складних біоценозах активного мулу, біоплівки, анаеробного мулу, розділити їх на компоненти, виділити в чистому стані й вивчити окремих представників цих біоценозів. Однак досі значного впливу на технологію біологічного очищення води біологи, судячи з усього, не чинили. Саме тому в ній, у цій традиційній технології, є, з погляду біології, слабкі місця та прорахунки, які не дають змоги досягти високого ступеня очищення стічних вод. Так, не можна ні пояснити, ні виправдати з погляду біології факт перенесення активного мулу з очищення води (із вторинних відстійників) на початок – у забруднену стічну воду.

Важко погодитись із застосуванням анаеробних процесів у дуже невідповідний момент – під кінець очищення (замість його початку) і для такого важкоздійснюваного процесу, як зброджування біологічних осадів, замість того, щоб застосувати анаеробні процеси для деструкції розчинених у воді органічних забруднень і переведення в нерозчинний стан важких металів.

Усе це призводить до утворення значної кількості відходів, зокрема надлишкового активного мулу, зброженого осаду. Традиційна біотехнологія потребує значних енергетичних затрат – на аерацію, перекачування води, мулу, обробку осадів, а наслідком є низька ефективність очищення як від органічних речовин, так і від важких металів, вірусів, бактерій.

Отже, в контексті вибору та застосування методів біологічного очищення води та очисних спорудах визначають чотири основні проблеми. Дві з них –

первинні – пов’язані безпосередньо з очищенням води, по-перше, від розчинених у ній органічних речовин, йонів важких металів і, по-друге, від істот, які очищали воду від розчинених речовин. Дві інші проблеми є похідними від зазначених і стосуються забруднення ґрунту осадами, що утворюються під час очищення води, та забруднення повітря леткими токсичними речовинами й аерозолями організмів, які очищають воду.

Основними перевагами біологічного очищення стічних вод, наприклад, у порівнянні з фізико-хімічним, є те що:

- органіка поглинається в процесі метаболізму бактерій, тому не потрібне використання флокулянтів і коагулянтів, які завдають шкоди екології та здоров'ю людей;
- відсутність потреби у використанні дороговартісних реагентів робить цю технологію найдешевшою (біологічне очищення стоків проходить самопливом, без перекачування середовища, тому не витрачається дорога електроенергія);
- утворюється мінімальна кількість осаду, тому знижуються витрати на його зневоднення та утилізацію (до того ж, осад без реагентів може використовуватися у якості добрива для вирощування сільськогосподарських культур);
- при механічному або фізико-хімічному водоочищенні видаляються не всі забруднення, азот та інші шкідливі домішки, які затримуються при біологічному очищенні;
- у процесі експлуатації установки для біологічного очищення стоків не потребують постійного контролю, оскільки працюють в автономному режимі.

РОЗДІЛ 4.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД

4.1. Основні принципи математичного та імітаційного моделювання

У ході дослідження нами з'ясувалися загальні принципи і методи математичного моделювання і прогнозування, якими зазвичай потрібно керуватися при розробці і застосуванні математичних та імітаційних моделей, застосовуваних у разі вивчення різноманітних природних систем і процесів, зокрема закономірностей розвитку живих систем та окремих організмів і популяцій.

Люди завжди використовували концепцію моделі, прагнули за її допомогою уявити і виразити як абстрактні поняття (ідеї), так і реальні об'єкти (явища). Формування поняття «моделей» та розробка різних моделей завжди відігравали значну роль у духовній, культурній та практичній діяльності суспільства, особливо з тих часів, коли воно почало прагнути до розуміння процесів і явищ, що відбуваються навколишньому природному середовищі. «По суті прогрес та історія науки і техніки знайшли свій найточніший вираз у розвитку здібностей людини створювати моделі природних явищ, понять і об'єктів» – відзначає відомий американський учений у галузі математичного та імітаційного моделювання Роберт Шеншон. Таким чином, однією з головних складових наукової методології дослідження природи є побудова та використання різних моделей, при цьому ці моделі можуть набувати різноманітних форм.

Однією з найефективніших форм моделювання є математичне і імітаційне моделювання, яке виражає (відображає) найістотніші риси реальних об'єктів, процесів, явищ і систем, що вивчаються різними науками, в тому числі біологією та екологією. На жаль, сьогодні не завжди можна створити

математичну модель того чи іншого реального процесу або явища в повному розумінні цього поняття, тобто не завжди ми вміємо строго математично описати реальний об'єкт, процес, явище, тобто реальну систему. Разом із тим, і за таких ситуацій є вихід завдяки бурхливому розвитку нового напрямку в математичному моделюванні – так званого, імітаційного моделювання.

Будуючи математичну модель, насамперед потрібно пам'ятати, що це можливо тільки за допомогою певних, кількісно строго визначених величин, які в процесі дослідження можуть змінюватись або залишатись незмінними (константами). Тому перш ніж будувати математичну модель або застосовувати вже відомі математичні методи і моделі, необхідно розчленити об'єкт дослідження на ті елементи (компоненти), які характеризують найістотніші властивості даного об'єкту (процесу, явища). Потім кожному елементові утвореної таким чином системи ставиться у відповідності певна кількісна величина. Внаслідок одержуємо деяку абстрактну систему взаємопов'язаних елементів (компонентів), яка представляє (моделює) ту реальну систему або об'єкт, що ми досліджуємо. Процес (процедура) побудови такої абстрактної спрощеної системи називається математичною формалізацією реального об'єкта, явища або системи. Нагадаємо, що під моделлю розуміють зображення (уявлення, поняття) об'єкта, процесу або системи в деякій формі, відмінній від форми їх реального існування. Тому побудована абстрактна система і є певною моделлю реальної системи. Але це ще не математична модель в повному розумінні цього поняття. Необхідно встановити зв'язки між окремими елементами системи та між елементами системи і середовищем, в якому функціонує дана система. На етапі встановлення кількісних зв'язків і співвідношень між елементами побудованої системи (моделі) застосування математичних методів можна вважати традиційним. Тут широко використовується методи математичної статистики, методи побудови емпіричних формул, менше – комбінаторний і логічний аналіз, статистичний аналіз і тим більше – в біологічних та екологічних дослідженнях.

Суть імітаційного моделювання полягає в тому, що модель реальної

системи будується спочатку словесно (вербально), концептуально, а потім для формалізації і математичного опису моделі залучаються всі існуючі методи, включаючи методи інформатики, системного аналізу і математичного моделювання. Основною умовою побудови імітаційної моделі є застосування сучасних електронних обчислювальних машин (ЕОМ). Потрібно також відзначити, що побудова імітаційної моделі не вимагає обов'язкового повного (строгого) математичного опису реальної системи чи процесу. В такому разі більше місця відводиться використанню різної додаткової інформації про реальний об'єкт дослідження, яка одержується внаслідок вивчення останнього за допомогою лабораторних та інших нематематичних методів та яку не вдається передати точними математичними виразами або рівняннями. Саме неповнота математичного опису реального об'єкта робить імітаційну модель принципово відмінною від строгої математичної моделі в традиційному розумінні. У процесі імітаційного моделювання широко залучається інтуїція науковця, дослідника чи спеціаліста та їх робота в діалоговому режимі з ЕОМ.

Отже, поступаючись у точності математичного опису окремих елементів реальної системи, імітаційна модель, як правило, повинна мати перевагу відносно її інформативності та практичного застосування. Зважаючи на останнє зауваження, можна стверджувати, що будь-яка математична модель, успішно використовувана для розв'язання складних практичних завдань і проблем, із повним правом може називатися імітаційною моделлю (ІМ), або імітаційною математичною моделлю (ІММ).

У даний час напрацьовано різні способи й прийоми математичного моделювання, при цьому в найменуванні математичної моделі часто відображається назви того чи іншого математичного методу, що застосовується при її побудові. Наприклад, розрізняють моделі дискретні й неперервні, детерміністичні й стохастичні, аналогові й символічні та інші. Класифікація моделей можна складати за різними ознаками і цілями, зокрема:

- за характером використання початкової інформації;
- за типом (видом) математичного методу;

- за ступенем адекватності моделі і реальної системи;
- за рівнем конкретизації моделюючого об'єкта та ін.

Розрізняють також математичні моделі за характером опису ними просторових характеристик (властивостей) реальної системи. Моделі, в яких просторові характеристики природної системи не враховуються, тобто ці моделі описують такі характеристики (параметри), які залежать тільки від часу, прийнято називати моделями із зосередженими значеннями (параметрами). Моделі, в яких враховується зміна характеристик не тільки в часі, а й просторі, тобто шукані характеристики (параметри) залежать як від часу, так і від простору, називаються моделями з розподіленими значеннями (параметрами). Слід зауважити, що для теоретичних досліджень найперспективнішими є детерміновані моделі з розподіленими параметрами. Разом з тим, слід ширше реалізовувати можливості простих концептуальних моделей, особливо тих, що фізично обґрунтовані. Зазначимо, що прості моделі в практичному відношенні є мобільнішими, хоча вони й не здатні відтворювати весь можливий спектр природних умов.

Нині більшість математичних моделей, що широко застосовуються в різних галузях природничих і суспільних наук, можна розбити ще на такі два великі класи:

1. Математичні, або аналітичні, моделі;
2. Імітаційні, або системні, моделі.

При цьому вважається, що в математичних моделях використовуються в основному аналітичні методи, зокрема апарат сучасного математичного аналізу інформатики і сучасних електронних обчислювальних машин (ЕОМ) є основним і принципово обов'язковим елементом дослідження. На рис. 4.1. схематично зображено класифікацію математичних моделей.

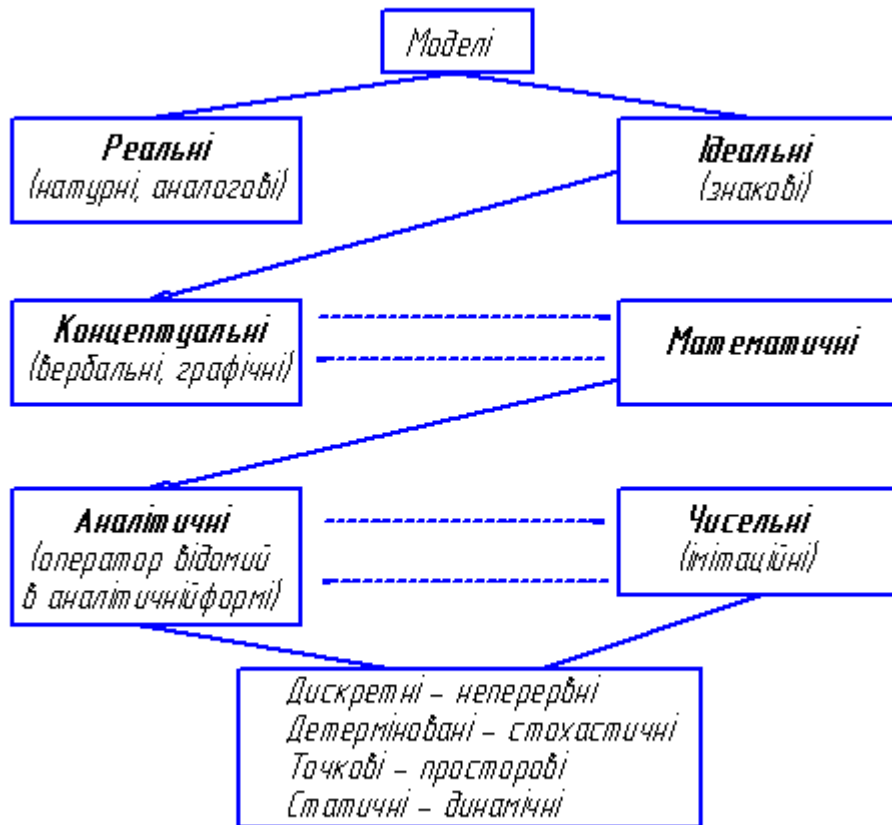


Рис. 8 Класифікація математичних моделей

Насправді ж, складно провести чітку межу між різними видами моделювання, оскільки в математичних (аналітичних) моделях доводиться використовувати чисельний експеримент із застосуванням ЕОМ, а в імітаційних (системних) моделях неможливо обійтися без проведення аналітичного розв'язування поставленої задачі (на рис.4.1 ці зв'язки показано пунктирними стрілками). Усе це підтверджує думку, що протиставлення математичного і імітаційного моделювання позбавлено будь-якої основи. Навпаки, розробка конкретних математичних моделей, в тому числі й аналітичних, є тією основою (базою), на якій можна успішно побудувати хорошу імітаційну модель, що спроможна надати значну допомогу при дослідженні складних екологічних систем з метою виявлення найзагальніших і найважливіших закономірностей розвитку організмів, популяцій та угруповань

як основних елементів цих систем. Ось чому в тому разі, коли будь-яка математична модель використовується для чисельного (імітаційного) експерименту або для відтворення і прогнозування реальних явищ, ситуацій, процесів або систем, це свідчить про успішне використання математичного моделювання в практиці наукових досліджень.

Розглянемо деякі основні принципи і методи побудови (створення) імітаційних математичних моделей під вищенаведеним кутом зору. Як правило, при дослідженні конкретного процесу або явища природи можна побудувати кілька різних математичних (імітаційних) моделей. Кожна з цих має певний теоретичний рівень, що характеризує її узагальненість та адекватність реальній системі, яку вона описує. Цей рівень, передусім, залежить від наших знань про моделюючий об'єкт, процес або явище та від рівня кваліфікації модельєра (математика, фізика, біолога, еколога) – розробника математичної моделі. Крім цього, рівень імітаційного математичного моделювання значною мірою залежать від потужності ЕОМ та її математичного забезпечення. Зауважимо також, що моделі не можуть бути одночасно і достатньо адекватними (реалістичними), і досить загальними (теоретичними). З найбільш загальних математичних моделей, що описують широкий клас процесів і явищ, можна вивести (одержати) часткові математичні моделі, які описують уже конкретніші, вузьчі сукупності явищ, що характеризуються додатковими зв'язками. Таким чином, будуються моделі різних рівнів, причому кожна модель нижчого рівня повинна узгоджуватись (має не суперечити!) з моделлю вищого рівня. Класичним прикладом математичних моделей високого рівня є відомі закони збереження в механіці й фізиці, а саме: закон збереження маси, закон збереження енергії, закон збереження кількості руху та інші.

Процес побудови математичної, а тим паче імітаційної моделі не може бути суворо формалізованим та алгоритмізованим. Він завжди містить як елементи формалізації, відомих правил, законів і алгоритмів, так і елементи творчості й інтуїції, а отже, створює нові правила, підходи, алгоритми. Найзагальнішим правилом побудови імітаційної математичної моделі є процес

послідовних наближень (спосіб ітерації), який полягає в тому, що при розробці моделі на кожному кроці її уточнення враховуються результати розрахунків за попереднім варіантом моделі, які порівнюються як з уже накопиченою інформацією або відомими даними експериментів чи натурних спостережень, так і з новою інформацією і даними про моделюючу систему. В процесі порівняння результатів моделювання з даними натурних спостережень або лабораторних експериментів визначаються числові значення параметрів, що входять до математичних моделей і мають певний фізичний зміст (у статистичних моделях такі параметри не мають фізичного змісту). Процес визначення цих параметрів називається верифікацією, або калібруванням, математичної (імітаційної) моделі. Завдання полягає в тому, щоб визначити (дібрати) числові значення невідомих параметрів моделі таким чином, щоб різниця між даними натурних спостережень і розрахунковими значеннями була мінімальною. Модель вважається верифікованою (каліброваною) в тому разі, коли результати розрахунків двох послідовних наближень збігаються із заданою для практики точністю.

Вважається, що найголовніше значення для екології мають два різновиди знакових моделей: це концептуальні моделі й математичні моделі.

Концептуальна модель являє собою деякий більш формалізований, систематизований строго обґрунтований варіант традиційного словесного (вербального) опису реальної системи чи об'єкта (явища, процесу). Таке уявлення складається з наукового обґрунтованого тексту, який обов'язково супроводжується схемами, графіками, таблицями та іншими ілюстративним матеріалом, в якому можуть використовуватись певні знаки, букви і символи.

Термін «концептуальна модель» підкреслює, що основне призначення цієї моделі – вираз чіткої концепції, підходу, обґрунтування й узагальнення всіх знань, уявлень і даних натурних спостережень про реальну систему, яка вивчається і для якої планується побудувати математичну модель. Наприклад, у рамках «енергетичної» концепції відповідні концептуальні моделі набувають форм блок-схем трофічних зв'язків і потоків речовини в екосистемі або

біоценозі.

Одночасно із значними загальновідомими перевагами концептуальних моделей, серед яких насамперед слід назвати системність, інформативність, універсальність, обґрунтованість, узагальненість та інші, вони мають також ряд недоліків, основними з яких є неоднозначність трактування певних положень і неможливість опису процесів у динаміці. Тому найціннішими і найефективнішими є математичні моделі. Як уже йшлося, процес побудови будь-якої математичної моделі неможливо формалізувати і тим паче апріорі алгоритмізувати. Проте деякий загальний план побудови математичних моделей можна скласти. Частково про такий план уже йшлося, а тепер опишемо його в формалізованих (кількісних) символах.

4.2. Системний підхід до побудови математичних моделей

Основним поняттям при побудові математичних моделей як на концептуальному, так і формалізованому (математичному) рівнях є поняття «система». Системний підхід пронизує всі аспекти побудови математичних моделей в екології, тому варто коротко зупинитись на цьому важливому понятті з погляду математики, знакової символіки, яка дає змогу формалізувати як поняття системи, так і її складові.

Спочатку дамо загальне визначення системи, а саме: під системою розуміють множину об'єктів разом з відношеннями (зв'язками) між цими об'єктами та їх атрибутами. Об'єкти – це окремі частини або компоненти системи, причому їх може бути необмежена множина. Атрибути – це властивість об'єктів. Відношення (зв'язки) – це ті властивості системи, що об'єднують її в єдине ціле.

Якщо елементи, що утворюють певну систему, позначити символами $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, де n – число елементів, то множину (вектор)

$$X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\} \quad (4.2.1)$$

природно назвати складом (X) системи S .

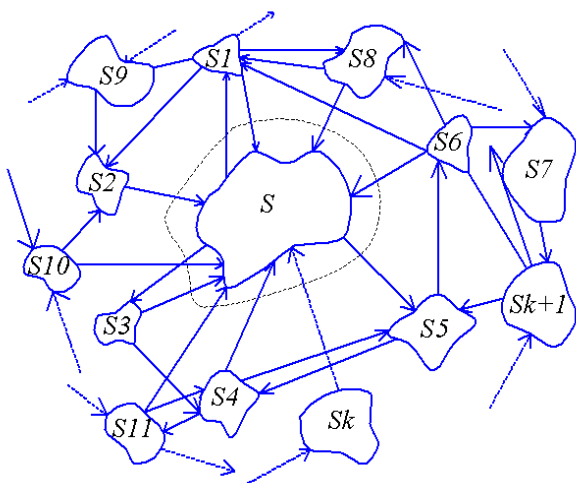
Елементи $\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ об'єднуються в ціле (систему) певним відношенням і зв'язками, які називаються системо утворюючими. До того ж, ці елементи не тільки зв'язані між собою, вони зазнають впливу зовнішніх відносно системи S об'єктів. Наприклад, особини популяції взаємодіють не тільки одне з одним, але й з особинами інших популяцій при хижацтві, конкуренції тощо. Отже, кожна система S впливає сама і зазнає впливу з боку нескінченної множини інших систем $S_1, S_2, \dots, S_{k+1}, \dots$ (рис.9, А). Якщо все ж таки вибрати певну міру інтенсивності взаємодії, то можна встановити певне число зовнішніх систем $V_1, V_2, V_3, \dots, V_m$, що взаємодіють з даною системою S (рис. 9, Б). Множину V , що складається із зовнішніх систем, які перебувають в істотних (в певному розумінні) зв'язках з даною системою S , прийнято називати навколишнім середовищем (довкіллям) і позначити символом (вектором) – V :

$$V = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_m\}. \quad (4.2.2)$$

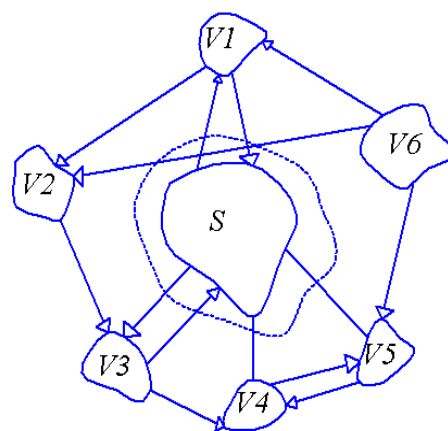
Множину відношень (зв'язків) між елементами системи та елементами системи і навколишнім середовищем називають структурою даної системи S і позначають її так:

$$\Sigma = \{ \Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3, \dots, \Sigma_L \}, \quad (4.2.3)$$

де L – кількість усіх зв'язків, що утворюють структуру системи S .



А



Б

Рис.9. Взаємовпливи й взаємозв'язки системах

Склад X , навколишнє середовище V і структура Σ можуть змінюватися в часі, що записується таким чином:

$$X = X(t) = \{X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)\},$$

$$V = V(t) = \{V_1(t), V_2(t), \dots, V_m(t)\}, \quad (4.2.4)$$

$$\Sigma = \Sigma(t) = \{\Sigma_1(t), \Sigma_2(t), \dots, \Sigma_l(t)\}.$$

Функцією системи S називається закон (сукупність правил) $F(t)$, за яким залежно від зовнішніх факторів $V(t)$ відбувається зміна в часі внутрішніх елементів $X(t)$ і структури $\Sigma(t)$.

Враховуючи викладене, можна скласти таке формалізоване означення поняття системи:

Системою $S(t)$, що функціонує в навколишньому середовищі $V(t)$, називається множина об'єктів

$$S(t) = S(X, V, \Sigma, F), \quad (4.2.5)$$

утворена із сукупності внутрішніх елементів $X(t)$, які зв'язані між собою і з навколишнім середовищем $V(t)$ сукупністю зв'язків $\Sigma(t)$, що змінюються в часі відповідно до множини функцій $F(t)$.

Таким чином, виходячи з основних положень теорії систем, бачимо, що системний підхід до вивчення будь-яких реальних систем полягає:

1. У визначенні складових частин $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ і взаємопов'язаних з ними елементів (факторів) навколишнього середовища $V_1, V_2, V_3, \dots, V_m$;

2. У вивченні структури внутрішніх зв'язків, а також зв'язків між елементами екосистеми і зовнішніми чинниками $\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3, \dots, \Sigma_l$;

3. У знаходженні законів функціонування екосистеми $F = \{F_1, F_2, F_3, \dots, F_p\}$, що визначають характер зміни (динаміку) основних компонентів екосистеми під дією зовнішніх об'єктів (елементів навколишнього середовища).

Для розв'язання цих трьох основних завдань у сучасній екології існує ряд методів дослідження, основні з яких: польові спостереження (натурні

$$\begin{aligned}
X_1(t) &= f_1(v_1, v_2, \dots, v_m, X_1^0, X_2^0, \dots, X_n^0, t), \\
X_2(t) &= f_2(v_1, v_2, \dots, v_m, X_1^0, X_2^0, \dots, X_n^0, t), \\
X_n(t) &= f_n(v_1, v_2, \dots, v_m, X_1^0, X_2^0, \dots, X_n^0, t),
\end{aligned}
\tag{4.2.11}$$

які задовільняють рівнянням і нерівностям (4.2.10) і заданим початковим умовам:

$$X_1(t_0) = X_1^0, X_2(t_0) = X_2^0, \dots, X_n(t_0) = X_n^0 \tag{4.2.12}$$

Указуючи всі переваги методу математичного моделювання, не можна не відзначити, що нерідко відсутність чітких якісних уявлень про досліджувані процеси та явища, про кількісні зв'язки між окремими характеристиками цих процесів (явищ) підміняються наведенням великого числа експериментальних даних, а за теоретичний (модельний) опис видається підібраний емпіричний вираз (одна або кілька формул) без зазначення межі області його застосування. Такий напівемпіричний опис може не мати нічого спільного з реальним процесом (явищем), особливо в тій частині області застосування моделі, яка лежить поза межею адекватності, що й робить побудовану модель малоефективною. Ось чому тільки та математична модель, яка описує суть процесу чи явища, розкриває закономірності їх протікання, і є адекватною в математичному описі окремих характеристик реальної системи. Саме вона дає в руки спеціалісту (досліднику) інструментарій, який дозволяє найоб'єктивніше розв'язувати поставлені завдання і приймати такі рішення, які не повинні викликати жодних сумнівів щодо їх правильності. При всіх найжорсткіших вимогах до моделей ми не повинні забувати, що побудована модель не може бути точнішою, ніж та інформація, що вводиться в модель і використовується при моделюванні.

Особливості математичного моделювання біологічних та екологічних систем полягають у тому, що в основі математичного моделювання процесів біологічного походження лежить уявлення про біологічні системи або екосистеми як такі, до яких справедливі основні закони фізики і хімії. Тобто, всі ті основні принципи і закони, згідно з якими протікають різні процеси в неживій природі, зберігають свою силу і для живої матерії. Отже, будь-яка

математична (імітаційна) модель повинна базуватися на відомих законах збереження речовини, енергії, кількості руху, на законах діючих мас, хімічних і радіоактивних перетворень та ін. Проте знання одних законів недостатньо, оскільки побудована тільки на цих законах модель буде досить загальною. Для побудови математичних моделей конкретних абіотичних і біотичних процесів, що відбуваються в природних системах, необхідно також знати співвідношення, що визначають потоки речовини та енергії як в систему, так і з системи, залежно від стану окремих компонентів цієї системи (екосистеми, біотопу, біоценозу) та навколишнього середовища.

4.3. Дослідження процесу біологічного очищення стічних вод за допомогою математичного моделювання

У даному підрозділі показано, як за допомогою однієї з математичних моделей процесу поширення забруднень у рухомому середовищі неконсервативних речовин, можна визначити основні параметри біореактора та швидкість біологічного очищення стічних вод.

4.3.1. Побудова концептуальної і математичної моделей

Біореактор являє собою прямокутну очисну споруду (канал або басейн) у вигляді прямокутної призми. На вхід у біореактор надходять стічні води з різними інгредієнтами забруднюючих речовин, кожен з яких, перебуваючи в біореакторі, трансформується (перетворюється) в нешкідливі або мало шкідливі речовини. Найбільш токсичні органічні речовини за допомогою мікроорганізмів перетворюються в неорганічні речовини, які або осідають на дні реактора, або засвоюються фітопланктоном та іншими водними організмами. Таким чином, відбувається біологічне очищення стічних вод. Швидкість такого очищення залежить як від біомаси мікроорганізмів, так і від концентрації забруднень, що впливають на біомасу мікроорганізмів. Якщо в

біореакторі процес стабілізувався, то концентрація забруднень у кожній точці біореактора не змінюватиметься протягом усього часу спостереження. Проте вздовж реактора в напрямі руху стічних вод концентрація забруднень зменшується, і на виході з біореактора вона стає найменшою. Ясно, що чим більший час стічні води знаходяться у біореакторі, тим краще вони очистяться. Час перебування стічних вод у біореакторі залежать від швидкості, з якою вони течуть у ньому. Отже, чим більшою є швидкість течії у біореакторі, тим менше очищена вода буде на виході з біореактора. У зв'язку з цим виникає задача визначення такої швидкості стічних вод у біореакторі, за якої концентрація забруднень на виході не перевищуватиме заданої гранично допустимої величини. Для розв'язання такої задачі потрібно застосувати метод математичного моделювання.

Загальне рівняння масоперенесення домішок у рухомому розчинні з урахуванням кінетики реакції перетворення (самоочищення) забруднюючих речовин записується у вигляді:

$$D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - V_x \frac{\partial c}{\partial x} - \gamma(x, t, T, c)c = \frac{\partial c}{\partial t}, \quad (4.3.1)$$

де $c(x, t)$ – концентрація забруднень, D – коефіцієнт молекулярної дифузії, V_x – швидкість руху розчину, $\gamma(x, t, T, c)$ – функція, що описує кінетику біологічного самоочищення, t – час у добі.

У нашому випадку, враховуючи досить малий вплив молекулярних процесів на очищення стічних вод та їх стаціонарний характер, для моделювання біологічного очищення стічних вод у реакторі скористаємося таким рівнянням:

$$V_x \frac{dc}{dx} = -\gamma(x, t, T, c)c. \quad (4.3.2)$$

Коефіцієнт швидкості очищення при сталій температурі визначатимемо такою рівністю:

$$\gamma(x, t) = \gamma_{\max} + (\gamma_{\min} - \gamma_{\max}) e^{-\frac{t}{\mu}}, \quad (4.3.3)$$

Де постійні γ_{\min} , γ_{\max} і μ визначаються при верифікації (калібровці) моделі

на основі даних натурних спостережень.

Коефіцієнт швидкості біологічного очищення стічних вод γ може мати різну структуру, але основною його властивістю є те, що він повинен задовільняти таким двом умовам:

$$\gamma(0) = \gamma_{\min}, \lim_{t \rightarrow 0} \gamma = \gamma_{\max}, \quad (4.3.4)$$

Ця властивість показує, що швидкість очищення стічних вод не може збільшуватись необмежено. Тому коефіцієнт швидкості очищення γ має асимптотичний характер обмеження.

Розв'язання диференціального рівняння шукатимемо при додатковій (початковій) умові $c(0) = c_{CT}$, де c_{CT} – концентрація стічних вод, що надходять до реактора.

Отже, математична модель біологічного очищення стічних вод описується такою крайовою задачею:

$$V_x \frac{dc}{dx} = - \left[\gamma_{\max} + (\gamma_{\min} - \gamma_{\max}) e^{-\frac{t}{\mu}} \right] c, \quad (4.3.5), (4.3.6)$$

$$c \Big|_{x=0(t=0)} = c(0) = c_{CT}.$$

Враховуючи, що $V_x = \frac{dx}{dt}$, крайову задачу перепишемо у такому вигляді:

$$\frac{dc}{dt} = - \left[\gamma_{\max} + (\gamma_{\min} - \gamma_{\max}) e^{-\frac{t}{\mu}} \right] c, c(0) = c_{CT}. \quad (4.3.7)$$

Як було вже сказано, для математичної моделі (4.3.2) трофічну функцію $\gamma(x, t, c, B)$, що описує величину швидкості біологічного самоочищення, можна представити різними функціями, які задовольняють умові (4.3.4). Крім уже наведеної вище функції (4.3.3), такій умові задовольняє функція, що визначається рівнянням Міхаеліса-Ментен у такій формі:

$$\gamma(t) = \frac{\gamma_{\max} t}{\gamma_m + t}, \quad (4.3.8)$$

Де γ_{\max} і γ_m – сталі верифікації, причому стала Міхаеліса γ_m дорівнює такому значенню часу, при якому швидкість протікання реакції (споживання субстрату) дорівнює половині максимальної $\left(\gamma = \frac{1}{2} \gamma_{\max} \right)$.

Формулу Міхаеліса-Ментен можна узагальнити і записати як функцію

часу, концентрації і біомаси мікроорганізмів, а саме:

$$\gamma(t, c, B) = \frac{\gamma_{\max}(t + c + B)}{\gamma_M + (t + c + B)}. \quad (4.3.9)$$

Аналогічно можна узагальнити трофічну функцію (4.3.3) і записати її у вигляді

$$\gamma(t, c, B) = \gamma_{\max} + (\gamma_{\min} - \gamma_{\max}) \ell^{-\frac{t+c+B}{\mu}}. \quad (4.3.10)$$

Для деяких організмів трофічну функцію можна визначити як розв'язок логістичного рівняння, тобто

$$\gamma(t, c, B) = \frac{\gamma_{\min} \gamma_{\max}}{\gamma_{\min} + (\gamma_{\max} - \gamma_{\min}) \ell^{-rt}} \quad (4.3.11)$$

Або в більш загальному вигляді:

$$\gamma(t, c, B) = \frac{\gamma_{\min} \gamma_{\max}}{\gamma_{\min} + (\gamma_{\max} - \gamma_{\min}) \ell^{-r(t+c+B)}}. \quad (4.3.12)$$

Розв'язавши крайову задачу (4.3.7), знайдемо функцію, що описує (моделює) динаміку забруднень (зміну їх концентрації):

$$c(t) = c_{CT} \exp \left[\mu (\gamma_{\min} - \gamma_{\max}) \left(\ell^{-\frac{t}{\mu}} \right) - \gamma_{\max} t \right], t = \frac{x}{V_x}. \quad (4.3.13)$$

Поклавши для зручності $\gamma_{\min} = 0$ і $\mu = m$, із розв'язку (4.3.13) одержимо таку формулу для обчислення концентрації забруднень у стічних водах, що рухаються в реакторі зі швидкістю V_x :

$$c(t) = c_{CT} \exp \left\{ \gamma_{\max} \left[m \left(1 - \ell^{-\frac{t}{m}} \right) - t \right] \right\}, t = \frac{x}{V_x}, \quad (4.3.14)$$

Де параметри моделі γ_{\max} і m поки що не визначені.

4.3.2. Верифікація математичної моделі

Для проведення розрахунків необхідно спочатку за даними натурних спостережень провести верифікацію (калібровку) математичної моделі (4.3.14), тобто визначити числове значення параметрів $\gamma_{\max} = \mu$ (див. пунктирну лінію, що описує динаміку концентрації ХПК за даними натурних спостережень.

Таблиця 4.1

Значення концентрації забруднень за ХСК і зависях, $г/дм^3$

Інградієнт	На початку БР	25 м (10 діб)	50 м (20 діб)	75 м (30 діб)	100 м (40 діб)
ХПК	0,480	0,260	0,250	0,060	0,019
Зависі	0,020	0,019	0,017	0,010	0,012

Таблиця 4.2. Алгоритм обчислення концентрації забруднень

x	$-\frac{x}{vm}$	$\exp\left(-\frac{x}{vm}\right)$	$1 - \exp\left(-\frac{x}{vm}\right) = a$	am	$am - \frac{x}{v} = b$	$\exp(\gamma b)$	$c = c_{CT} \exp(\gamma b)$
1	2	3	4	5	6	7	8

У таблицях 4.1 та 4.2 наведені результати натурних спостережень за біологічним очищенням стічним вод у біореакторі за ХСК та зависях. Для цього нами проведено два паралельних дослідження. Відомо, що довжина біореактора $L=100$ м, а швидкість руху стічних вод в біореакторі $\vartheta = 1,5 м/добу$ і $\vartheta = 3,5 м/добу$. Як бачимо, у таблицях наведені значення концентрації органічних речовин за ХСК і зависями на вході в біореактор і через кожні 25 м, тобто 10, 20, 30, 40 діб перебування забруднень у біореакторі.

Верифікацію моделі проводили за методом послідовних наближень, тобто для різних значень параметрів γ і m будемо знаходити значення концентрації $c(t)$ доти, поки це значення не почне збігатися з даними натурних спостережень. Обчислення зручно проводити в певній послідовності, тобто за алгоритмом, наведеним у таблиці 4.1, де в першій колонці записуються значення координати стічних вод у біореакторі ($x=0$ м, $x=25$ м, $x=50$ м, $x=75$ м, $x=100$ м). Для кожного значення параметра γ ($\gamma = 1; 0,1; 0,5$ та ін.) використано кілька значень параметра $m=10; 25; 50; 100$ і т.д.).

При остаточній верифікації математичної моделі визначено абсолютну і відносну середні квадратичні похибки.

Нагадаємо, що середня квадратична відносна похибка δ визначається за

такою формулою (в процентах):

$$\delta = 100\% \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta C_i}{C_i} \right)^2} \quad (4.3.15)$$

або для даного випадку:

$$\delta = 100\% \sqrt{\frac{1}{4} \left[\left(\frac{\Delta C_1}{C_1} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C_2}{C_2} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C_3}{C_3} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C_4}{C_4} \right)^2 \right]}, \quad (4.3.16)$$

Де $\Delta \tilde{N}_1, \Delta C_2, \Delta C_3, \Delta C_4$ – абсолютні похибки; C_1, C_2, C_3, C_4 – дані натурних спостережень в точках біореактора $x=25\text{м}, x=50\text{м}, x=75\text{м}, x=100\text{м}$. Як показують розрахунки, найменша середня квадратична похибка одержується при значеннях параметрів верифікації $\gamma = 0,40$ і $m = 100$. При таких значеннях параметрів γ і m математичну модель можна вважати верифікованою із заданою точністю. Враховуючи, що при $\gamma = 0,40$ і $m = 100$ середня квадратична похибка дещо більша, але на виході біореактора значення концентрації менше значення, що спостерігається в природі, краще ці значення взяти за параметри верифікації. Графіки концентрації, що побудовані за даними натурних спостережень (ламана пунктирна лінія) і результатами теоретичних (математичних) розрахунків (суцільна крива), наведені на рис. 4.3.

Результати верифікації наведені в таблицях 4.3-4.10 (за ХСК і зависях із табл.1 – за найменших значень концентрації).

Таблиця 4.3

Верифікація моделі при $\gamma = 1$; $m = 10; 25; 50; 100$ за ХСК

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $\gamma = 1; m = 10$							
10	-0,6	0,547	0,453	4,53	-2,13	0,117	0,0562
20	-1	0,271	0,729	14,58	-1,09	0,333	0,160
30	-2	0,134	0,866	25,98	-5,98	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
40	-3	0,073	0,927	37,08	-10,4	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$
2) $\gamma = 1; m = 25$							
10	-0,2	0,818	0,182	4,55	-2,11	0,120	0,0576
20	-0,5	0,605	0,395	9,87	-3,43	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$
30	-0,8	0,447	0,553	13,82	-6,18	$2 \cdot 10^{-3}$	$0,9 \cdot 10^{-2}$

40	-1	0,366	0,664	16,6	-10,1	$4,1 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$
3) $\gamma = 1; m = 50$							
10	-0,1	0,904	0,096	4,8	-1,86	0,154	0,074
20	-0,2	0,818	0,182	9,1	-4,23	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$0,7 \cdot 10^{-2}$
30	-0,4	0,669	0,331	16,5	-3,45	$3,1 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$
40	-0,5	0,605	0,395	19,7	-6,91	$9,6 \cdot 10^{-4}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$
4) $\gamma = 1; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,446	0,224
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,164	0,079
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,569	0,273

Таблиця 4.4

Верифікація моделі при $\gamma = 0,1$; $m = 10; 25; 50; 100$

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $\gamma = 0,1; m = 10$							
10	-0,6	0,547	0,453	4,53	-2,13	0,807	0,387
20	-1	0,271	0,729	14,58	-1,09	0,896	0,430
30	-2	0,134	0,866	25,98	-5,98	0,548	0,263
40	-3	0,073	0,927	37,08	-10,4	0,351	0,168
2) $\gamma = 0,1; m = 25$							
10	-0,2	0,818	0,182	4,55	-2,11	0,809	0,388
20	-0,5	0,605	0,395	9,87	-3,43	0,708	0,339
30	-0,8	0,447	0,553	13,82	-6,18	0,537	0,258
40	-1	0,366	0,664	16,6	-10,1	0,364	0,175
3) $\gamma = 0,1; m = 50$							
10	-0,1	0,904	0,096	4,8	-1,86	0,829	0,398
20	-0,2	0,818	0,182	9,1	-4,23	0,654	0,314
30	-0,4	0,669	0,331	16,5	-3,45	0,707	0,339
40	-0,5	0,605	0,395	19,7	-6,91	0,499	0,239
4) $\gamma = 0,1; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,687	0,329
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$0,6 \cdot 10^{-8}$
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$

Таблиця 4.5

Верифікація моделі при $\gamma = 0,5$; $m = 10; 25; 50; 100$

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $\gamma = 0,5; m = 10$							
10	-0,6	0,547	0,453	4,53	-2,13	0,343	0,165
20	-1	0,271	0,729	14,58	-1,09	0,577	0,277
30	-2	0,134	0,866	25,98	-5,98	$4,9 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$
40	-3	0,073	0,927	37,08	-10,4	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
2) $\gamma = 0,5; m = 25$							
10	-0,2	0,818	0,182	4,55	-2,11	0,346	0,166
20	-0,5	0,605	0,395	9,87	-3,43	0,178	0,0854
30	-0,8	0,447	0,553	13,82	-6,18	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$
40	-1	0,366	0,664	16,6	-10,1	$6,4 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$
3) $\gamma = 0,5; m = 50$							
10	-0,1	0,904	0,096	4,8	-1,86	0,393	0,189
20	-0,2	0,818	0,182	9,1	-4,23	0,119	0,0571
30	-0,4	0,669	0,331	16,5	-3,45	0,177	0,0849
40	-0,5	0,605	0,395	19,7	-6,91	$3,1 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$
4) $\gamma = 0,5; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,683	0,328
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,153	0,0734
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,405	0,194
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,755	0,362

Таблиця 4.6

Верифікація моделі при $\gamma = 0,2; 0,3; 0,4; 0,45$; $m = 100$

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $\gamma = 0,2; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,858	0,142
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,473	0,227
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,696	0,334
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,894	0,429
2) $\gamma = 0,3; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,795	0,382
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,325	0,156
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,581	0,279
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,845	0,406
3) $\gamma = 0,4; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,737	0,354
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,223	0,107
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,485	0,233
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,798	0,383
4) $\gamma = 0,45; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,709	0,340
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,185	0,089
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,443	0,213
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,776	0,372

Таблиця 4.7

Верифікація моделі при $\gamma = 1$; $m = 10; 25; 50; 100$ за зависями

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $\gamma = 0,1; m = 10$							
10	-0,6	0,547	0,453	4,53	-2,13	0,118	$2,4 \cdot 10^{-3}$
20	-1	0,271	0,729	14,58	-1,09	$8,9 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-3}$
30	-2	0,134	0,866	25,98	-5,98	$11,3 \cdot 10^{-6}$	$0,23 \cdot 10^{-6}$
40	-3	0,073	0,927	37,08	-10,4	$3,3 \cdot 10^{-8}$	$0,06 \cdot 10^{-8}$
2) $\gamma = 0,1; m = 25$							
10	-0,3	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,851	0,017
20	-0,5	0,904	0,096	9,6	-3,73	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$0,06 \cdot 10^{-2}$
30	-0,8	0,818	0,182	18,2	-1,8	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$0,04 \cdot 10^{-3}$
40	-1	0,739	0,261	26,1	-0,56	$17,6 \cdot 10^{-6}$	$0,3 \cdot 10^{-6}$
3) $\gamma = 0,1; m = 50$							
10	-0,1	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,154	$3,1 \cdot 10^{-3}$
20	-0,2	0,904	0,096	9,6	-3,73	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$0,03 \cdot 10^{-2}$
30	-0,4	0,818	0,182	18,2	-1,8	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$0,06 \cdot 10^{-2}$
40	-0,5	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,196	$3,9 \cdot 10^{-3}$
4) $\gamma = 0,1; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,466	0,0093
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$0,05 \cdot 10^{-2}$
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,164	0,0033
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,569	0,011

Таблиця 4.8

Верифікація моделі при $\gamma = 0,1$; $m = 10; 25; 50; 100$

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $\gamma = 0,1; m = 10$							
10	-0,6	0,547	0,453	4,53	-2,13	0,807	0,016
20	-1	0,271	0,729	14,58	-1,09	0,495	0,01
30	-2	0,134	0,866	25,98	-5,98	0,320	0,0064
40	-3	0,073	0,927	37,08	-10,4	0,178	0,00356
2) $\gamma = 0,1; m = 25$							
10	-0,2	0,818	0,182	4,55	-2,11	0,984	0,0197
20	-0,5	0,605	0,395	9,87	-3,43	0,708	0,0142
30	-0,8	0,447	0,553	13,82	-6,18	0,536	0,0107
40	-1	0,366	0,664	16,6	-10,1	0,335	0,0067
3) $\gamma = 0,1; m = 50$							
10	-0,1	0,904	0,096	4,8	-1,86	0,829	0,0166
20	-0,2	0,818	0,182	9,1	-4,23	0,654	0,0131
30	-0,4	0,669	0,331	16,5	-3,45	0,704	0,0373
40	-0,5	0,605	0,395	19,7	-6,91	0,497	0,0263
4) $\gamma = 0,1; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,926	0,0185
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,687	0,0137
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,834	0,0167
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,945	0,0189

Таблиця 9

Верифікація моделі при $\gamma = 0,5$; $m = 10; 25; 50; 100$

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $\gamma = 0,5; m = 10$							
10	-0,6	0,547	0,453	4,53	-2,13	0,345	0,0069
20	-1	0,271	0,729	14,58	-1,09	0,030	0,0006
30	-2	0,134	0,866	25,98	-5,98	0,0034	$6,8 \cdot 10^{-5}$
40	-3	0,073	0,927	37,08	-10,4	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$0,04 \cdot 10^{-4}$
2) $\gamma = 0,5; m = 25$							
10	-0,2	0,818	0,182	4,55	-2,11	0,923	0,0185
20	-0,5	0,605	0,395	9,87	-3,43	0,179	0,0036
30	-0,8	0,447	0,553	13,82	-6,18	0,044	$8,8 \cdot 10^{-4}$
40	-1	0,366	0,664	16,6	-10,1	0,0042	$8,4 \cdot 10^{-5}$
3) $\gamma = 0,5; m = 50$							
10	-0,1	0,904	0,096	4,8	-1,86	$8,7 \cdot 10^{-5}$	0,174
20	-0,2	0,818	0,182	9,1	-4,23	0,121	$2,4 \cdot 10^{-3}$
30	-0,4	0,669	0,331	16,5	-3,45	0,172	$3,4 \cdot 10^{-3}$
40	-0,5	0,605	0,395	19,7	-6,91	0,030	$6 \cdot 10^{-4}$
4) $\gamma = 0,5; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,683	0,0137
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,154	$3,1 \cdot 10^{-3}$
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,405	$8,1 \cdot 10^{-3}$
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,755	0,0151

Таблиця 4.10

Верифікація моделі при $\gamma = 0,2; 0,3; 0,4; 0,45$; $m = 100$

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $\gamma = 0,2; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,886	0,018
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,471	$9,4 \cdot 10^{-3}$
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,696	0,014
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,894	0,0179
2) $\gamma = 0,3; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,795	0,016
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,325	$6,5 \cdot 10^{-3}$
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,581	0,0116
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,843	0,0169
3) $\gamma = 0,4; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,747	0,015
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,221	$4,4 \cdot 10^{-3}$
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,485	$9,7 \cdot 10^{-3}$
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,802	0,016
4) $\gamma = 0,45; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,711	0,014
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,185	$3,7 \cdot 10^{-3}$
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,443	$8,9 \cdot 10^{-3}$
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,778	0,015

Таблиця 4.11

Значення концентрації забруднень за ХСК і зависями, $г/дм^3$

Інградієнт	На початку БР	25 м (10 діб)	50 м (20 діб)	75 м (30 діб)	100 м (40 діб)
ХПК	0,600	0,380	0,350	0,075	0,032
Зависі	0,053	0,035	0,029	0,025	0,020

Результати верифікації наведені в таблицях 4.12-4.18 (за ХПК і зависях із табл.4.11 – за найбільшими значеннями концентрації).

Таблиця 4.12

Верифікація моделі при $\gamma = 1$; $m = 10; 25; 50; 100$ за ХСК

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $\gamma = 1; m = 10$							
10	-0,6	0,547	0,453	4,53	-2,13	0,758	0,455
20	-1	0,271	0,729	14,58	-1,09	0,171	0,103
30	-2	0,134	0,866	25,98	-5,98	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$
40	-3	0,073	0,927	37,08	-10,4	$6 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$
2) $\gamma = 1; m = 25$							
10	-0,2	0,818	0,182	4,55	-2,11	0,630	0,378
20	-0,5	0,605	0,395	9,87	-3,43	0,312	0,187
30	-0,8	0,447	0,553	13,82	-6,18	0,125	0,075
40	-1	0,366	0,664	16,6	-10,1	$4,3 \cdot 10^{-2}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$
3) $\gamma = 1; m = 50$							
10	-0,1	0,904	0,096	4,8	-1,86	0,662	0,4
20	-0,2	0,818	0,182	9,1	-4,23	0,400	0,24
30	-0,4	0,669	0,331	16,5	-3,45	0,587	0,352
40	-0,5	0,605	0,395	19,7	-6,91	0,124	0,0744
4) $\gamma = 1; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,421	0,253
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,443	0,68
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,461	0,277
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,159	0,095

Таблиця 4.13

Верифікація моделі при $\gamma = 0,1$; $m = 10; 25; 50; 100$

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $\gamma = 0,1; m = 10$							
10	-0,6	0,547	0,453	4,53	-2,13	0,976	0,589
20	-1	0,271	0,729	14,58	-1,09	0,838	0,503
30	-2	0,134	0,866	25,98	-5,98	0,737	0,422
40	-3	0,073	0,927	37,08	-10,4	0,599	0,359
2) $\gamma = 0,1; m = 25$							
10	-0,2	0,818	0,182	4,55	-2,11	0,955	0,573
20	-0,5	0,605	0,395	9,87	-3,43	0,890	0,534
30	-0,8	0,447	0,553	13,82	-6,18	0,812	0,487
40	-1	0,366	0,664	16,6	-10,1	0,730	0,438
3) $\gamma = 0,1; m = 50$							
10	-0,1	0,904	0,096	4,8	-1,86	0,959	0,575
20	-0,2	0,818	0,182	9,1	-4,23	0,913	0,548
30	-0,4	0,669	0,331	16,5	-3,45	0,948	0,569
40	-0,5	0,605	0,395	19,7	-6,91	0,811	0,487
4) $\gamma = 0,1; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,870	0,522

Таблиця 4.14

Верифікація моделі при $\gamma = 0,5$; $m = 10; 25; 50; 100$

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $\gamma = 0,5; m = 10$							
10	-0,6	0,547	0,453	4,53	-2,13	0,886	0,532
20	-1	0,271	0,729	14,58	-1,09	0,413	0,248
30	-2	0,134	0,866	25,98	-5,98	0,217	0,130
40	-3	0,073	0,927	37,08	-10,4	$7,7 \cdot 10^{-2}$	$4,6 \cdot 10^{-2}$
2) $\gamma = 0,5; m = 25$							
10	-0,2	0,818	0,182	4,55	-2,11	0,793	0,476
20	-0,5	0,605	0,395	9,87	-3,43	0,558	0,335
30	-0,8	0,447	0,553	13,82	-6,18	0,353	0,212
40	-1	0,366	0,664	16,6	-10,1	0,207	0,124
3) $\gamma = 0,5; m = 50$							
10	-0,1	0,904	0,096	4,8	-1,86	0,814	0,488
20	-0,2	0,818	0,182	9,1	-4,23	0,633	0,379
30	-0,4	0,669	0,331	16,5	-3,45	0,766	0,459
40	-0,5	0,605	0,395	19,7	-6,91	0,352	0,211
4) $\gamma = 0,5; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,649	0,389
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,666	0,399
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,679	0,407
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,398	0,239

Таблиця 4.15

Верифікація моделі при $\gamma = 0,2; 0,3; 0,4; 0,45$; $m = 100$

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $\gamma = 0,2; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,841	0,505
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,849	0,509
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,857	0,514
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	1,44	0,864
2) $\gamma = 0,3; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,772	0,433
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,783	0,469
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,793	0,476
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,576	0,345
3) $\gamma = 0,4; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,708	0,423
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,183	0,109
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,491	0,295
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,479	0,287
4) $\gamma = 0,45; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,678	0,407
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,694	0,416
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,706	0,424
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,437	0,262

Таблиця 4.16

Верифікація моделі при $\gamma = 1$; $m = 10; 25; 50; 100$ за зависями

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $\gamma = 0,1; m = 10$							
10	-0,6	0,547	0,453	4,53	-2,13	0,778	0,041
20	-1	0,271	0,729	14,58	-1,09	0,306	0,0162
30	-2	0,134	0,866	25,98	-5,98	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$0,25 \cdot 10^{-2}$
40	-3	0,073	0,927	37,08	-10,4	$6 \cdot 10^{-2}$	$0,32 \cdot 10^{-2}$
2) $\gamma = 0,1; m = 25$							
10	-0,3	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,630	0,0334
20	-0,5	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,312	0,0165
30	-0,8	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,125	$6,6 \cdot 10^{-3}$
40	-1	0,739	0,261	26,1	-0,56	$4,3 \cdot 10^{-2}$	$0,23 \cdot 10^{-2}$
3) $\gamma = 0,1; m = 50$							
10	-0,1	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,961	0,051
20	-0,2	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,401	0,021
30	-0,4	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,649	0,034
40	-0,5	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,196	0,01
4) $\gamma = 0,1; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,869	0,046
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,826	0,044
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,417	0,022
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,130	0,0069

Таблиця 4.17

Верифікація моделі при $\gamma = 0,1$; $m = 10; 25; 50; 100$

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $\gamma = 0,1; m = 10$							
10	-0,6	0,547	0,453	4,53	-2,13	0,975	0,0517
20	-1	0,271	0,729	14,58	-1,09	0,888	0,0471
30	-2	0,134	0,866	25,98	-5,98	0,736	0,039
40	-3	0,073	0,927	37,08	-10,4	0,599	0,0317
2) $\gamma = 0,1; m = 25$							
10	-0,2	0,818	0,182	4,55	-2,11	0,955	0,0334
20	-0,5	0,605	0,395	9,87	-3,43	0,890	0,0472
30	-0,8	0,447	0,553	13,82	-6,18	0,812	0,043
40	-1	0,366	0,664	16,6	-10,1	0,730	0,0387
3) $\gamma = 0,1; m = 50$							
10	-0,1	0,904	0,096	4,8	-1,86	0,996	0,0528
20	-0,2	0,818	0,182	9,1	-4,23	0,913	0,0484
30	-0,4	0,669	0,331	16,5	-3,45	0,958	0,0508
40	-0,5	0,605	0,395	19,7	-6,91	0,849	0,0449
4) $\gamma = 0,1; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,986	0,0522
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,981	0,0519
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,916	0,0485
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,815	0,0432

Таблиця 4.18

Верифікація моделі при $\gamma = 0,5$; $m = 10; 25; 50; 100$

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $\gamma = 0,5; m = 10$							
10	-0,6	0,547	0,453	4,53	-2,13	0,882	0,0467
20	-1	0,271	0,729	14,58	-1,09	0,553	0,0293
30	-2	0,134	0,866	25,98	-5,98	0,217	0,011
40	-3	0,073	0,927	37,08	-10,4	0,078	0,0041
2) $\gamma = 0,5; m = 25$							
10	-0,2	0,818	0,182	4,55	-2,11	0,794	0,0421
20	-0,5	0,605	0,395	9,87	-3,43	0,558	0,0296
30	-0,8	0,447	0,553	13,82	-6,18	0,355	0,0188
40	-1	0,366	0,664	16,6	-10,1	0,209	0,011
3) $\gamma = 0,5; m = 50$							
10	-0,1	0,904	0,096	4,8	-1,86	0,980	0,0519
20	-0,2	0,818	0,182	9,1	-4,23	0,633	0,0335
30	-0,4	0,669	0,331	16,5	-3,45	0,809	0,0429
40	-0,5	0,605	0,395	19,7	-6,91	0,433	0,0229
4) $\gamma = 0,5; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,932	0,0494
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,909	0,0482
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,649	0,0344
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,362	0,0192

Верифікація моделі при $\gamma = 0,2; 0,3; 0,4; 0,45$; $m = 100$

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $\gamma = 0,2; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,972	0,0515
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,962	0,0509
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,839	0,0445
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,222	0,012
2) $\gamma = 0,3; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,958	0,051
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,944	0,05
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,769	0,041
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,542	0,023
3) $\gamma = 0,4; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,945	0,05
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,926	0,05
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,703	0,04
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,443	0,023
4) $\gamma = 0,45; m = 100$							
10	-0,06	0,941	0,059	5,9	-0,76	0,938	0,05
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-3,73	0,923	0,05
30	-0,2	0,818	0,182	18,2	-1,8	0,676	0,036
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,401	0,02

4.3.3. Алгоритм проведення імітаційного експерименту

За допомогою верифікованої математичної моделі (4.3.14), яку тепер запишемо в такому вигляді:

$$c(x) = 0,508 \exp \left\{ 0,4 \left[100 \left(1 - \exp \frac{-x}{100\nu} \right) - \frac{x}{\nu} \right] \right\}, \quad (4.3.15)$$

можна проводити різні імітаційні (чисельні) експерименти. Зокрема, можна провести такий імітаційний експеримент:

- Обчислити концентрацію забруднень у стічних водах на виході біореактора (100м) при різних швидкостях течії в біореакторі, а саме:
 $\nu = 11,5$ / днів, $\nu = 4$ / днів, $\nu = 1,25$ / днів; $\nu = 13,5$ / днів, $\nu = 6$ / днів,
 $\nu = 2,25$ / днів
- Дати аналіз роботи біореактора по очищенню стічних вод при різних

швидкостях очищення стічних вод, тобто при різних швидкостях течії в біореакторі.

Таблиця 4.20

Результати чисельного (імітаційного) експерименту за ХСК

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $\nu = 11,5 \text{ м/добу}$							
2	-0,02	0,980	0,02	2	-1,8	0,438	0,210
4	-0,03	0,970	0,03	3	-2,6	0,301	0,144
6	-0,05	0,951	0,049	4,9	-4,3	0,138	0,0563
8	-0,07	0,932	0,068	6,8	-6,1	0,063	0,0302
2) $\nu = 4 \text{ м/добу}$							
5	-0,01	0,990	0,01	1	-0,25	0,893	0,428
10	-0,02	0,980	0,02	2	-0,5	0,798	0,383
15	-0,07	0,961	0,039	3,9	-0,15	0,934	0,448
20	-0,05	0,951	0,049	4,9	-0,1	0,956	0,459
3) $\nu = 1,25 \text{ м/добу}$							
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-6,4	0,055	0,03
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-5,9	0,073	0,035
60	-0,4	0,669	0,331	33,1	-14,9	0,0012	0,0006
80	-0,5	0,547	0,453	45,3	-18,7	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$

Таблиця 4.21

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $\nu = 13,5 \text{ м/добу}$							
2	-0,01	0,990	0,01	1	-0,85	0,680	0,408
4	-0,03	0,970	0,03	3	-2,71	0,295	0,177
6	-0,04	0,960	0,04	4	-3,55	0,2	0,12
8	-0,06	0,941	0,059	5,9	-5,31	0,091	0,0546
2) $\nu = 6 \text{ м/добу}$							
5	-0,01	0,990	0,01	1	-0,17	0,926	0,556
10	-0,02	0,980	0,02	2	-0,33	0,861	0,517
15	-0,03	0,970	0,03	3	-0,5	0,798	0,479
20	-0,04	0,961	0,039	3,9	-0,57	0,773	0,464
3) $\nu = 2,25 \text{ м/добу}$							
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-0,72	0,722	0,433
40	-0,2	0,818	0,182	18,2	-0,43	0,823	0,494
60	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,776	0,465
80	-0,4	0,669	0,018	1,8	-17,5	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$

У таблицях 4.20 та 4.21 наведено результати обчислення концентрації очищених вод на виході біореактора при різних швидкостях їх очищення. Як видно з результатів такого чисельного (імітаційного) експерименту, із зменшенням швидкості очищення стічних вод концентрація забруднень (органічної речовини за ХСК) на виході біореактора зменшується (за таблицею

4.20). А із збільшенням швидкості очищення стічних вод концентрація забруднень на виході біореактора збільшується (за таблицею 4.21). Звідси можна зробити висновок, що при швидкості руху стічних вод в біореакторі $v = 13,5$ і /äáó процес очищення найкраще задовільняє практичним вимогам, за умови, що концентрація забруднень не повинна перевищувати $0,3$ г/дм³ за ХСК.

Таблиця 4.22

Результати чисельного (імітаційного) експерименту за зависями

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $v = 11,5$ м /добу							
2	-0,02	0,980	0,02	2	-1,8	0,438	$8,8 \cdot 10^{-3}$
4	-0,03	0,970	0,03	3	-2,6	0,301	$6 \cdot 10^{-3}$
6	-0,05	0,951	0,049	4,9	-4,3	0,138	$2,8 \cdot 10^{-3}$
8	-0,07	0,932	0,068	6,8	-6,1	0,063	$1,3 \cdot 10^{-3}$
2) $v = 4$ м /добу							
5	-0,01	0,990	0,01	1	-0,25	0,893	$1,8 \cdot 10^{-2}$
10	-0,02	0,980	0,02	2	-0,5	0,798	$1,6 \cdot 10^{-2}$
15	-0,07	0,961	0,039	3,9	-0,15	0,934	0,02
20	-0,05	0,951	0,049	4,9	-0,1	0,956	0,02
3) $v = 1,25$ і /äáó							
20	-0,2	0,818	0,182	18,2	-0,8	0,67	0,014
40	-0,3	0,739	0,261	26,1	-8,7	0,019	0,0004
60	-0,5	0,605	0,395	39,5	-12,7	0,0033	$6,6 \cdot 10^{-5}$
80	-0,7	0,495	0,505	50,5	-19,1	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-5}$

Таблиця 4.23

1	2	3	4	5	6	7	8
1) $v = 13,5$ м /добу							
2	-0,01	0,990	0,01	1	-0,85	0,680	$3,6 \cdot 10^{-2}$
4	-0,03	0,970	0,03	3	-2,71	0,295	0,015
6	-0,04	0,960	0,04	4	-3,55	0,2	0,01
8	-0,06	0,941	0,059	5,9	-5,31	0,091	$4,8 \cdot 10^{-3}$
2) $v = 6$ м /добу							
5	-0,01	0,990	0,01	1	-0,17	0,926	0,05
10	-0,02	0,980	0,02	2	-0,33	0,0861	0,04
15	-0,03	0,970	0,03	3	-0,5	0,798	0,04
20	-0,04	0,961	0,039	3,9	-0,57	0,773	0,041
3) $v = 2,25$ м /добу							
20	-0,1	0,904	0,096	9,6	-0,72	0,722	0,038
40	-0,2	0,818	0,182	18,2	-0,43	0,823	0,043
60	-0,3	0,739	0,261	26,1	-0,56	0,776	0,041
80	-0,4	0,669	0,018	1,8	-17,5	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$0,2 \cdot 10^{-4}$

У таблицях 4.22 та 4.23 наведено результати обчислення концентрації очищених вод на виході біореактора при різних швидкостях їх очищення. Як видно з результатів такого чисельного (імітаційного) експерименту, із зменшенням швидкості очищення стічних вод концентрація забруднень (органічної речовини по зависях) на виході біореактора зменшується (за таблицею 4.22). А із збільшенням швидкості очищення стічних вод концентрація забруднень на виході біореактора збільшується (за таблицею 4.23). Звідси можна зробити висновок, що при швидкості руху стічних вод в біореакторі $v = 11,5 \text{ м/год}$ процес очищення найкраще задовільняє практичним вимогам, за умови, що концентрація забруднень не повинна перевищувати $0,2 \text{ г/дм}^3$ за зависями.

РОЗДІЛ 5.

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Скидання не очищених чи не доочищених стічних вод промислових підприємств та інших джерел забруднення у природне середовище призводить до виникнення або загострення ряду екологічних проблем. У стічних водах молочних або м'ясомолочних підприємств містяться органічні забруднювачі, яйця гельмінтів і патогенна мікрофлора (патогенні бактерії). При потраплянні до джерел питної води забруднення органічного походження можуть стати причиною спалахів інфекційних захворювань людей. До того ж, не очищені чи не доочищені стічні води промислових підприємств впливають на органолептичні властивості води, порушують кислотно-лужний баланс її середовища. Нафтопродукти, рослинні й тваринні жири при надходженні в річки та інші гідросистеми утворюють на поверхні цих водойм плівку, яка перешкоджає процесам аерації водойм і збагаченні води киснем – важливим компонентом для гідробіонтів. Все це погіршує якість води, і робить її непридатною як для питних потреб, так і для використання в побутових та рекреаційних цілях. Разом із неочищеними стічними водами промислових підприємств текстильної, хімічної та металообробної галузі до водойм надходять й шкідливі для живих організмів отруйні речовини, які роблять воду непридатною для питних потреб, вирощування риби, худоби та сільськогосподарських культур. Ураховуючи проходження цих речовин по ланцюгам живлення й врешті наявність їх у продуктах харчування, очевидним є їх безпосередній негативний вплив на здоров'я людей. Саме тому застосування всіх необхідних механізмів очищення стічних вод від всіх наявних джерел забруднення їх є актуальною екологічною проблемою, як у науковому відношенні, так і з практичної точки зору.

Загальновідомо, що очищення стічних вод – це руйнування або видалення з них відповідних забруднюючих речовин, знезараження та видалення патогенних мікроорганізмів. Для очищення стічних вод застосовують, головним чином, цілий комплекс методів: механічних (проціджування, подрібнення, відстоювання, фільтрування), фізико-хімічних, біологічних. Кожен із цих методів передбачає застосування у відповідних регламентованих умовах ряду інших методів. Вибір того чи іншого з них залежить від агрегатного стану, складу і концентрації забруднюючих речовин.

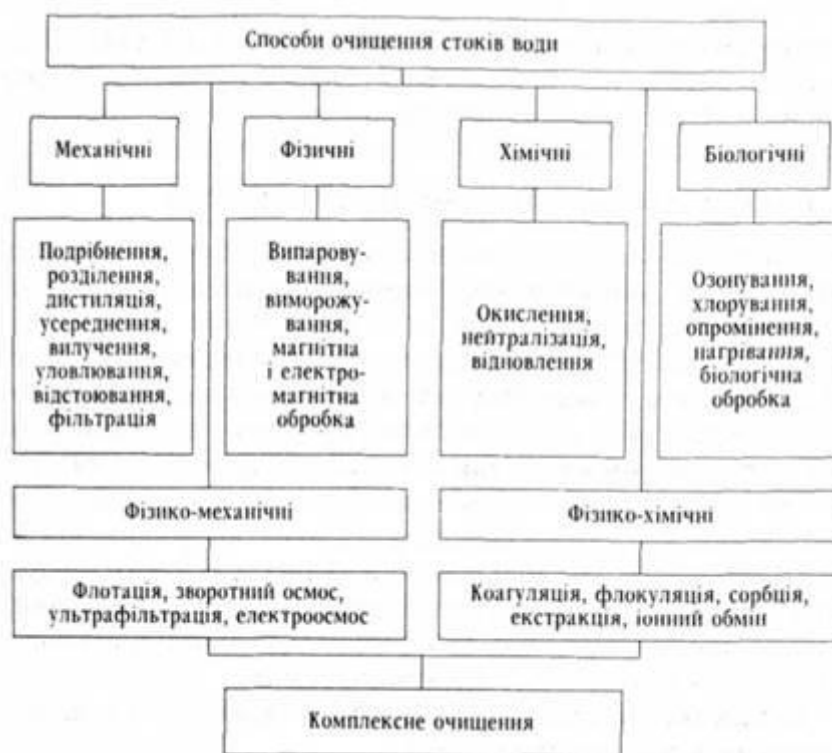


Рис. 10. Класифікація способів очищення стічних вод

При заборі води для господарсько-побутових потреб очищення здійснюють на водоочисних станціях. Вибір способів і методів очищення залежить від якості води та її призначення. Перед подачею води у водогін її прояснюють, вилучаючи з неї завислі колоїдні часточки, знезаражують і знебарвлюють, а при потребі пом'якшують, дегазують, дезодорують і

дезактивують. Прояснення води здійснюють шляхом відстоювання, фільтрування та коагуляції.

Із метою якісного очищення стічних вод доцільно застосовувати як регенеративні (вилучення зі стічних вод цінних елементів і речовин) та деструктивні (руйнування забруднюючих речовин та їх знешкодження) фізико-хімічні та біологічні методи. Перші з них передбачають сорбцію, екстракцію, евапорацію, флотацію, іонний обмін, електроліз, кристалізацію та ін. Деструктивне очищення стічних вод полягає, насамперед, в окислення органічних речовин, що містяться у стічних водах. Окислення й мінералізація органічних забруднюючих речовин відбувається внаслідок аеробних біологічних процесів, що лежить в основі біохімічного очищення стічних вод. Біологічні методи очищення стічних вод відбуваються як у природних (поля зрошення, поля фільтрації, біологічні ставки та ін.), так і у штучних умовах (біологічних фільтрах, біоплато та ін.). Особливістю цих методів є здатність мікроорганізмів використовувати речовини, що знаходяться в стічних вод, для забезпечення свого живлення чи життєдіяльності в цілому.

На сьогодні у світовій та вітчизняній практиці набутий значний досвід застосування різних методів очищення стічних вод, але доведено, що найкращий результат спостерігається саме при комплексному їх застосуванні [5]. Вибір цих методів чи їх груп залежить від багатьох факторів, визначальними з яких виступають такі: склад забруднень у воді, подальше їх використання та використання самої очищеної води.

ВИСНОВКИ

За результатами виконання кваліфікаційної роботи нами зроблено такі висновки:

1. Згідно з Водним кодексом України, стічна вода – вода, що утворилася в процесі господарсько-побутової і виробничої діяльності (крім шахтної, кар'єрної і дренажної води), а також відведена з забудованої території, на якій вона утворилася внаслідок випадання атмосферних опадів. Стічні води в залежності від походження та складу забруднювальних речовин поділяються на чотири основні категорії: господарсько-побутові, промислові (виробничі), сільськогосподарські та дощові стічні води, що стікають із території виробничих об'єктів та населених пунктів у результаті випадання атмосферних опадів чи поливання вулиць. Оскільки стічні води забруднені різними домішками – мінеральними, органічними, а також містять патогенні (хвороботворні) мікроорганізми, природоохоронним законодавством передбачено обов'язкове їх очищення в різні відповідні способи перед скиданням у природні водотоки чи забором для технологічних процесів.
2. Стічні води вважаються очищеними, якщо вони мають такі основні показники: біохімічне споживання кисню не перевищує 50 мг/л; відсутні плаваючі органічні забруднювальні речовини; уміст завислих частинок не перевищує 60 мг/л; уміст нафти (конденсату) при екстрагуванні ефіром не перевищує 5 мг/л; кольоровість (колірність) – понад 20 одиниць (за платинокобальтовою шкалою); водневий показник складає $pH = 6-9$.
3. Для очищення стічних вод застосовують, головним чином, цілий комплекс методів: механічних (проціджування, подрібнення, відстоювання, фільтрування), фізико-хімічних, біологічних. Кожен із цих методів передбачає застосування у відповідних регламентованих

умовах ряду інших методів. Вибір того чи іншого з них залежить від агрегатного стану, складу і концентрації забруднюючих речовин.

4. При заборі води для господарсько-побутових потреб очищення здійснюють на водоочисних станціях. Вибір способів і методів очищення залежить від якості води та її призначення. Перед подачею води у водогін її прояснюють, вилучаючи з неї завислі колоїдні часточки, знезаражують і знебарвлюють, а при потребі пом'якшують, дегазують, дезодорують і дезактивують. Прояснення води здійснюють шляхом відстоювання, фільтрування та коагуляції.
5. Із метою якісного очищення стічних вод доцільно застосовувати як регенеративні (вилучення зі стічних вод цінних елементів і речовин), так і деструктивні фізико-хімічні та біологічні методи. Біологічні методи очищення стічних вод відбуваються як у природних (поля зрошення, поля фільтрації, біологічні ставки та ін.), так і у штучних умовах (біологічних фільтрах, біоплато та ін.). Особливістю цих методів є здатність мікроорганізмів використовувати речовини, що знаходяться в стічних вод, для забезпечення свого живлення чи життєдіяльності в цілому.
6. На основні аналізу набутого у світовій та вітчизняній практиці досвіду застосування різних методів очищення стічних вод, доведено, що найкращий результат спостерігається саме при комплексному їх застосуванні. Вибір цих методів чи їх груп залежить від ряду факторів, визначальними з яких виступають такі: склад забруднень у воді, подальше їх використання та використання самої очищеної води.
7. У роботі охарактеризований та апробований метод математичного моделювання процесу біологічного очищення стічних вод, що є ефективним для відображення найістотніших рис реальних об'єктів, процесів, явищ і систем, що застосовуються в екології з наведенням алгоритму проведення імітаційного експерименту та верифікації математичної моделі.

9. Гидравлика, водоснабжение и канализация : Учебник для вузов / Калицун В. И., Кедров В. С., Ласков Ю. М., Сафонов П. Ф. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1980. 359 с.
10. Долина Л.Ф. Проблемы сокращения и утилизации сточных вод // Проблемы природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів : М-ли четвертої Міжн. наук.-практ. конф., Дніпропетровськ, Україна, 02-05 жовтня 2007 р. Дніпропетровськ, 2007. С. 179–180.
11. Запольський А. К., Мішкова-Клименко Н. А., Астрелін І. М., Брик М. Т., Гвоздяк П. І., Книзькова Т. В. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод : Підручник. К.: Лібра, 2000. 552 с.
12. Єдине Міжвідомче керівництво по організації та здійсненню державного моніторингу вод (затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 30 березня 1998 р. №391 та пункту 20 Порядку здійснення державного моніторингу вод, що затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 20 липня 1996 р. №815).
13. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. Рівне : Рівненська друкарня, 2002. 622.
14. Когановський А. М. Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод. Киев : Наук. думка. 1983. 240 с.
15. Лановенко О. Г., Остапішина О. О. Очисні споруди // Словник-довідник з екології : навч.-метод. посіб. Херсон : ПП Вишемирський В. С., 2013.
16. Мальований М. С., Петрушка І. М. Очищення стічних вод природними дисперсними сорбентами : монографія; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». Л. : Вид-во Львів. політехніки, 2012. 180 с.
17. Милованов Л. В., Краснов Б. П. Методы химической очистки сточных вод. М. : Недра, 1967. 148 с.
18. Моцієвська О. О. Водовідвідні очисні споруди : навч. посіб. [для студентів ВНЗ, які навчаються за спец. 7.06010303, 8.06010303 «Водогосп. та природоохорон. буд-во»]; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2015. 220 с.

19. Моцієвська О. О. Водопостачання і водовідведення : навч. посіб. ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2015. 144 с.
20. Постанова про затвердження Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами (затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 25 березня 1999 р. №46.
21. Санітарні правила і норми охорони поверхневих вод від забруднення СанПін 4630-88.
22. Смирнов А. Д. Сорбционная очистка воды. Л. : Химия. 1982. 240 с
23. Филипчук В. Л. Сучасний стан формування складу та фізико-хімічної очистки маломістких багатокомпонентних стічних вод // Проблемы создания новых машин и технологий : Науч. тр. Кременчуг ГПУ. Кременчуг, 2000. Вып.1 (8). С.591–596.
24. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / Запольський А. К., Мішкова-Клименко Н. А., Астрелін І. М. та ін. К. : Лібра, 2000. 552 с.
25. Хільчевський В. К. Водопостачання і водовідведення: гідроекологічні аспекти : Підручник. [Електронний ресурс]. К.: ВПЦ «Київський університет», 1999. 319 с.
26. Шмиг Р. А., Боярчук В. М., Добрянський І. М., Барабаш В. М. Очисні споруди // Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури ; за заг. ред. Р. А. Шмига. Львів, 2010. С. 142.

*Міністерство освіти і науки України
Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"
Навчально-науковий інститут нафти і газу
Кафедра прикладної екології та природокористування*



*графічна частина
до кваліфікаційної роботи бакалавра*

*на тему: "КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД
У КОНТЕКСТІ ЇХ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ"*

*Виконав: студент групи 401-СЕ
спеціальність: 101 «Екологія»
Бондар Сергій Олександрович
Керівник: к.б.н., доцент
Смоляр Н.О.*

Полтава – 2022

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД У КОНТЕКСТІ ЇХ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ

Актуальність роботи. Скидання не очищених чи не доочищених стічних вод промислових підприємств та інших джерел забруднення у природне середовище призводить до виникнення або загострення ряду екологічних проблем. Разом із неочищеними стічними водами промислових підприємств текстильної, хімічної та металообробної галузі до водоїм надходять і шкідливі для живих організмів отруйні речовини, які роблять воду непридатною для питних потреб, вирощування риби, худоби та сільськогосподарських культур. Ураховуючи проходження цих речовин по ланцюгам живлення і врешті наявність їх у продуктах харчування, очевидним є їх негативний вплив на здоров'я людей. Саме тому застосування всіх необхідних механізмів очищення стічних вод від всіх наявних джерел забруднення їх є актуальною екологічною проблемою, як з наукової, так і з практичної точки зору.

Мета наукового дослідження – обґрунтувати доцільність застосування комплексного підходу до методів очищення стічних вод в контексті їх раціонального використання.

Об'єкт дослідження – стічні води як продукт технологічних процесів на виробництвах.

Предмет дослідження – обґрунтування доцільності комплексного підходу до очищення стічних вод для підвищення ефективності зменшення забруднення навколишнього середовища від них.

Основні завдання: – охарактеризувати стічні води як продукт технологічних процесів і забруднювач навколишнього середовища;

- з'ясувати нормативно-правовий супровід вирішення проблем стічних вод в Україні;
- охарактеризувати основні методи очищення стічних вод із визначенням їх переваг і недоліків;
- висвітлити переваги і екологічну доцільність застосування біологічних методів очищення стічних вод;
- запропонувати математичне моделювання процесу біологічного очищення стічних вод;
- обґрунтувати доцільність комплексного підходу до застосування методів очищення стічних вод.

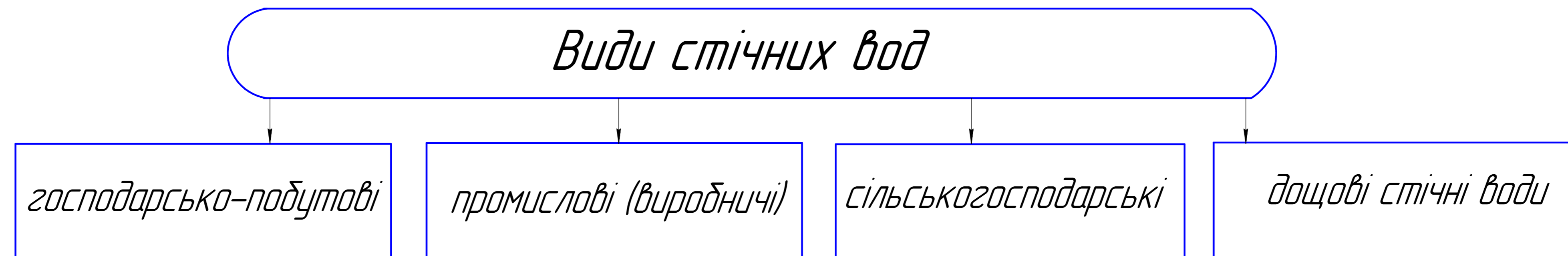
						401-СЕ 2024/1 КР		
						Комплексний підхід до очищення стічних вод у контексті їх раціонального використання		
Имя	Колуч	Лист	№рек	Подп.	Дата	Стандия	Лист	Листов
Разрабид	Бандар С.О.					КР	2	10
Керівник	Смолар Н.О.					Постановка задачі		
						Актуальність роботи, мета наукового дослідження, об'єкт та предмет дослідження, основні завдання		
						НУПІ Кафедра прикладної екології та природокористування Формат А1		
						Завкафедри Стефанів О.В.		

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД У КОНТЕКСТІ ЇХ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ

Стічна вода – вода, що утворилася в процесі господарсько-побутової і виробничої діяльності (крім шахтної, кар'єрної і дренажної води), а також відведена з забудованої території, на якій вона утворилася внаслідок випадання атмосферних опадів.

Водний кодекс України

Термін «стічні води» не можна підмінити неунормованим не науковим виразом «стоки», який часто зустрічається в аматорських текстах.



Як правило, стічні води з територій виробничих об'єктів та населених пунктів видаляються системами каналізації. Стічні води забруднені різними домішками: мінеральними, органічними, а також містять патогенні (хвороботворні) мікроорганізми.

Стор. № 1
Лист. № 1
Важ. шиф. №

						401-СЕ 2024/1 КР		
						Комплексний підхід до очищення стічних вод у контексті їх раціонального використання		
Изм.	Колуч.	Лист	№рек.	Подп.	Дата	Стадія	Лист	Листов
Розробив	Бондар С.О.					КР	3	10
Керівник	Смоляр Н.О.					Визначення		
						Визначення, види стічних вод		
Зайкав	Степова О.В.							
						НУП Кафедра прикладної екології та природоохорони		
						Формат А1		

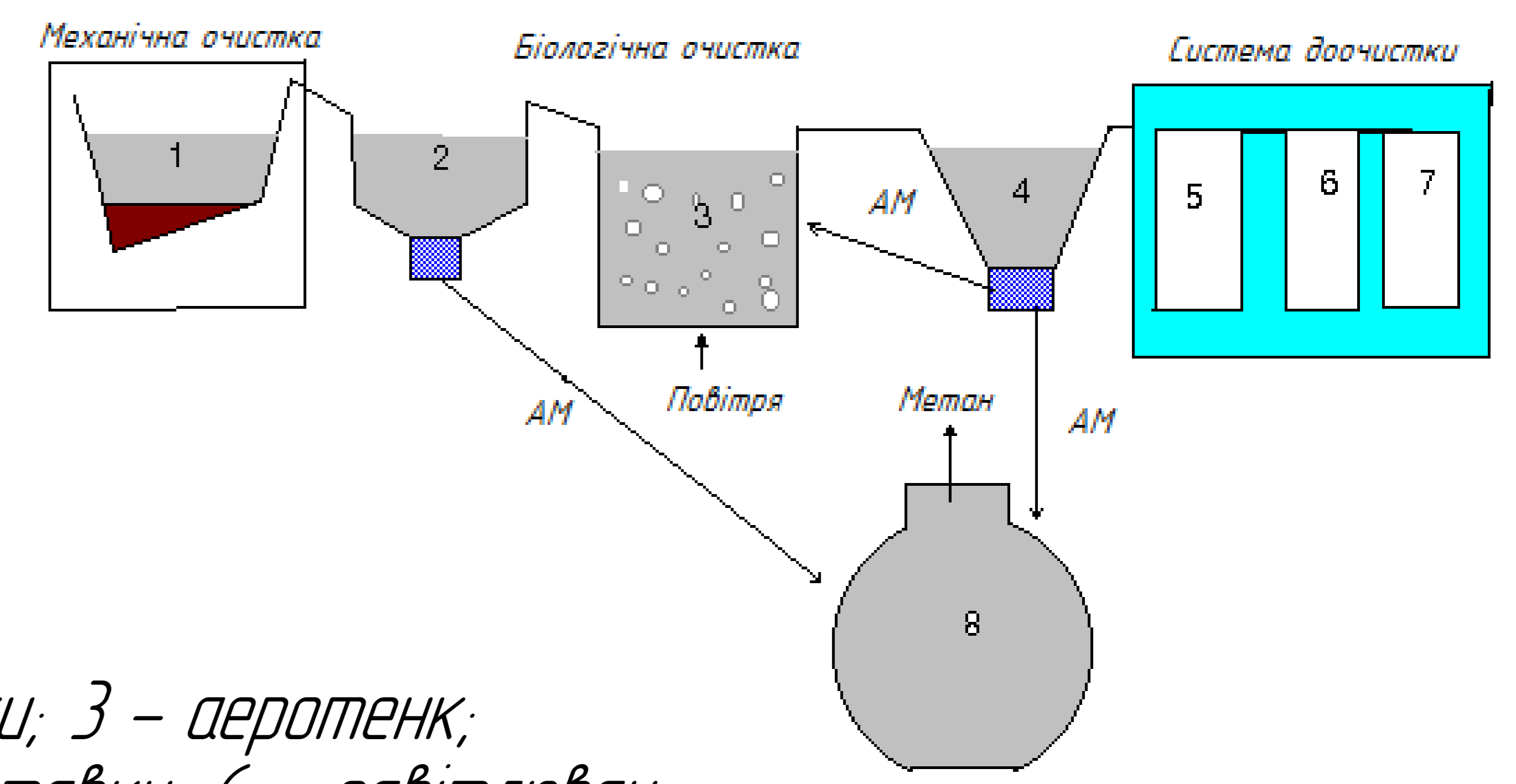
КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД У КОНТЕКСТІ ЇХ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ

Стічні води вважаються очищеними, якщо вони мають такі показники:

- біохімічне споживання кисню не перевищує 50 мг/л;
- відсутні плаваючі органічні забруднювальні речовини;
- уміст завислих частинок не перевищує 60 мг/л;
- уміст нафти (конденсату) при екстрагуванні ефіром не перевищує 5 мг/л;
- кольоровість (колірність) – понад 20 одиниць (за платинокобальтовою шкалою);
- водневий показник складає рН = 6–9.

Принципова схема очисних споруд

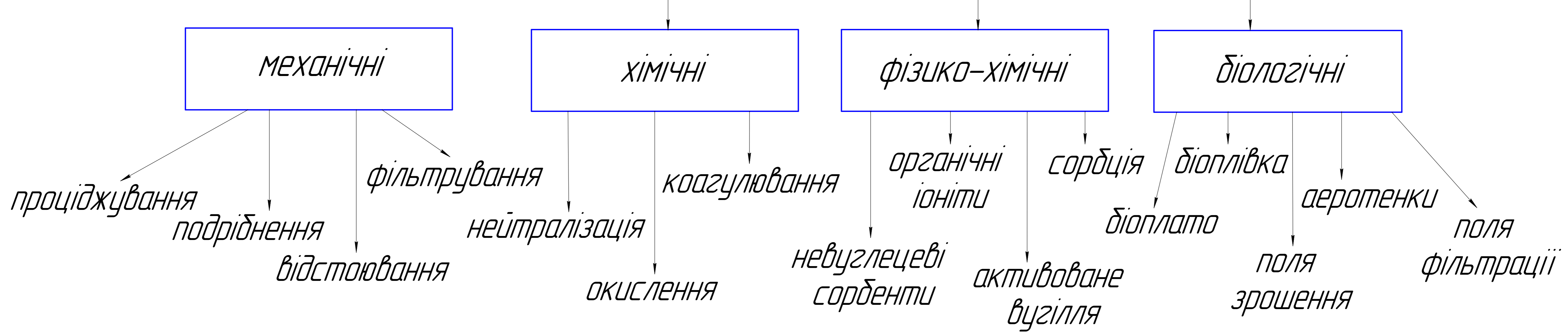
Склад стічних вод характеризується вмістом органічних і мінеральних забруднень у нерозчиненому, колоїдному і розчиненому станах. У стічних водах міститься близько 60% органічних і 40% мінеральних забруднень.



- 1 – пісколовки; 2 – первинні відстійники; 3 – аеротенк;
4 – вторинні відстійники; 5 – біологічні ставки; 6 – освітлювач;
7 – реагентна обробка; 8 – метатенк; АМ – активний мул.

					401-СЕ 2024/1 КР			
					Комплексний підхід до очищення стічних вод у контексті їх раціонального використання			
Имя	Колуч	Лист	М'як	Подп	Дата	Стадія	Лист	Листов
Розробив	Бондар С.О.					КР	4	10
Керівник	Смоляр Н.О.							
					Показники стічних вод			
					характеристика стічних вод, принципила схема очисних споруд			
Зайкавреду	Степова О.В.					НУП		Кафедра прикладної екології та природокористування
					Формат А1			

Методи очищення стічних вод



Механічне очищення застосовують для видалення з води в основному завислих речовин, використовуючи решітки, пісковловлювачі, відстійники, жироловлювачі, нафтовловлювачі, гідроциклони, фільтри та інші споруди.

Комплекс споруд для хімічного очищення представляє собою реагентне господарство, яке складається із складу реагентів, розчинних баків і дозаторів, камери реакції і відстійників.

Фізико-хімічні методи найчастіше застосовують при очищенні виробничих стічних вод. При цьому залежно від місцевих умов той чи інший метод може бути остаточною або попередньою стадією (приміром, при видаленні отруйних сполук або яких-небудь інших речовин, що перешкоджають нормальній роботі наступних очисних споруд).

Серед методів очищення стічних вод велику роль відіграє біологічний метод, оснований на використанні закономірностей біохімічного і фізіологічного самоочищення річок і інших водоймищ.

Лист № 5
Важ. шиф. №
Лист № 5
Лист № 5

						401-СЕ 2024/1 КР			
						Комплексний підхід до очищення стічних вод у контексті їх раціонального використання			
Изм.	Колуч.	Лист	№рек.	Подп.	Дата	Методи очищення стічних вод	Студія	Лист	Листов
							КР	5	10
						Методи очищення стічних вод, характеристика методів			
						НУПІ Кафедра прикладної екології та природокористування			
						Формат А1			

Аеротенки

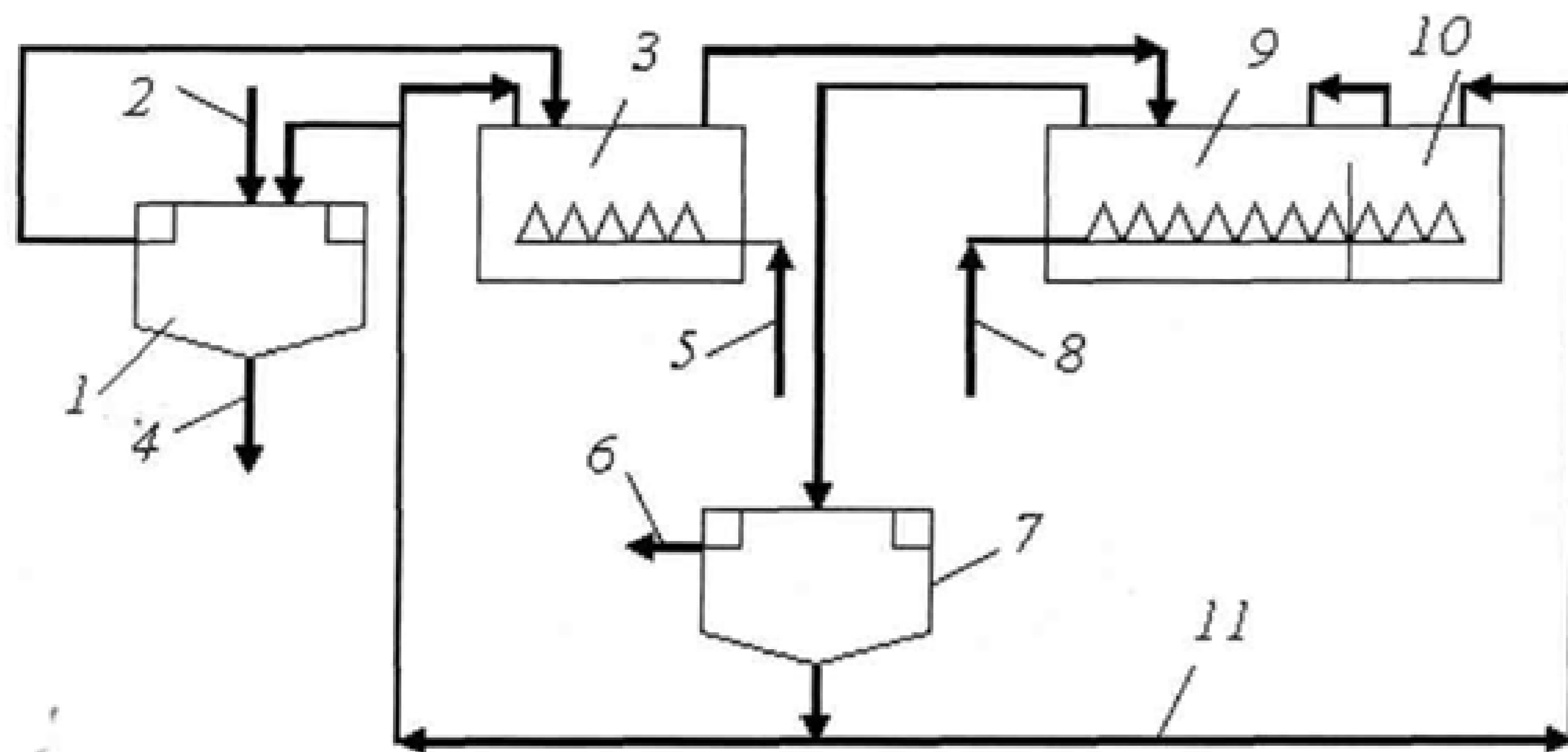


Біологічні методи очищення стічних вод відбуваються як у природних (поля зрошення, поля фільтрації, біологічні ставки та ін.), так і у штучних умовах (біологічних фільтрах, біоплато та ін.). Особливістю цих методів є здатність мікроорганізмів використовувати речовини, що знаходяться в стічних вод, для забезпечення свого живлення чи життєдіяльності в цілому.

Поля фільтрації



Схема установки для біологічного очищення стічних вод



Біоплато

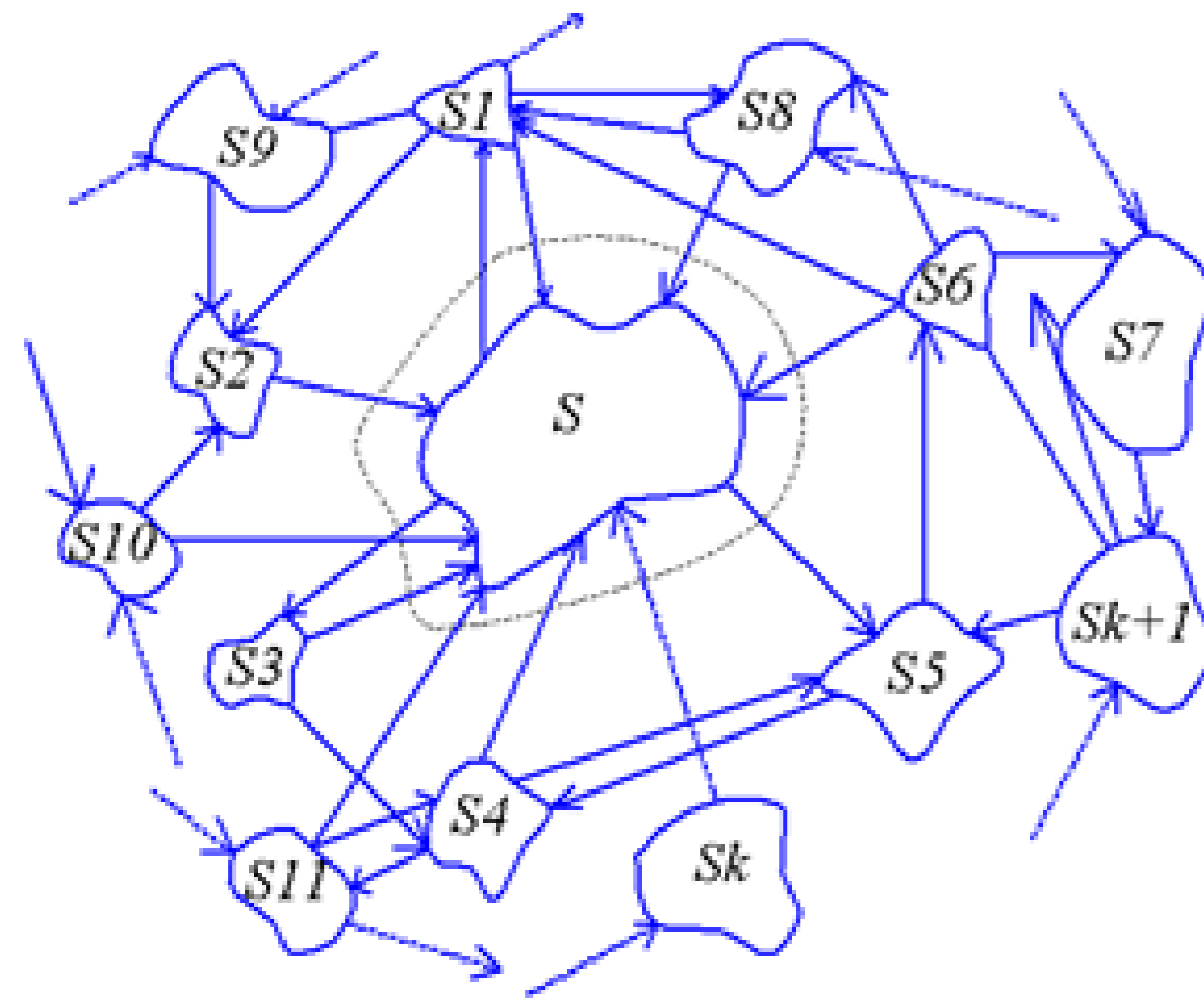


- 1 – первинний відстійник; 2 – вхідні стічні води на очищення; 3 – преаератор;
- 4 – осад; 5, 8 – повітря; 6 – очищені стічні води; 7 – вторинний відстійник;
- 9 – аеротенк; 10 – регенератор; 11 – активний мул

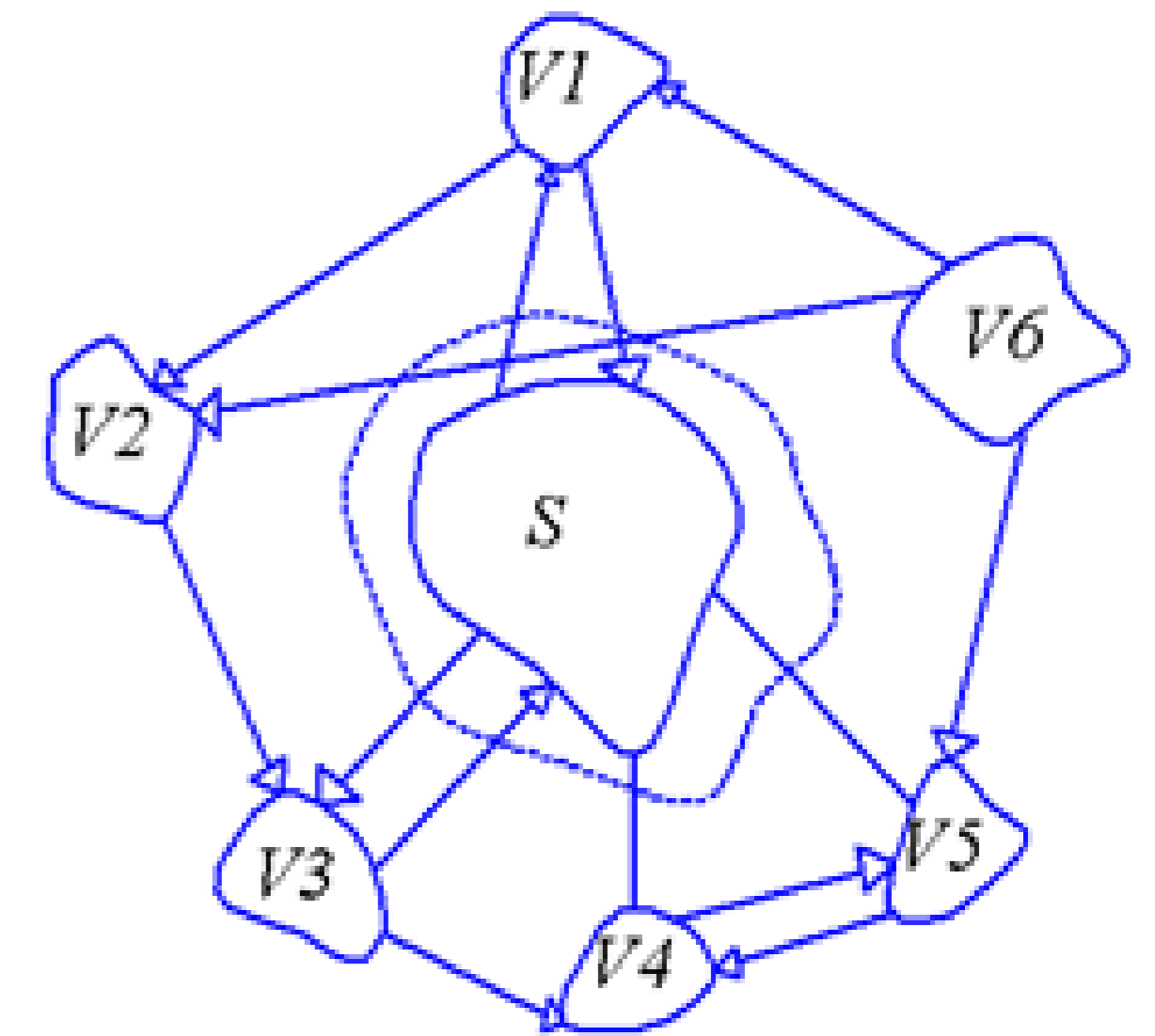
				401-СЕ 20241 КР		
				Комплексний підхід до очищення стічних вод у контексті їх раціонального використання		
Имя	Колуч	Лист	№рек.	Подп.	Дата	
Розробив	Бондар С.О.					
Керівник	Смоляр Н.О.					
				Біологічні методи очищення стічних вод	Студія	Лист
					КР	6 10
				Аеротенки, поля фільтрації, біоплато, схема установки для біологічного очищення стічних вод	НУПІ	
					Кафедра прикладної екології та природокористування	
					Формат А1	

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

У роботі охарактеризований та апробований метод математичного моделювання процесу біологічного очищення стічних вод, що є ефективним для відображення найістотніших рис реальних об'єктів, процесів, явищ і систем, що застосовуються в екології з наведенням алгоритму проведення імітаційного експерименту та верифікації математичної моделі.



Взаємовпливи й взаємозв'язки у системах



Кожна система S впливає сама і зазнає впливу з боку нескінченної множини інших систем $S_1, S_2, \dots, S_n, \dots$. Якщо все ж таки вибрати певну міру інтенсивності взаємодії, то можна встановити певне число зовнішніх систем $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$, що взаємодіють з даною системою S.

Верифікацію моделі проводили за методом послідовних наближень, тобто для різних значень параметрів y і t будемо знаходити значення концентрації $c(t)$ доти, поки це значення не почне збігатися з даними натурних спостережень.

Особливості математичного моделювання біологічних та екологічних систем полягають у тому, що в основі математичного моделювання процесів біологічного походження лежить уявлення про біологічні системи або екосистеми як такі, до яких справедливі основні закони фізики і хімії.

						401-СЕ 2024/1 КР			
						Комплексний підхід до очищення стічних вод у контексті їх раціонального використання			
Ім'я	Ковч	Лист	№ рядок	Подп.	Дата	Математичне моделювання процесів біологічного очищення стічних вод	Студія	Лист	Листов
Розробив	Бондар С.О.					КР	7	10	
Керівник	Смоляр Н.О.					Особливості математичного моделювання взаємовпливи та взаємозв'язки у системах		НУПІП Кафедра прикладної екології та природокористування	
Зайкаврейд	Степова О.В.					Формат		А1	

Апробація результатів досліджень. Деякі результати досліджень лягли в основу доповіді, з якою автор взяв участь у роботі наукового заходу – 74-тій науковій конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», квітень–травень 2022 року, та опубліковані в збірнику тез цієї конференції.



**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА**

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

74-І НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ПРОФЕСОРІВ,
ВИКЛАДАЧІВ, НАУКОВИХ ПРАЦІВНИКІВ,
АСПІРАНТІВ ТА СТУДЕНТІВ УНІВЕРСИТЕТУ

ТОМ 1

УДК 628.3:602.174

Н.О. Смолар, к.б.н., доцент
С.О. Бондар, студент.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД У КОНТЕКСТІ ЇХ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ

Скидання не очищених чи не доочищених стічних вод промислових підприємств та інших джерел забруднення у природне середовище призводить до виникнення або загострення ряду екологічних проблем. У стічних водах молочних або м'ясомолочних підприємств містяться органічні забруднювачі, яєща геліямінтів і патогенна мікрофлора (патогенні бактерії). При потрапленні до джерел питної води забруднення органічного походження можуть стати причиною спалахів інфекційних захворювань людей. До того ж, не очищені чи не доочищені стічні води промислових підприємств впливають на органолептичні властивості води, порушують кислотно-лужний баланс її середовища. Нафтопродукти, рослинні й тваринні жири при надходженні в річки та інші гідросистеми утворюють на поверхні цих водойм плівку, яка перешкоджає процесам аерації водойм і збагаченні води киснем – важливим компонентом для гідробіонтів. Все це погіршує якість води, і робить її непридатною як для питних потреб, так і для використання в побутових та рекреаційних цілях. Разом із неочищеними стічними водами промислових підприємств текстильної, хімічної та металообробної галузі до водойм надходять й шкідливі для живих організмів отруйні речовини, які роблять воду непридатною для питних потреб, вирощування риби, худоби та сільськогосподарських культур. Ураховуючи проходження цих речовин по ландшафтам залягання й врешті наявність їх у продуктах харчування, очевидним є їх безпосередній негативний вплив на адорів я людей. Саме тому застосування всіх необхідних механізмів очищення стічних вод від всіх наявних джерел забруднення їх є актуальною екологічною проблемою, як у науковому відношенні, так і з практичної точки зору.

Загальновідомо, що очищення стічних вод – це руйнування або видалення з них відштовітних забруднюючих речовин, знезараження та видалення патогенних мікроорганізмів. Для очищення стічних вод застосовують, головним чином, цілий комплекс методів: механічних (процідування, подрібнення, відстоювання, фільтрування), фізико-хімічних, біологічних.

Кожен із цих методів передбачає застосування у відштовітних регламентованих умовах ряду інших методів. Вибір того чи іншого з них залежить від агрегатного стану, складу і концентрації забруднюючих речовин [1].

При заборі води для господарсько-побутових потреб очищення здійснюють на водоочисних станціях. Вибір способів і методів очищення залежить від якості води та її призначення. Перед подачею води у водогін її

прояснюють, вилучаючи з неї завислі колоїдні часточки, знезаражують і знебарвлюють, а при потребі пом'якшують, дегазують, дезодорують і дезактивують. Прояснення води здійснюють шляхом відстоювання, фільтрування та коагуляції [2].

Із метою якісного очищення стічних вод доцільно застосовувати як регенеративні (вилучення зі стічних вод цінних елементів і речовин) та деструктивні (руйнування забруднюючих речовин та їх знешкодження) фізико-хімічні та біологічні методи. Перші з них передбачають сорбцію, екстракцію, евапорацію, флотацію, іонний обмін, електроліз, кристалізацію та ін. Деструктивне очищення стічних вод полягає, насамперед, в окисленні органічних речовин, оскільки містяться у стічних водах. Окислення й мінералізація органічних забруднюючих речовин відбувається внаслідок аеробних біологічних процесів, що лежить в основі біохімічного очищення стічних вод. Біологічні методи очищення стічних вод відбуваються як у природних (поля зрошення, поля фільтрації, біологічні стави та ін.), так і у штучних умовах (біологічних фільтрах, біоплато та ін.) [3]. Особливістю цих методів є здатність мікроорганізмів використовувати речовини, що знаходяться в стічних вод, для забезпечення свого живлення чи життєвості в цілому.

На сьогодні у світовій та вітчизняній практиці набутий значний досвід застосування різних методів очищення стічних вод, але доведено, що найкращий результат спостерігається саме при комплексному їх застосуванні. Вибір цих методів чи їх групи залежить від багатьох факторів, визначальними з яких виступають такі: склад забруднень у воді, подальше їх використання та використання самої очищеної води.

Література

1. Філіпчук В.Л. Сучасний стан формування складу та фізико-хімічної очистки маломагістрських багатоконпонентних стічних вод // *Науч. тр. Кременчуц. ПУ «Проблеми создания новых машин и технологий»*. Кременчуг, 2000. Вып.1(8). С.391–396.
2. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А.К.Затольський, Н.А.Михоєва-Клименко, Г.М.Асташкін та ін. К.: Лібра, 2000. 352 с.
3. <http://detsunty.gov.ua/?p=2838>

УДК 504.062

О.Е. Ільям, к.т.н., доцент,
Вересов О., магістрант 5мТЗ, Ткаченко І., магістрант 5мТЗ,
Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

АНАЛІЗ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВИМИ ВІДХОДАМИ НА МІСЦЕВОМУ РІВНІ

Відповідно до положень Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року (схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України

~ 257 ~

~ 258 ~

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості застосування їх для доповнення банку даних щодо методів очищення стічних вод при плануванні та проектуванні екологічних об'єктів та вирішення конкретних екологічних задач прикладного характеру.

						401-СЕ 20241 КР		
						Комплексний підхід до очищення стічних вод у контексті їх раціонального використання		
Ім'я	Кільк.	Лист	№рек.	Подп.	Дата	Станд.	Лист	Листов
Розрадий Керівник	Бондар С.О.		Смолар Н.О.			КР	8	10
						Апробація результатів досліджень		
						Апробація результатів досліджень, практичне значення одержаних результатів		
						НУПІ Кафедра прикладної екології та природокористування		
						Формат А1		

Заказано
Взам. шиф. №
Листів і дата
Міф. № подл.

1. Згідно з Водним кодексом України, стічна вода – вода, що утворилася в процесі господарсько-побутової і виробничої діяльності (крім шахтної, кар'єрної і дренажної води), а також відведена з забудованої території, на якій вона утворилася внаслідок випадання атмосферних опадів. Стічні води в залежності від походження та складу забруднювальних речовин поділяються на чотири основні категорії: господарсько-побутові, промислові (виробничі), сільськогосподарські та дощові стічні води.

2. Стічні води вважаються очищеними, якщо вони мають такі основні показники: біохімічне споживання кисню не перевищує 50 мг/л, відсутні плаваючі органічні забруднювальні речовини, уміст завислих частинок не перевищує 60 мг/л, уміст нафти (конденсату) при екстрагуванні ефіром не перевищує 5 мг/л, кольоровість (колірність) – понад 20 одиниць (за платинокобальтовою шкалою), водневий показник складає рН = 6–9.

3. Для очищення стічних вод застосовують, головним чином, цілий комплекс методів: механічних (проціджування, подрібнення, відстоювання, фільтрування), фізико-хімічних, біологічних.

4. Із метою якісного очищення стічних вод доцільно застосовувати як регенеративні, так і деструктивні фізико-хімічні та біологічні методи. Біологічні методи очищення стічних вод відбуваються як у природних, так і у штучних умовах. Особливістю цих методів є здатність мікроорганізмів використовувати речовини, що знаходяться в стічних водах, для забезпечення свого живлення чи життєдіяльності в цілому.

5. На основні аналізу набутого у світовій та вітчизняній практиці досвіду застосування різних методів очищення стічних вод, доведено, що найкращий результат спостерігається саме при комплексному їх застосуванні. Вибір цих методів чи їх груп залежить від ряду факторів, визначальними з яких виступають такі: склад забруднень у воді, подальше їх використання та використання самої очищеної води.

6. У роботі охарактеризований та апробований метод математичного моделювання процесу біологічного очищення стічних вод, що є ефективним для відображення найістотніших рис реальних об'єктів, процесів, явищ і систем, що застосовуються в екології з наведенням алгоритму проведення імітаційного експерименту та верифікації математичної моделі.

						401-СЕ 2024.1 КР			
						Комплексний підхід до очищення стічних вод у контексті їх раціонального використання			
Ізм.	Корект.	Лист	Рішок	Подп.	Літо				
Розробив	Бондар С.О.								
Керівник	Смоляр Н.О.					Висновки	Сталія	Лист	Листов
							КР	9	10
						Висновки	НЧПІ Кафедра прикладної екології та природокористування		
Зайкаревич	Степова О.В.						Формат А1		

Дякую за увагу!

Семінарія
Вік
Підп. і дата
Важ. шиф. №
№ ш. №

401-СЕ 2024/1 КР					
Комплексний підхід до очищення стічних вод у контексті їх раціонального використання					
Изм.	Колуч.	Лист	№рек.	Подп.	Дата
Розрядив	Бондар С.О.				
Керівник	Смоляр Н.О.				
Дякую за увагу				Студія	Лист
Дякую за увагу				КР	10
Дякую за увагу				НУПІ	
Дякую за увагу				Кафедра прикладної екології та природокористування	
Дякую за увагу				Формат А1	
Зайкареда	Степова О.В.				