

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання лабораторних робіт
із навчальної дисципліни

«ОЧИСНІ СПОРУДИ ВОДОВІДВЕДЕННЯ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм
навчання зі спеціальності*

*G19 – Будівництво та цивільна інженерія,
освітня програма «Цивільна інженерія»)*



Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2026

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Очисні споруди водовідведення» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності G19 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна інженерія») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Т. С. Айрапетян, С. В. Лукашенко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026. – 55 с.

Укладачі: доц. Т. С. Айрапетян,
доц. С. В. Лукашенко

Рецензент

О. Г. Гайдучок, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очистки вод, протокол № 1 від 25.08.2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ТА ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	5
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	9
Лабораторна робота № 1 Визначення оптимальної дози коагулянту	9
Лабораторна робота № 2 Видалення органічних домішок зі стічної води методом фільтрування через активоване вугілля	15
Лабораторна робота № 3 Побудова ізотерми адсорбції органічної речовини з води	22
Лабораторна робота № 4 Гідробіологічний аналіз активного мулу	26
Лабораторна робота № 5 Визначення швидкості надходження кисню в аеротенки	34
Лабораторна робота № 6 Пом'якшення води реагентним та термічним методами	40
Лабораторна робота № 7 Визначення масової концентрації ортофосфатів у стічних водах	45
Лабораторна робота № 8 Визначення масової концентрації амоній- іонів у стічних водах	50
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

ВСТУП

Стічна рідина має складний склад забруднень органічного і мінерального походження, що перебувають у завислому, колоїдному та розчиненому станах. Ці забруднення під впливом фізичних, хімічних і біохімічних процесів постійно зазнають змін під час руху стічних вод по очисним спорудам до місця випуску. У зв'язку із цим під час проектування очисних споруд водовідведення важливо знати, у якому стані перебувають забруднення в стоках. Водночас склад забруднень стічної рідини визначає необхідну ефективність роботи тих або інших технологічних комплексів очисних станцій.

Нормальна експлуатація споруд біологічного очищення, що працюють у штучно створених умовах можлива лише в разі знання складу та фізіології мікроорганізмів, які здійснюють процес очищення, умов, які сприяють швидкій переробці ними речовин, а також факторів, що впливають на швидкість процесу. Ці дані дають можливість регулювати діяльність мікроорганізмів у бажаному напрямку, а також намітити конкретні шляхи, які дозволять інтенсифікувати процес біологічного очищення.

Знання методик визначення складу забруднень стічних вод та активного мулу в біологічних спорудах сприяє більш глибокому вивченню курсу «Очисні споруди водовідведення».

Лабораторні заняття допомагають здобувачам розширити теоретичні знання, глибше вивчити суть технологічних процесів, а також набути навичок для проведення самостійних наукових досліджень.

Перед початком кожної лабораторної роботи здобувачі повинні чітко засвоїти мету, теоретичні основи процесів, які відбуваються в установці та порядок виконання роботи.

1 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ТА ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Загальні заходи безпеки

Під час роботи в лабораторії студенти особливу увагу повинні звертати на техніку безпеки і дотримуватися правил безпечної роботи – вміти користуватися хімічним посудом, реактивами, розчинами і нагрівальними приладами.

Застосовуваний у лабораторії хімічний посуд здебільшого скляний, тонкостінний і тендітний, вимагає дбайливого користування, тому що в разі недбалого поводження з ним можливі різні поранення (порізи рук склом). Під час роботи хімічний посуд потрібно тримати в руках обережно (не стискати сильно пальцями). Під час його миття необхідно стежити за тим, щоб не пробити стінки чи дно. У випадку невеликого порізу потрібно видалити осколки, змити кров навколо рани ватним тампоном, змоченим розчином марганцевокислого калію, змазати йодом і зав'язати бинтом чи заліпити лейкопластиром. У разі глибоких артеріальних ран після видалення скла руку необхідно міцно перев'язати джгутом вище порізу, видалити кров навколо рани, накласти кілька шарів стерильної марлі, потім товстий шар гігроскопічної вати і звернутися до лікаря.

Дуже велике значення має знання студентів про сполуки, з якими їм доводиться працювати в лабораторії. Багато з них можуть бути хімічною отрутою і в разі необережного поводження слугувати причиною хімічних опіків та отруєнь. До таких речовин належать насамперед рідкі кислоти і луги.

Усі реактиви і розчини, які використовуються в лабораторії, повинні знаходитися в закритому посуді з чітким написом, який вказує назву і концентрацію реагенту. У разі потрапляння сильних кислот на шкіру варто негайно змити облите місце водою, а потім 5-відсотковим розчином двовуглекислої соди. У разі опіку лугами також рекомендується обмити уражене місце водою, а потім 2-відсотковим розчином оцтової кислоти. Якщо

кислота пролилася на підлогу, її потрібно засипати піском, потім зібрати його і винести з приміщення, а облите місце промити розчином соди.

Під час роботи з реактивами треба завжди пам'ятати, що наповнення піпеток для виміру малих обсягів кислот, лугів та інших речовин виконують тільки за допомогою гумової груші. Засмоктування ротом категорично **забороняється!** Усю роботу зі шкідливими й отруйними речовинами необхідно проводити у витяжних шафах.

Нагрівальні прилади потрібно встановлювати на теплоізоляційну підставку. У разі необережної роботи можливі теплові опіки від самого приладу і нагрітого хімічного посуду. Не рекомендується брати гарячий посуд руками. Нагріті предмети беруть щипцями, колботримачами, джгутом із рушника. Необхідно уважно стежити за роботою нагрівальних приладів, не можна залишати їх без нагляду. У випадку опіків першого ступеня (почервоніння) на обпалене місце необхідно накласти вату, змочену розчином марганцевокислого калію, концентрація якого мусить бути тим більшою, чим сильніший опік. Можна використовувати і мазі від опіків. У разі опіків другого ступеня обпалене місце обробляють розчином марганцевокислого калію. У разі опіків третього ступеня (руйнування тканин) рану покривають стерильною пов'язкою і викликають лікаря.

У приміщенні лабораторії, де працюють студенти, завжди повинні бути протипожежні засоби: вогнегасники, пісок. Не допускається гасити водою олію, бензин, сірковуглець тощо.

Кожен студент перед початком роботи в лабораторії зобов'язаний ознайомитися з основними положеннями «Інструкції з техніки безпеки для працюючих у хімічних лабораторіях». Пам'ятайте, що хімічна лабораторія – місце підвищеної небезпеки.

Забороняється розпочинати виконання роботи без дозволу викладача або лаборанта.

Під час роботи в хімічній лабораторії потрібно дотримуватися тиші, порядку, чистоти. Акуратно поводитися з хімічним посудом, приладами й реактивами. Не допускати потрапляння в очі будь-якої речовини.

Не можна набирати рідину в піпетку ротом, завжди користуватися грушею або пристосуванням для відбору проб. Пам'ятати, що випари всіх органічних розчинників токсичні, особливо у великих концентраціях.

Заборонено проводити досліді в брудному посуді, а також користуватися для проведення дослідів речовинами зі склянок без етикеток або з нерозбірливим написом.

Не можна виливати надлишок реактиву із пробірки назад у реактивну склянку. Сухі солі набирають чистим шпателем або ложечкою.

Не можна плутати пробки від різних склянок. Щоб внутрішній бік пробки залишався чистим, її кладуть на стіл зовнішньою поверхнею уверх.

Уникати вдихання пару або пилу речовин, з якими працюють. З усіма речовинами, що розпорошуються або поширюються, роботи проводять тільки у витяжній шафі з опущеними стулками, надягнувши захисні рукавички.

Якщо якісь етапи роботи не зрозумілі або викликають сумнів, потрібно обов'язково проконсультуватися з викладачем.

Наприкінці занять усі студенти зобов'язані навести порядок на своєму робочому місці: уважно оглянути й перевірити вимикання електроенергії, води, приладів і апаратів, прибрати легкозаймисте сміття, вимити скляний посуд, здати реактиви.

Організація лабораторних робіт

Необхідною умовою успішного виконання лабораторних робіт й запобігання аварійним ситуаціям або нещасним випадкам є уважне вивчення методики проведення досліді, планування етапів роботи, дотримання правил техніки безпеки.

Під час виконання лабораторних робіт необхідно **чітко** дотримувати таких правил:

1. Перед заняттями студентові необхідно заздалегідь ознайомитися з етапами проведення дослідів, чітко усвідомити мету й завдання роботи, обмірковуючи кожну дію.

2. Розпочинати виконання роботи можна тільки після розмови з викладачем (допуск до лабораторної роботи), у процесі якої необхідно описати основні етапи експерименту, зазначивши заходи обережності, уміти намалювати схему установки, мати уявлення про фізичні властивості використовуваних реагентів і продуктів реакцій, а також відповісти на низку теоретичних контрольних питань за темою виконуваної роботи. Допуск до роботи у вигляді підпису провідного викладача зазначається в робочому журналі студента.

3. Необхідно знати основні властивості використовуваних та одержуваних речовин, як вони діють на організм, правила роботи з ними і на підставі цього передбачати всі необхідні заходи безпеки щодо проведення робіт.

4. Виконання лабораторної роботи й кожного окремого досліді потребує чіткого дотримання всіх рекомендацій, що зазначені в описі роботи. Дослід потрібно виконувати ретельно, акуратно й без поспіху.

5. Перед заняттям необхідно оформити лабораторний журнал відповідно до вимог, наведених нижче.

Послідовність оформлення лабораторного журналу

1. Дата.
2. Заголовок: лабораторна робота №, назва лабораторної роботи.
3. Коротке формулювання мети роботи.
4. Устаткування, прилади, реактиви.
5. Хід роботи (методика визначення).
6. Схема лабораторної установки.
7. Таблиця вихідних даних і результатів.
8. Формули та розрахунки.
9. Спостереження.
10. Висновки (додаються після виконання роботи).

2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторна робота № 1

Визначення оптимальної дози коагулянту

Мета роботи: дослідження коагулювання, побудова графіків та встановлення за даними досліджень оптимальної дози коагулянту.

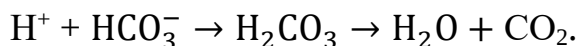
Теоретична частина

Для видалення з води речовин, які обумовлюють каламутність стічних вод застосовують обробку води коагулянтами. Як коагулянти використовують солі алюмінію і заліза: сульфат алюмінію, сульфат заліза (II), сульфат заліза (III), хлорид алюмінію, хлорид заліза (III), змішаний коагулянт, який складається із сульфату алюмінію і хлориду заліза, взятих у співвідношенні 1 : 1 чи 1 : 2 тощо.

Коагулянти є солями сильних кислот і слабких лугів, тому в разі додавання у воду вони гідролізуються. Гідролізом називається обмінна реакція між катіонами й аніонами солі й води, за якої відбувається зв'язування продуктів розкладання з одним чи обома іонами води з утворенням малодисоційованих чи важкорозчинних гідроокисів. Гідроліз солей супроводжується зміною рН середовища:

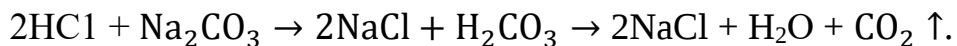
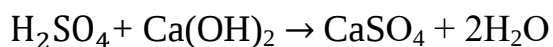
- пряма реакція: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4$;
- зворотна реакція: $\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl}$.

Реакції гідролізу зворотні. Тому, щоб забезпечити повноту протікання гідролізу (пряма реакція), необхідно зв'язувати (нейтралізувати) кислоти, що утворюються. Цю функцію виконують наявні в природних водах гідрокарбонат-іони, що визначають природну лужність води:



Якщо лужність оброблюваної води невелика, то кислота, яка утворюється під час гідролізу коагулянту, може бути нейтралізована не повністю. Наслідком

цього є погіршення процесу утворення пластівців, поява у воді залишкового алюмінію чи заліза. Щоб уникнути цього, воду додатково підлужують додаванням $\text{Ca}(\text{OH})_2$ чи Na_2CO_3 :



Гідроксиди алюмінію і заліза малорозчинні у воді та виділяються з неї у вигляді колоїдних позитивно заряджених частинок з великою сумарною площею поверхні.

Гумусові речовини, що надають воді забарвленості, та часточки порід і ґрунтів, що визначають її каламутність, – це негативно заряджені колоїди. Через різницю зарядів ці дві системи взаємодіють: на позитивно зарядженій поверхні гідроксидів добре адсорбуються гумусові речовини, а безпосередньо частки гідроксидів адсорбуються на поверхні ґрунтових, глинистих та інших завислих часток.

Водночас наявність у воді негативно заряджених іонів призводить до коагуляції колоїдних часток гідроксидів, тобто відбувається зниження їхнього заряду і втрата ними стійкості. У результаті цього частки починають злипатися один з одним, що призводить до утворення «мостиків» між завислими частинками домішок. Ці «мостики» як би «зшивають» завислі частинки між собою, утворюючи так звану зверхміцеллярну структуру. Остання, під впливом гідродинамічних сил потоку розривається у найбільш слабких місцях, наслідком чого є утворення мікропластівців, які потім збільшуються в разі взаємних зіткнень. Осадження такої коагульованої суспензії призводить до видалення з води речовин, які обумовлюють її каламутність і забарвленість.

Для успішного протікання процесу необхідно правильно підібрати дозу коагулянту. Оптимальною називається та найменша доза коагулянту, що забезпечує забарвленість очищеної води менше 20 °С за мінімальної її каламутності та активного утворення пластівців (досить швидке утворення великих, добре осідаючих пластівців).

Оптимальна доза коагулянту залежить від величини і природи забарвленості оброблюваної води, її каламутності, лужності та температури. Оптимальну дозу визначають у процесі пробного коагулювання води різними дозами коагулянту.

Дослідна установка

Установка складається з магнітної мішалки (1) і колби (2) із випробуваною водою і реагентами, яка встановлюється на підставці (3) корпусу магнітної мішалки. Усередину колби опускають стрижень (4), що перемішує. Корпус мішалки заземлюють, після чого мішалку вмикають до мережі напругою 220 В. Для приєднання проводу, що заземлює, на задній стінці корпусу розташована клемка. Стрижень (4) приводять в обертання за допомогою тумблера (5).

Для збільшення швидкості обертання стрижня рукоятку (6) повертають за годинною стрілкою та встановлюють на середині шкали швидкості обертання магнітного стрижня. Це відповідає приблизно 800 об/хв магнітного стрижня. Тумблер (7) призначений для увімкнення електрообігріву. Для запобігання від саморозмагнічування магніту до мішалки додається сталеве кільце, яке концентрично накладають на підставу корпусу у разі вимкнення апарата.

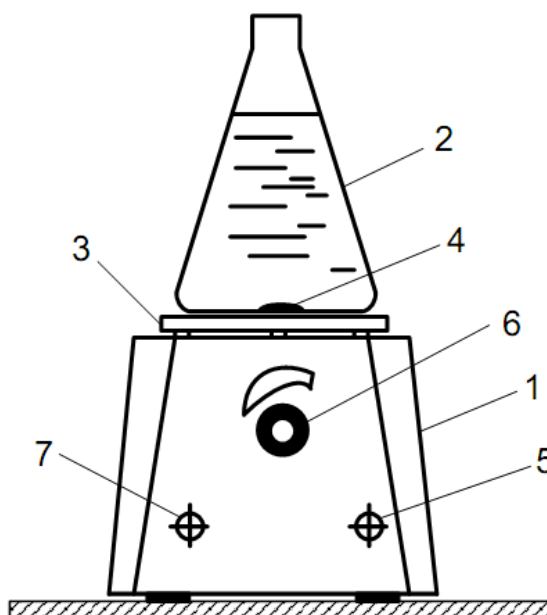


Рисунок 1.1 – Схема
установки:

- 1 – магнітна мішалка;
- 2 – колба; 3 – підставка;
- 4 – стрижень; 6 – рукоятка;
- 5, 7 – тумблери.

Реактиви, прилади, посуд

Для виконання роботи підготовляють колбу з випробуваною водою, закритою пробкою; мірні циліндри на 250 мл – 7 шт., плоскодонні колби – 2–3 шт., ємністю 500 мл; піпетки на 1 мл і 5 мл, пісковий годинник на 3 хв; секундомір; розчин $Al_2(SO_4)_3$ концентрацією 20 г/л (готується розчиненням $39Al_2(SO_4)_3 \times 18H_2O$ у 1 л води); 5 % розчин $NaOH$.

Експериментальна частина

Оптимальну дозу коагулянту визначають для двох умов:

- 1) без підлужування води;
- 2) із підлужуванням води.

У кожному випадку пробу випробуваної води ретельно перемішують перед її відбором.

1. Випробуваної води 200 мл (1 проба) наливають у плоскодонну колбу (2), занурюють у неї стрижень (4), що перемішує, і перемішують на магнітній мішалці (1) протягом 3-х хвилин. Потім розчин зливають у циліндр № 1 для відстоювання.

В інші проби води (2–7) перед перемішуванням додають розчин коагулянту (сірчаноокислого алюмінію) у таких кількостях:

Таблиця 1.1 – Кількість розчину коагулянту

Номер проби	2	3	4	5	6	7
Кількість розчину коагулянту, що було додано у циліндр, мл	0,5	1	2	3	4	6
Відповідна цьому обсягу доза коагулянту, мг/л	50	100	200	300	400	600

Після перемішування проби води зливають у циліндри, відповідно (2–7) і вмикають секундомір.

2. Досліди з підлужуванням стічної води виконуються аналогічно. До кожної проби води перед перемішуванням додають 1 мл 5 % розчину $NaOH$.

Для кожної проби води відзначають час початку відстоювання. Тривалість відстоювання – 0,5 год.

Через 0,5 год із кожного циліндра відбирають відстояний розчин, у якому визначають оптичну щільність проби на фотоколориметрі. За даними значень оптичної щільності за допомогою калібрувального графіка можна одержати порівняльні дані про каламутність води залежно від дози коагулянту. Під час відстоювання води у циліндрах відзначають час початку утворення пластівців, час початку осідання, а також вид пластівців (пухкі, великі, дрібні).

Записують умови проведення досліду:

- 1) кількість вихідної води для кожного досліду, мл;
- 2) оптична щільність вихідної води;
- 3) тривалість перемішування проби води, хв;
- 4) тривалість відстоювання, хв.

Таблиця 1.2 – Результати досліджень

Умови проведення досліду	Номер проби	Кількість доданого коагулянту, мл	Доза коагулянту, мг/л	Час початку утворення пластівців, хв	Час початку осідання пластівців, хв	Оптична щільність води після досліду
Без підлугування						
Із додаванням NaOH						

За даними дослідів будують графіки, відкладаючи по осі абсцис дозу коагулянту в мг/л, а по осі ординат – оптичну щільність води.

За графіками знаходять оптимальну дозу коагулянту і роблять висновок про необхідність підлужування для досліджуваної води.

Оптимальною дозою коагулянту вважається така доза, коли збільшення кількості доданого коагулянту понад цю дозу не призводить до помітного зниження оптичної щільності води, яку очищують.

Контрольні запитання

1. Які реагенти використовують як коагулянти?
2. Що називають гідролізом?
3. Як впливає лужність на ефективність процесу коагуляції?
4. Що називають оптимальною дозою коагулянту?

Лабораторна робота № 2

Видалення органічних домішок зі стічної води методом фільтрування через активоване вугілля

Мета роботи: видалити органічні домішки зі стічної води методом фільтрування через активоване вугілля, побудувати графік, визначити фенол у стічній воді фотоколориметричним методом.

Теоретична частина

Адсорбція розчинених речовин – це процес переходу молекул розчиненої речовини з обсягу розчину на поверхню твердого сорбенту під дією силового поля поверхні. При цьому конкурують два види міжмолекулярної взаємодії: гідратація молекул розчиненої речовини, тобто взаємодія їх з молекулами води у розчині та взаємодія молекул адсорбуючої речовини з поверхнею твердого тіла. Різниця енергій цих двох процесів і є тою енергією, з якою речовина, витягнута з розчину, втримується на поверхні адсорбенту.

Як адсорбенти застосовують різні марки активованого вугілля, силікагель, кокс, торф, а також такі відходи, як зола й шлаки. Найпоширенішим адсорбентом є активоване вугілля. Воно має сильно розвинуту поверхню: питома поверхня (поверхня 1 см³) становить до 1 000 м².

У разі динамічної адсорбції очищувану воду фільтрують через шар адсорбенту. У цьому випадку частка рідини переміщається відносно частки адсорбенту. Розподіл домішки між адсорбентом і стічною водою може бути виражений співвідношенням

$$K_{\text{адс}} = \frac{a}{c}, \quad (2.1)$$

де $K_{\text{адс}}$ – адсорбційна константа розподілу;

a – величина адсорбції домішки у мг/г адсорбенту (або в г/кг);

c – концентрація адсорбуючої речовини за шаром адсорбенту, мг/л;

Ефективність вилучення домішок зі стічної води у відсотках визначається рівнянням

$$E = \frac{C_0 - C}{C_0}, \quad (2.2)$$

де C_0 – початкова концентрація домішки в очищуваній воді, мг/л.

Дослідна установка

Установка складається з напірної посудини (1), дозатора (2), вугільного фільтра (3) і приймача (4). Випробувану стічну воду заливають у напірну посудину (1) у разі закритого крану дозатора (2). Після заповнення посудини (1) її закривають пробкою, крізь яку просмикнута відкрита з обох кінців скляна трубка. У вугільний фільтр (3) завантажують попередньо зважене на технічних вагах активоване вугілля марки КАД у кількості 25 г.

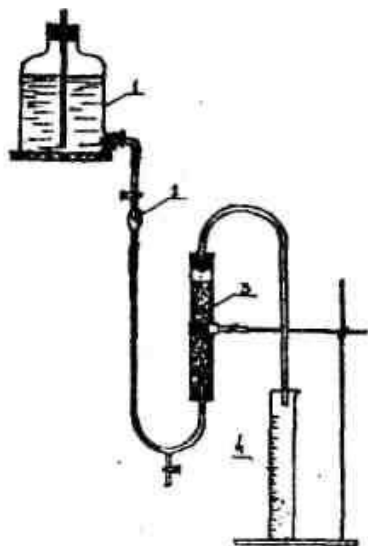


Рисунок 3.1 – Схема установки:

- 1 – напірна посудина;
- 2 – дозатор;
- 3 – вугільний фільтр;
- 4 – приймач

Реактиви, прилади, посуд

Вугілля КАД-йодне є продуктом обробки кам'яновугільного напівкоксу водяною парою за високої температури.

Для виконання роботи підготовляють секундомір, 8–10 мірних циліндрів на 0,5 літри, промивалку, посуд і реактиви для фотоколориметричного визначення фенолу.

Експериментальна частина

Установлюють приймач (4). Відкривають кран дозатора (2), одночасно регулюючи надходження у фільтр (3) води за допомогою відрахування крапель за певний інтервал часу за допомогою секундоміру. Фіксують час початку і закінчення досліду. Спочатку встановлюють потік крапель із розрахунку ~ 10 крапель за 5 секунд (або ~ 20 крапель за 10 секунд). Після того, як почнеться надходження води у приймач, регулюють відкриття крана таким чином, щоб швидкість подачі води становила близько 0,8–1,0 л/год (звіряючи по міркам циліндра за час, відрахований за секундоміром). Відбирають 6–8 порцій по 0,5 літра очищеної води й визначають у них вміст фенолу фотоколориметричним методом. Визначають початкову концентрацію фенолу у воді, що надходить. Наприкінці досліду вимірюють внутрішній діаметр трубки вугільного фільтра (у см).

Результати досліду записують за такою формою:

- 1) час початку досліду;
- 2) час закінчення досліду;
- 3) тривалість фільтрування t , год;
- 4) кількість завантаженого сухого вугілля 25 г;
- 5) початкова концентрація фенолу у воді C_0 , мг/л;
- 6) дані, отримані під час проведення експерименту, зводять у таблицю.

На підставі отриманих даних обчислюють:

1. Середньогодинну кількість води, що надійшла на фільтрування

$$W_{сер} = \frac{W}{t}, \text{ л/год.} \quad (2.3)$$

2. Середню швидкість фільтрування

$$V = 10 \frac{W_{сер}}{f}, \text{ м/год,} \quad (2.4)$$

де f – площа поперечного перерізу фільтра, виражена в см^2 ;

Під час підрахунку обирають діаметр трубки вугільного фільтра 2,5 см, тоді $f = 4,9 \text{ см}^2$.

Таблиця 2.1 – Результати досліджень

Номер проби води, що очищується, від початку дослід (по 0,5 літра)	Концентрація фенолу в пробі, мг/л
1	$C_1 =$
2	$C_2 =$
3	$C_3 =$
4	$C_4 =$
...	...
N	$C_n =$
Всього $W =$ літрів	Середня концентрація фенолу $C_{\text{сер}} = \frac{C_1 + C_2 + \dots + C_n}{n}$, мг/л

3. Кількість вилученого фенолу:

$$m = W(C_0 - C), \text{ мг.} \quad (2.5)$$

4. Величина адсорбції фенолу:

$$a = \frac{m}{25}, \text{ мг/г,} \quad (2.6)$$

де 25 – завантаження активованого вугілля у фільтр, г;

5. Ефективність вилучення фенолів:

$$E = \frac{C_0 - C}{C_0}. \quad (2.7)$$

6. Адсорбційну константу розподілу:

$$K_{\text{адс}} = \frac{a}{c}. \quad (2.8)$$

За даними дослід (будують графік, відкладаючи по осі абсцис кількість профільтрованої води в літрах від початку дослід, а по осі ординат – залишкову концентрацію фенолу в пробі (у мг/л).

Фотоколориметричний метод визначення фенолу в стічній воді

Піпеткою відбирають таку кількість стічної води, щоб після розведення у мірній колбі ємкістю 100 мл концентрація фенолу в розчині становила 1–5 мг/л (якщо необхідно стічну воду попередньо розводять). Пробу стічної води (або її розведеного розчину) відбирають піпеткою й поміщають у мірну колбу ємкістю

100 мл, туди ж додають 1 мл буферного розчину, ретельно перемішують, додають дистильовану воду, приблизно до половини ємкості колби, знову перемішують, доливають 2 мл розчину 4-аміноантипірина і після перемішування додають розчин заліzosинеродистого калію (2 мл). Розчин доводять до мітки водою й перемішують.

Після 5-хвилинної витримки забарвлений розчин наливають у кювету з відстанню між гранями 10 мм і поміщають у фотоколориметр. Колориметрування здійснюють із зеленим світлофільтром, фотоколориметр вмикають у електромережу за 20 хв до початку визначення.

Спочатку у праве й ліве плече фотоколориметра встановлюють кювети з дистильованою водою, потім відкривають шторки світлофільтра й встановлюють стрілку гальванометра на нуль.

Установку стрілки гальванометра на нуль починають у разі увімкнення гальванометра на малу чутливість (положення «0» показує, що гальванометр вимкнений, «I» – увімкнений на малу чутливість, «2» – увімкнений на більшу чутливість).

У разі увімкнення рукоятку грубого налагодження встановлюють у положення «I», потім перемикають гальванометр у положення «2» й остаточно встановлюють гальванометр рукояткою точного налагодження. Після установки гальванометр вмикають (встановлюють у положення «0»).

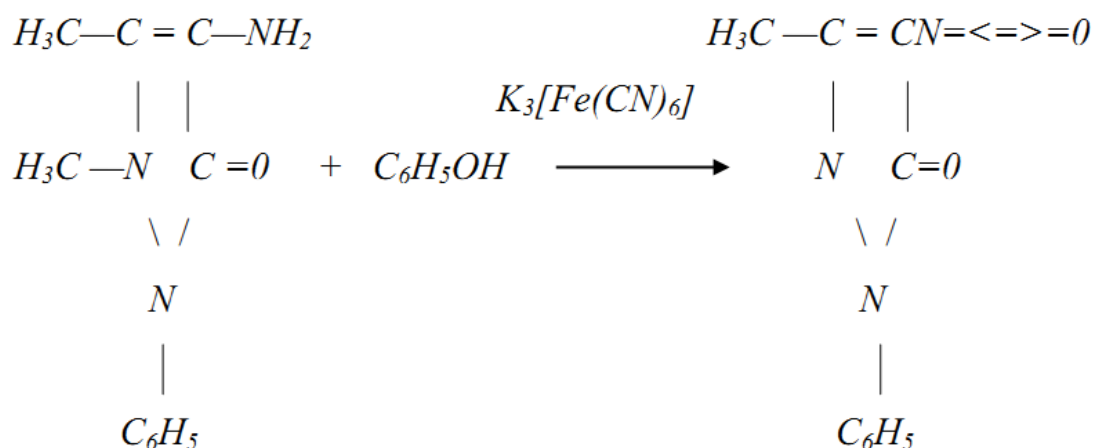
Наступний етап полягає у визначенні оптичної щільності застосовуваних розчинів реагентів («глухий дослід»). Для цього в мірну колбу на 100 мл до дистильованої води додають всі реагенти (без аналізованої проби води).

Отриманий для «глухого досвіду» розчин заливають у два кювети, які встановлюють у праве й ліве плече фотоколориметра, відкривають шторки світлофільтра, вмикають гальванометр на чутливість «I», а потім на чутливість «2» і за допомогою відповідних рукояток установлюють його стрілку на нуль.

Після цього закривають шторки світлофільтра й у праве плече фотоколориметра замість установленної кювети поміщають кювету з досліджуваним розчином.

Після відкриття шторок стрілка гальванометра відхиляється від нульового положення. Обертанням вимірювального барабана встановлюють стрілку гальванометра знову на нуль. Величину оптичної щільності розчину відраховують за поділками правого барабана.

Під час взаємодії фенолу з 4-аміноантипирином у лужному середовищі з додаванням заліzosиньородистого калію утворюється забарвлена сполука, інтенсивність якої залежить від концентрації фенолу. При цьому протікає реакція



Концентрацію фенолу в розведеному розчині C_1 , у мг/л визначають за калібрувальною кривою.

Концентрацію C_n розраховують з урахуванням зробленого розведення

$$C_n = C_1 \cdot n, \text{ мг/л}, \quad (2.9)$$

де n – кратність розведення.

Бажано, щоб концентрація C_1 , що визначається за калібрувальною кривою перебувала в її середній частині, цього досягають регулюванням кратності розведення « n ».

Контрольні запитання

1. Що таке адсорбція і як вона відбувається на активованому вугіллі?
2. Які адсорбенти застосовують для очищення стічних вод?

3. Які фактори впливають на ефективність фільтрування через активоване вугілля?

4. Які переваги та недоліки використання активованого вугілля для очищення стічних вод?

Лабораторна робота № 3

Побудова ізотерми адсорбції органічної речовини з води

Мета роботи: побудувати ізотерму адсорбції органічної речовини з води.

Теоретична частина

Органічні домішки можуть бути вилучені з водного розчину за допомогою адсорбентів, таких як активоване вугілля, зола, шлаки й інші тверді матеріали. Ефективність адсорбенту стосовно домішки оцінюється показником, що називають «величиною адсорбції». Цей показник зазвичай виражають у ммоль/г або мг/г (г/кг) адсорбенту. Оскільки він належить до одиниці ваги адсорбенту, його називають «питомою адсорбцією». Величину адсорбції можна виражати у вагових відсотках. Порівнюючи значення питомої адсорбції будь-якої домішки на різних адсорбентах, можна визначити, який з них більш придатний для видалення цієї домішки з водного розчину.

Величина адсорбції залежить від температури, за якої відбувається цей процес, її значення знижується з підвищенням температури.

Зі збільшенням концентрації розчиненої речовини величина адсорбції зростає.

Зв'язок між величиною адсорбції і рівноважною концентрацією домішок у розчині характеризується ізотермою адсорбції, яка описується:

– рівнянням Фрейндліха

$$a = K \cdot C^n;$$

– рівнянням Лангмюра

$$a = a_0 \frac{C}{C+B},$$

де a – питома адсорбція, ммоль/г (мг/г або % вага);

a_0 – гранична величина адсорбції для заданого адсорбенту, ммоль/г (мг/г);

C – рівноважна концентрація адсорбованої домішки у воді, що знаходиться у контакті з адсорбентом, ммоль/л (мг/л);

a_0 , K , n , B – константи, що визначаються експериментально.

Ізотерму будують за експериментальними даними в системі координат, де по осі абсцис відкладають рівноважну концентрацію домішок, а по осі ординат – питому адсорбцію.

Початкова ділянка ізотерми більш точно описується рівнянням Фрейндліха, а наступна, більш полого ділянка – рівнянням Ленгмюра. Для знаходження констант K та n у рівнянні Фрейндліха його логарифмують, і воно набуває вигляду

$$\lg a = \lg K + n \lg C.$$

За дослідною кривою, після підрахування значень $\lg a$ та $\lg C$, і відкладаючи їх на координатних осях, отримують пряму лінію. Тангенс кута нахилу прямої дає константу n , а відрізок на осі ординат, що відтинається нею, – константу K .

Для визначення констант рівняння Ленгмюра його зручно перетворити таким чином:

$$\frac{C}{a} = \frac{B}{a_0} + \frac{C}{a_0}.$$

За дослідною кривою обчислюють значення $\frac{C}{a}$, потім, зображуючи графічно, у функції від $\frac{C}{a}$ отримують пряму, нахил якої визначає константу a_0 , а відрізок на осі ординат – константу B .

Визначивши вид рівняння ізотерми адсорбції і його константи, можна обчислити величину питомої адсорбції за будь-якої рівноважної концентрації розчину, а також необхідну дозу адсорбенту для досягнення заданого ефекту вилучення домішок зі стічної води.

Дослідна установка

Колби (1) із водним розчином, що досліджується і доданим до нього адсорбентом встановлюють на платформу (2) апарата для струшування, який приводиться у рух за допомогою електромотора (3). Колби закріплюють на платформі апарата за допомогою затискачів (4). Перед увімкненням апарата у

мережу змінного струму його необхідно заземлити. Увімкнення апарата здійснюють за допомогою тумблера, розташованого у електромотора.

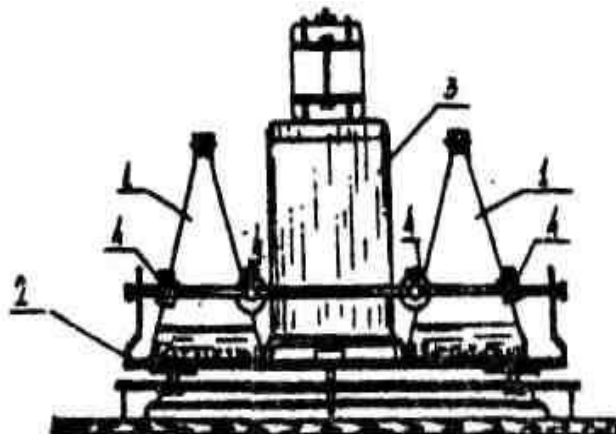


Рисунок 4.1 – Схема

установки:

1 – колба;

2 – платформа;

3 – електромотор;

4 – затискач.

Реактиви, прилади, посуд

Для виконання роботи підготовлюють 8 колб Ерленмеєра з плоским дном на 250 мл із пробками, мірний циліндр на 100 мл, 4 бюкса для зважування активованого вугілля, 4 воронки для фільтрування, фільтрувальний папір, посуд та реактиви для фотоколориметричного визначення фенолу.

Експериментальна частина

Побудову ізотерми здійснюють на прикладі адсорбції фенолів із водного розчину. У вихідній стічній воді визначають вміст фенолу.

У колби Ерленмеєра (4 шт.) заливають мірним циліндром по 100 мл досліджуваного розчину. Потім додають попередньо зважені на аналітичних вагах навіски активованого вугілля. У першу колбу – 3,0 г, в другу – 2,5 г, у третю – 2,0 г, у четверту – 1,5 г. Колби закривають пробками, встановлюють в апарат для струшування і після його увімкнення, вміст колб перемішують протягом 60 хв. Фіксують час початку досліду і температуру у приміщенні.

Після вимкнення апарата водний розчин відстоюється від частинок вугілля протягом 15 хв, після чого розчини фільтрують через паперовий фільтр, відкидаючи перші порції (10–15 мл). Фільтрати збирають у підготовлені колби. У кожному фільтраті визначають вміст фенолів фотоколориметричним методом.

У журналі спостережень фіксують початок і кінець досліду, температуру, концентрацію фенолів у вихідному розчині C_0 г/л, об'єм вихідного розчину V мл, тип адсорбенту.

Результати дослідів заносять у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати досліджень

Наважка адсорбенту m , г	Рівноважна концентрація фенолу у розчині C , г/л	Адсорбція a , % вага
холоста		
3,0 г		
2,5 г		
2,0 г		
1,5 г		

Величину адсорбції визначають за такою формулою:

$$a = \frac{(C_0 - C) \cdot V \cdot 100}{100 \cdot m}, \%. \quad (3.1)$$

За даними дослідів будують ізотерму, відкладаючи по осі абсцис – значення « C » у мг/л, а значення « a » у відсотках по осі ординат, а потім знаходять константи рівнянь ізотерми адсорбції.

Контрольні запитання

1. Що таке адсорбція?
2. Що таке ізотерма адсорбції?
3. Які основні фактори впливають на процес адсорбції?
4. Які математичні моделі описують ізотерми адсорбції?

Лабораторна робота № 4

Гідробіологічний аналіз активного мулу

Мета роботи: промікроскопувати і описати зразки активного мулу; назвати переважні форми гідробіонтів і замалювати окремі види; зробити висновок про стан активного мулу і його здатність до переробки забруднень.

Теоретична частина

На сьогодні основною спорудою для біологічного очищення стічних вод у штучних умовах є аеротенк. Аеротенки – подовжені в плані резервуари, у яких стічні води повільно протікають у суміші з активним мулом. Однак необхідно враховувати, що екосистема активного мулу відрізняється від екосистем природних водойм через особливості технології очищення стічних вод (постійна рециркуляція активного мулу, інтенсивна аерація тощо).

Активний мул – штучно вирощуваний біоценоз, населений бактеріями, найпростішими й багатоклітинними організмами. Джерелом харчування організмів активного мулу слугують органічні забруднення стічних вод.

Активний мул має вигляд пластівців бурого кольору, які в разі відстоювання мулової суміші в аеротенку випадають в осад. Під мікроскопом видно, що пластівці активного мулу складаються переважно з бактеріальних кліток. На поверхні пластівців, між ними або рідше усередині них зазвичай перебувають різноманітні найпростіші.

Найважливішу роль в очищенні стічних вод від органічних забруднень відіграють бактерії, які складають основну частину активного мулу. Переважна більшість бактерій – одноклітинні організми, які можуть мати кулясту, паличкоподібну й звиту форми (рис. 4.1, 4.2). Крім одноклітинних бактерій, в активному мулі розвиваються в невеликій кількості нитчасті бактерії (рис. 4.3), дріжджі й окремі нитки цвілевих грибів.

Мікрофауна активного мулу складається переважно з одноклітинних – найпростіших різних типів, класифікація яких заснована на способах руху. До

найпростіших належать представники саркодових, безбарвних джгутикових, а також інфузорій вийчастих.

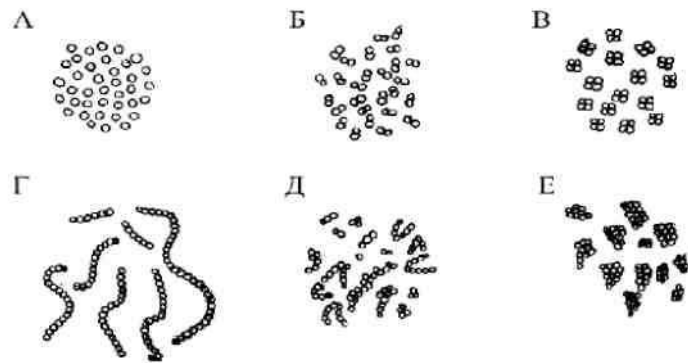


Рисунок 4.1 – Кулясті форми бактерій:

а – мікрококи; б – дилококи; в – тетракоки; г – стрептококи;

д – стафілококи; е – сарцини

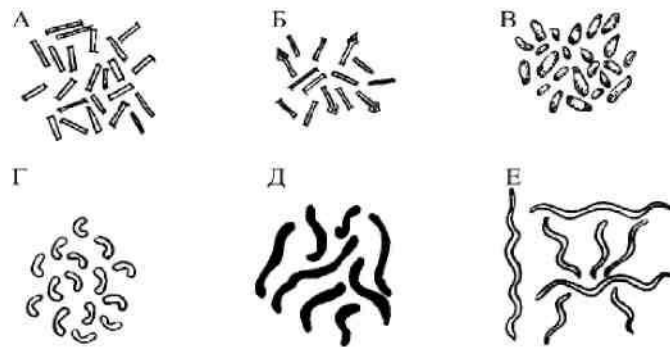


Рисунок 4.2 – Паличкоподібні й покручені форми бактерій:

а – неспорова паличка; б, в – спорова паличка; р – вібріони; д – спірили;

е – спірохети

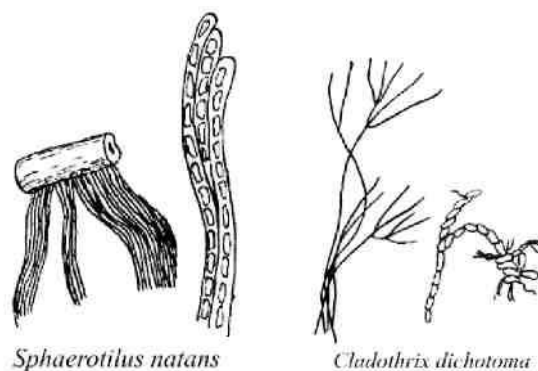


Рисунок 4.3 – Нитчасті бактерії

Найбільш численний в активному мулі клас війчастих інфузорій. Вони мають постійну форму тіла й досить складну будову, рухаються за допомогою вій. В активному мулі наявні також більш складно організовані представники мікрофауни, такі як коловертки, круглі хробаки.

Бактеріям належить провідна роль у переробці розчинених органічних речовин. Водночас, харчуючись тонкодиспергованими суспензіями, вони сприяють проясненню рідини.

У проясненні рідини беруть участь й інші представників біоценозу. За розвитком тих або інших форм можна судити про якість очищення стічної води й кисневого режиму в аеротенку, що є найважливішою умовою життєдіяльності мікроорганізмів.

Для характеристики роботи споруд біологічного очищення гідробіологічний аналіз має основне значення, оскільки характеризує склад, кількісний розподіл і своєрідність організмів активного мулу – споживачів забруднюючих речовин, що надходять на очищення.

Характерні зміни в біоценозі активного мулу щонайкраще відображують протікання процесу очищення, дозволяють швидко оцінити його якісний рівень і зробити висновки про основні несприятливі фактори, що погіршують ефективність очищення стічних вод.

Про якість роботи аеротенку можна судити за складом біоценозу активного мулу за різних режимів роботи аеротенку.

Задовільно працюючий мул характеризується більшою розмаїтістю найпростіших за видовим складом за невеликої кількісної переваги якого-небудь із видів. Рідко зустрічаються джгутикові й дрібні амеби. Постійно наявні пuzовійчасті й кругловійчасті інфузорії.

Бактерії перебувають переважно в зооглейних скупченнях. Всі організми досить рухливі у жвавому стані.

Пластівці мулу щільні, компактні. Мул швидко осідає. Вода над мулом прозора.

Голодуючий мул утворюється у разі низької концентрації органічних речовин у стічній рідині, а також за надмірно тривалої аерації мулової суміші. У таких мулах спостерігаються дрібні розміри найпростіших. Вода над мулом має дрібну неосідаючу каламуть.

Перевантажений мул виходить у випадку, якщо активний мул не подужує забруднення, що надходять. Біоценоз мулу характеризується малою розмаїтістю видів за кількісної переваги двох-трьох із них. У цих мулах спостерігається велика кількість безбарвних джгутикових, дрібних амеб й інших дрібних інфузорій. Мул забруднений різноманітними домішками: органічними аморфними частинками, сміттям. Пластівці мулу темні, щільні.

У мулі, що спухає, спостерігається масовий розвиток нитчастих бактерій і грибів, які витісняють зооглейні скупчення бактерій. Нитчасті й гриби є гарними мінералізаторами, однак ефект очищення знижується. Це спричиняється тим, що вид бактерій має дуже розвинуту поверхню, що сприяє поганому осіданню активного мулу й винесенню його із вторинного відстійника.

Методика проведення оцінки технологічного процесу очищення води за станом активного мулу містить такі етапи:

1. Підготовка посуду, предметного і покривного скла.
2. Відбір проб.
3. Визначення гідрохімічних показників якості стічних вод (температура, зміст кисню, лужність, мутність, прозорість, завислі речовини, домішки тощо).
4. Аналіз активного мулу (загальні властивості):
 - визначення дози мулу за обсягом (осад, швидкість осадження, колір пластівців, запах);
 - розрахунок мулового індексу;
 - визначення прозорості надмулової води (описується характер води над осілим мулом);
 - визначення дози мулу за вагою.
5. Гідробіологічний аналіз активного мулу:

- візуальне дослідження мулу в скляному циліндрі (стан мулу, наявність слідів нафти, піни тощо);
- мікроскопування (визначення видів);
- визначення чисельності (кількісний облік, частота зустрічальності);
- оцінка стану біоценозу за видовою структурою;
- опис функціонального (фізіологічного) стану організмів;
- визначення розмірів;
- розподіл індикаторних організмів за групами;
- підсумкова оцінка біоценозу, належність його до певного типу;
- індикаторна оцінка процесу біологічного очищення.

Оцінка стану активного мулу проводиться за трьома ознаками:

1. Якість пластівців активного мулу. Пластівці можуть бути великі і щільні, більш дрібні і роздроблені, але не повинні містити неперероблених домішок. Поява домішок свідчить про погіршення роботи аеротенку.

2. Мікрофлора. Під час роботи аеротенку на повне очищення в рідині наявні у невеликій кількості плаваючі вільно дрібні рухливі палички. Поява великих паличкоподібних і звитих бактерій зазвичай пов'язана з погіршенням якості очищення. Нитчасті бактерії у невеликій кількості не впливають на якість активного мулу, але при цьому завжди є небезпека спалаху їх розвитку. Грибів у аеротенку зазвичай немає.

3. Мікрофауна. У разі гарної роботи аеротенку в ньому переважають інфузорії й інші спіралевійкові, а також кругловічкові організми.

Реактиви, прилади, посуд

1. Мікроскоп.
2. Набір піпеток, зокрема піпеток діаметром 3–4 мм із відкаліброваною краплею.
3. Циліндри, $V = 50$ мл, і пробірки, $V = 25$ мл.
4. Освітлювач до мікроскопа OM20.

5. Груші гумові, малі (для піпеток).
6. Покривні стекла.
7. Предметні стекла.
8. Осмієва кислота, 1 % водяний розчин.
9. Йод, 0,3 % водяний розчин, для мікроскопування джгутикових.
10. Гліцерин для мікроскопування хробаків і коловерток.
11. Спирт етиловий 96 % для фіксації організмів.

Експериментальна частина

Порядок і методика проведення аналізу

Відбір проб активного мулу на аналіз беруть окремо з кожної споруди: аеротенку, регенератора, вторинного відстійника.

Рідку пробу переливають у широкогорлу банку, заповнюють її на половину обсягу й не закривають пробкою. Негайно переносять у лабораторію й розпочинають аналіз не пізніше ніж через 20–30 хв із моменту узяття проби (протягом 1–2 годин пробу, не закриту пробкою, можна зберігати в холодильнику). Негайно після доставки проб з аераційних споруд у лабораторію відливають із кожної проби 100 мл у циліндр для визначення обсягу мулу через 30 хв відстоювання й дози мулу. Одночасно наливається проба мулової суміші у стерильні пробірки в кількості 10–20 мл для відділення активного мулу від рідини, що очищується. Після 2–3 хв відстоювання зразки активного мулу зазнають мікроскопування.

Техніка мікроскопування проб активного мулу

Піпеткою відбирають 2–3 мл активного мулу із пробірки, потім краплю свіжого мулу наносять на стерильне предметне скло й покривають стерильним покривним склом. Зазвичай на одне предметне скло поміщають 2–3 краплі мулу. Предметне скло встановлюють на предметний столик мікроскопа й переглядають під мікроскопом. Для кращої чіткості зображення не потрібно сильно відкривати діафрагму мікроскопа. Зручніше користуватися об'єктивом із малим збільшенням, а окуляром – із більшим.

Під час мікроскопування відзначають види мікроорганізмів, їхній фізіологічний стан, структуру мулу, наявність зооглей, домішки мінеральних органічних часток і сміття. Під час визначення видів організмів треба детально розглянути їхню внутрішню будову, тому їх роблять нерухомими, застосовуючи фіксацію. Як фіксатор використовують пари осмієвої кислоти. Щоб зафіксувати препарат, на предметне скло наносять маленьку краплю рідини з найпростішими, скло швидко перевертають краплею усередину склянки з розчином осмієвої кислоти й витримують протягом декількох секунд щільно притиснутим до горлечка склянки. Потім розглядають препарат під покривним склом із великим збільшенням.

Зокрема, джгутики добре видно у розчині йоду. Спостерігаючи під мікроскопом за тим, щоб найпростіші залишалися в полі зору, під покривним склом простягають смужки фільтрувального паперу, змоченого реактивом. Щоб зупинити або сповільнити рух коловерток до краплі води з живими коловертками на предметному склі, додають краплю гліцерину, обережно й ретельно перемішують кінцем голки, покривають покривним склом і переглядають під мікроскопом. Кількість гліцерину визначають дослідним шляхом у разі дво- або трикратного повторення зазначеної процедури. Зупинити рух великих інфузорій також можна, підсушуючи краплю, вкриту склом, промінь світла якого дзеркалом мікроскопа спрямовується на предметний стіл мікроскопа.

Форма звітності

Результати мікроскопування проб заносяться в зошит, у якому відзначаються такі відомості:

- 1) швидкість осідання пластівців (швидко, повільно);
- 2) колір активного мулу (бурий, чорний, білястий тощо);
- 3) вода над мулом (прозора, мутна, пофарбована);
- 4) щільність і розмір пластівців мулу (щільний, роздроблений, великий, дрібний);
- 5) наявність сторонніх домішок;

6) склад гідробіонтів та їхні малюнки (під час виконання малюнків найпростіших можна скористатися фотографіями окремих видів);

7) наявність грибів і нитчастих бактерій;

8) наявність вільно плаваючих бактерій (багато, мало);

9) переважні форми бактерій (дрібні палички, великі палички тощо).

Пункти 4–6 розглядаються у разі малого збільшення (окуляр 10× або 15×, об'єктив 8×); 7, 8 й 9 – при великому (окуляр 10× або 15×, об'єктив 40×).

Наприкінці необхідно дати оцінку стану активного мулу, його здатності переробити органічні забруднення.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення активного мулу. Які групи бактерій входять до складу активного мулу?

2. Яку функцію виконує активний мул?

3. Чи можна за станом активного мулу оцінити процес очищення стічних вод?

4. Які загальні властивості активного мулу визначають для оцінки процесів очищення стічних вод?

5. За якими ознаками проводять оцінку стану активного мулу?

6. Що містить аналіз загальних властивостей активного мулу?

7. Які етапи містить гідробіологічний аналіз активного мулу?

Лабораторна робота № 5

Визначення швидкості надходження кисню в аеротенки

Мета роботи: побудувати графік залежності кількості внесеного кисню від часу аерації.

Теоретична частина

Робота аеротенків заснована на використанні процесів біохімічного окислювання органічних та інших речовин, що перебувають у стічних водах, за допомогою аеробних мікроорганізмів.

Для забезпечення нормальної життєдіяльності мікроорганізмів-мініералізаторів в аеротенк повинен безперервно надходити кисень, що використовується в біохімічних процесах. Необхідна кількість кисню не може бути забезпечена за рахунок природної дифузії його з повітря через водну поверхню аеротенку, тому нестачу кисню доводиться поповнювати штучно. З цією метою передбачається безперервна аерація суміші стічної води з мікроорганізмами, що перебувають в аеротенку, шляхом подачі до нього стисненого повітря або шляхом поверхневої аерації.

Повітря необхідне не тільки для забезпечення життєдіяльності мікроорганізмів (активного мулу), але й для підтримки їх у зваженому стані. Крім того, під час продувки суміші мікроорганізмів із водою повітрям, із неї виділяється продукт розкладання органічних речовин – вуглекислота.

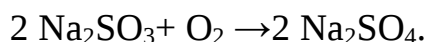
Аеротенки, у які подається стиснене повітря називають аеротенками з пневматичною аерацією.

Аеротенки, у яких відбувається надходження повітря з поверхні води під час енергійного перемішування за допомогою механічних аераторів, називають аеротенками з механічною аерацією.

Залежно від складу стічної води й характеру застосовуваних мікроорганізмів, для її очищення потрібна необхідна кількість кисню (і відповідно повітря), обумовлена розрахунковим шляхом.

Для того щоб експериментально визначити швидкість надходження кисню в аеротенк, його заповнюють водопровідною водою й додають у певній концентрації речовини, що легко окислюються, наприклад, сульфід натрію Na_2SO_3 . Після ввімкнення аератора через певні інтервали часу визначають, наскільки знизилася концентрація сульфїту натрію.

Кисень, що розчинився в рідині, взаємодіє з сульфїтом натрію за такої реакції:



На підставі даних аналізу можна визначити кількість доданого в аеротенк кисню й швидкість його надходження.

Дослідна установка

Аеротенк (1) заповнюють певною кількістю води. Аераційний пристрій – це диск із лопатами (2). Рівень рідини в аеротенку повинен частково покривати лопати диска. Аерація здійснюється шляхом розбризкування води під час обертання диска (2). Напрямок руху потоків води в процесі роботи аеротенка показано стрілками. Аератор вмикається за допомогою приводу (3), з'єднаного з електромотором (4).

Для здійснення пневматичної аерації на дно аеротенку поміщають поруватий аератор, з'єднаний повітровідвідною трубкою з повітряним компресором.

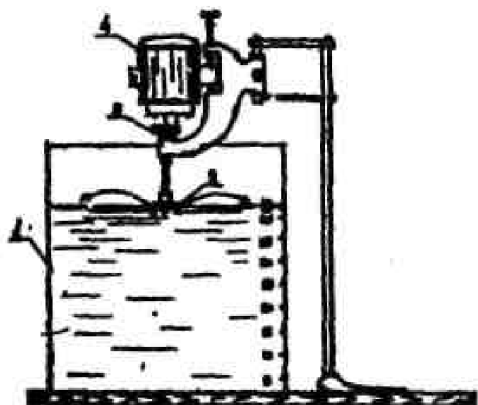


Рисунок 5.1 – Схема установки:

- 1 – аеротенк;
- 2 – аератор;
- 3 – привод;
- 4 – електромотор

Реактиви, прилади, посуд

Для виконання роботи підготовляють п'ять колб Ерленмейєра ємністю по 0,5 л і з пробками, піпетку на 20 мл, мірні циліндри на 0,5 л та 10 мл, 0,1 н розчини йоду та тіосульфату натрію і бюретки до них, технічну сіль сульфату натрію, 10 % розчин мідного купоросу, 10 % розчин оцтової кислоти, розчин крохмалю.

Експериментальна частина

У п'ять колб Ерленмейєра вливають по 20 мл 0,1 н розчину йоду. Через здатність йоду випаровуватися цю операцію здійснюють швидко і після її закінчення колбу закривають пробкою. Олівцем по склу на колбах роблять позначки: 0, 15, 30, 45, 60.

Для підготовки до роботи аеротенка в нього всипають попередньо зважену кількість сульфату натрію до одержання його концентрації близько 15 г/л. Потім додають як каталізатор 10 % розчин мідного купоросу (250 мл) і перемішують отриманий розчин. Нульову пробу відбирають ввімкнення аератора. Підготовлений до роботи аеротенк вмикають з допомогою піпетки і на позначці 20 мл починають робити відбір проб.

Усього відбирають п'ять проб по 20 мл, що ставляться за часом від початку відбору проб до 5 хв, 15 хв, 30 хв, 45 хв і 60 хв.

Проби відбирають у процесі роботи аеротенку з поверхні рідини піпеткою. Відібрана проба після відділення пухирців повітря вливається у відповідну підготовлену колбу Ерленмейєра з розчином йоду.

Вміст колби відразу ж титрують 0,1 н розчином тіосульфату натрію та за формулою визначають залишковий вміст сульфату натрію у відібраній пробі C_t , у г/л (індекс t вказує час відбору проби). Після відбору останньої проби аеротенк вимикають.

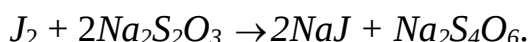
Визначення концентрації сульфату натрію у водяному розчині

У колбу Ерленмейєра із притертою пробкою наливають із бюретки 20 мл і 0,1 н розчину йоду й закривають пробкою. Туди ж доливають 20 мл

випробуваної проби. Потім додають 5 мл 10 % оцтової кислоти й відразу ж титрують 0,1 н розчином тіосульфату натрію доти, допоки розчин не набуде солом'яно-жовтого кольору. Цю стадію титрування проводять під час струшування вмісту досить швидко, щоб уникнути випаровування йоду. Потім додають 1–2 мл розчину крохмалю й титрують до зникнення синього фарбування, що не з'являється протягом 1–2 хв. Окислювання сульфіту натрію йодом протікає за реакцією



Надлишок йоду відтитровується тіосульфатом натрію за реакцією:



Концентрацію сульфіту натрію розраховують за такою формулою:

$$C = \frac{(V_1 K_1 - V_2 K_2) \cdot 0,0063 \cdot 1000}{V} = \frac{6,3(V_1 K_1 - V_2 K_2)}{V}, \text{ г/л}, \quad (5.1)$$

де V_1 – обсяг доданого розчину йоду, мл;

K_1 – корекційний коефіцієнт для приведення концентрації розчину йоду до точно 0,1 н розчину;

V_2 – обсяг витраченого на титрування розчину тіосульфату натрію; мл;

K_2 – корекційний коефіцієнт для приведення концентрації розчину тіосульфату до точно 0,1 н розчину;

V – обсяг аналізованої води, мл;

0,0063 – кількість сульфіту натрію еквівалентна 1 мл 0,1 н розчину тіосульфату (йоду).

Розраховану за формулою (5.1) концентрацію сульфіту натрію записуємо у графу 4.

У графі 5 таблиці розраховують зниження концентрації сульфіту для кожної проби відносно нульової проби.

У графі 6 розрахунок кількості доданого кисню роблять з огляду на те, що під час окислювання сульфіту один моль його (молекулярна вага 126) приєднує 0,5 моль кисню.

За даними дослідів на міліметровому папері будують графік залежності кількості внесеного кисню «а» (відкладаючи його значення по осі ординат) від часу аерації t , год (відкладаючи його значення по осі абсцис).

Таблиця 5.1 – Дані, отримані під час проведення експерименту

Номер дослідів	Час від початку відбору проб t , хв	Обсяг витраченого на титрування розчину тіосульфату натрію, мл	Концентрація сульфиту натрію у відібраній пробі C_t , г/л	Зниження концентрації сульфиту натрію в пробі, $\Delta C = C_0 - C_t$, г/л	Кількість кисню, внесеного у рідину $a = \frac{\Delta C \cdot 16}{126}$, г/л
1	2	3	4	5	6
0	–				
1	5				
2	15				
3	30				
4	45				
5	60				

На підставі, отриманої кривої залежності обчислюють швидкість внесення кисню V_0 , г/м³×год. Для цієї мети зручно за графіком взяти кількість внесеного кисню через 30 хв аерації, тобто a_{30} , тоді

$$V_0 = \frac{a_{30} \cdot 60 \cdot 1\,000}{30}, \text{ г/м}^3, \quad (5.1)$$

Множник 1 000 у цьому випадку взятий для перекладу з літрів у кубометри. Загальну кількість кисню, що може бути внесена в обсяг рідини в аеротенку протягом години, обчислюють за такою формулою:

$$q = V_0 \cdot V_{\text{аер}}, \text{ г/год.} \quad (5.2)$$

Обсяг розчину в аеротенку дорівнює 43 л або 0,043 м³.

Контрольні запитання

1. Від чого насамперед залежить інтенсивність й ефективність біохімічного очищення стічних вод?

2. За якого значення рН стічних вод біохімічне очищення найбільш ефективне?
3. Для чого очищені стічні води подаються з аеротенку у вторинний відстійник?
4. Для чого потрібна подача стисненого повітря в аеротенки?
5. Як здійснюють аерацію стічних вод у аеротенках?

Лабораторна робота № 6

Пом'якшення води реагентним та термічним методами

Мета роботи: оволодіти методикою визначення основних показників якості води під час термічного та реагентного методів пом'якшення води. У роботі необхідно визначити карбонатну жорсткість до, після кип'ятіння води та усунену жорсткість.

Теоретична частина

Поняття жорсткості води переважно визначають вмістом катіонів кальцію (Ca^{2+}) і магнію (Mg^{2+}), хоча всі двовалентні катіони тією чи іншою мірою впливають на жорсткість води. Оскільки їхній «внесок» у жорсткість мізерний, стандарт подає таке поняття: жорсткістю води називається сукупність властивостей, зумовлених концентрацією в ній лужно-земельних елементів, переважно іонів кальцію (Ca^{2+}) і магнію (Mg^{2+}).

У природних умовах солі кальцію і магнію знаходяться у воді внаслідок взаємодії розчиненого в ній оксиду карбону (IV) з карбонатними мінералами (доломітами, вапняками) і вивітрювання та розчинення гірських порід. Джерелом іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} є також стічні води, поверхневий стік з сільськогосподарських угідь, які обробляли мінеральними добривами, що містять кальцій, мікробіологічні процеси, які відбуваються в ґрунтах, донних відкладеннях.

Жорсткість води – один з найважливіших її показників. Використання жорсткої води може сприяти протіканню небажаних процесів, які пов'язані з утворенням на поверхні споруд і технологічної апаратури парових котлів, систем водяного охолодження, трубопроводів щільних осадів, які зменшують теплообмін, забивають трубопроводи. Наявність осадів, перегрів систем, тріщини – все це може призвести до корозії металів інженерних споруд. Тому одним із найважливіших етапів водопідготовки є пом'якшення води, тобто видалення із неї тих продуктів, які обумовлюють жорсткість.

Розрізняють карбонатну, некарбонатну, кальцієву, магнієву та загальну

жорсткість.

Карбонатна жорсткість (J_K) зумовлена наявністю у воді гідрокарбонатів кальцію $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ і магнію $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Її ще називають тимчасовою, тому що карбонатної жорсткості води можна позбутися кип'ятінням.

Некарбонатна жорсткість (J_{HK}) зумовлена наявністю кальцієвих і магнієвих солей сильних кислот (CaCl_2 , MgCl_2 , CaSO_4 , MgSO_4). Її ще називають постійною твердістю.

Кальцієва жорсткість (J_{Ca}) зумовлена наявністю солей кальцію.

Магнієва жорсткість (J_{Mg}) зумовлена наявністю солей магнію.

Загальна жорсткість ($J_{заг}$) – це сума кальцієвої і магнієвої жорсткості:

$$J_{заг} = J_{Ca} + J_{Mg}$$

або
$$J_{заг} = J_K + J_{HK}.$$

Кількісно жорсткість води визначають сумою молярних концентрацій еквівалентів іонів кальцію і магнію. Одиниця виміру жорсткості води – мілімоль на літр (ммоль/л) або мг-екв/л.

Для пом'якшення води використовують різні методи, основними з яких є термічний, реагентний та іонообмінний.

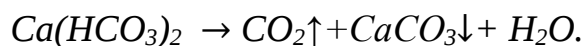
Термічне пом'якшення засноване на нагріванні води, її дистиляції або виморожуванні.

Реагентне пом'якшення води об'єднує методи, суть яких полягає в зв'язуванні іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} реагентами в нерозчинні речовини, що легко видаляються з води.

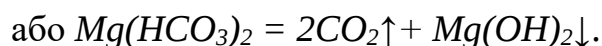
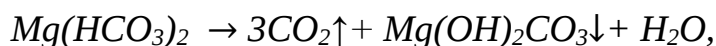
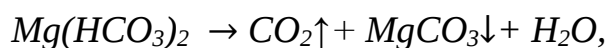
Іонний обмін заснований на фільтруванні води крізь спеціальні матеріали (іоніти), які обмінюють іони Na^+ і H^+ , що входять до їх складу, на іони Ca^{2+} і Mg^{2+} , які містяться у воді.

Термічний метод пом'якшення води

Під час нагрівання води розчинена в ній вільна рівноважна карбонатна кислота видаляється, що призводить до зміщення рівноваги в бік утворення карбонатів:



Щодо гідрокарбонату магнію, то спочатку утворюється досить добре розчинний карбонат, який у разі тривалого кип'ятіння гідролізується з утворенням малорозчинного гідроксиду магнію:



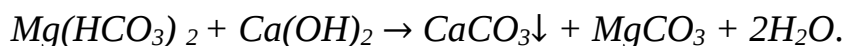
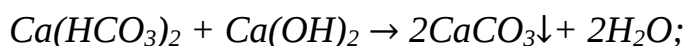
Під час кип'ятіння жорсткість води зменшується на величину карбонатної жорсткості, тому її називають тимчасовою.

Реагентний метод пом'якшення води

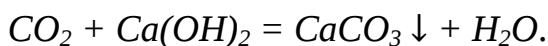
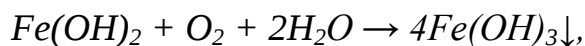
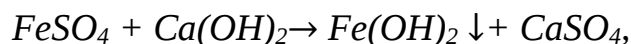
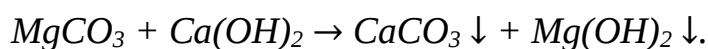
За тим, який реагент використовують для пом'якшення води розрізняють такі способи: вапняний (гашене вапно), содовий (кальцинована сода), натронний (гідроксид натрію) і фосфатний (тринатрійфосфат). Найбільш економно застосовувати комбінований засіб, бо він забезпечує усунення тимчасової і постійної жорсткості, а також зв'язування CO_2 , видалення іонів заліза, коагулювання органічних й інших домішок. Одним з таких способів є вапняно-содовий у поєднанні з фосфатним.

Процес пом'якшення

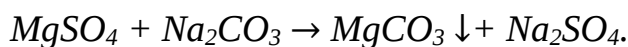
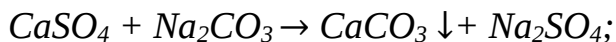
Обробка води гашеним вапном для усунення карбонатної (тимчасової) жорсткості, видалення іонів заліза і зв'язування CO_2 :



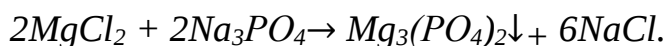
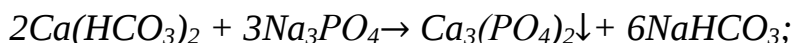
У разі надлишку вапна карбонат магнію взаємодіє з ним з утворенням гідроксиду магнію, що випадає в осад:



Обробка води кальцинованою содою для усунення некарбонатної (постійної) жорсткості:



Обробка води тринатрійфосфатом для більш повного осадження катіонів Ca^{2+} і Mg^{2+} (розчинність фосфатів кальцію і магнію мізерно мала, що забезпечує високу ефективність фосфатного метода):



У рамках роботи виконаємо визначення усуненої та залишкової карбонатної жорсткості води

Реактиви, прилади, посуд

Соляна кислота – 0,1 н розчин (готується з фіксаналу).

Метиловий оранжевий – 0,1 % розчин (1 г метилового оранжевого розчиняють у 1 л дистильованої води).

Експериментальна частина

До 100 мл досліджуваної води, відміряної циліндром у конічну колбу на 200 мл, додають 2–3 краплі розчину метилового оранжевого до появи жовтого забарвлення. Потім титрують 0,1 н розчином соляної кислоти до переходу з жовтого кольору у золотисто-рожевий. Записують об'єм 0,1 н розчину соляної кислоти, витраченої на титрування.

$$Ж_k = \frac{V_{HCl} \cdot N \cdot 1\,000}{V}, \text{ мг-екв/л,} \quad (6.1)$$

де V_{HCl} – об'єм розчину соляної кислоти, витраченого на титрування взятого об'єму досліджуваної води, мл;

V – об'єм проби води, мл;

N – нормальність розчину соляної кислоти.

Виконуємо кип'ятіння води. При цьому жорсткість води зменшується на величину карбонатної жорсткості.

Потім ще раз титруємо воду після кип'ятіння і записуємо об'єм соляної кислоти, витраченої на титрування води після кип'ятіння.

Ще раз розраховуємо жорсткість води

$$J_{\text{к.залишок}} = \frac{V_{2\text{HCl}} \cdot N \cdot 1\,000}{V}, \text{ мг-екв/л.} \quad (6.2)$$

Усунена жорсткість

$$J_{\text{к.усун}} = \frac{(V_{1\text{HCl}} - V_{2\text{HCl}}) \cdot N \cdot 1\,000}{V}, \text{ мг-екв/л.} \quad (6.3)$$

Отримані дані заносимо у таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати визначень

№ з/п	V _{H2O} , Мл	N _{HCl} , мг-екв/л	V _{1HCl} , мл	V _{2HCl} , мл	J _к , мг-екв/л	J _{к.залишок} , мг-екв/л	J _{к.усун} , мг-екв/л
	100	0,1					

Контрольні запитання

1. Які основні іони спричиняють жорсткість води?
2. Які хімічні реагенти найчастіше використовуються для пом'якшення води?
3. Як працює процес іонообмінного пом'якшення?
4. Який принцип термічного пом'якшення?
5. Як нагрівання води впливає на розчинність солей кальцію та магнію?
6. Які прилади або обладнання використовуються для термічного пом'якшення?

Лабораторна робота № 7

Визначення масової концентрації ортофосфатів у стічних водах

Мета роботи: визначення концентрації ортофосфатів у стічних водах.

Теоретична частина

Метод вимірювання масової концентрації розчинених ортофосфатів базується на реакції взаємодії фосфат-іонів з амонієм молібденовокислим у кислому середовищі за наявності калію сурм'яновиннокислого з утворенням фосфорномолібденової гетерополікислоти, яка в разі додавання відновника перетворюється на інтенсивно забарвлену синю сполуку – «молібденову синь». Забарвлення за кімнатної температури розвивається протягом 10–15 хв і є стабільним протягом 24 год у разі використання в якості відновника кислоти аскорбінової.

Фотометричним методом вимірюють оптичну густину забарвленого розчину. Оптимальним для вимірювання оптичної густини є використання червоного світлофільтра з довжиною хвилі $\lambda = 710$ нм або найближчих до них світлофільтрів.

За градууювальною характеристикою визначають масову концентрацію розчинених ортофосфатів у пробі води. Розрахунковим методом встановлюють масову концентрацію розчинених ортофосфатів у вихідній пробі. Чутливість методу: 0,05 мг/дм³ розчинених ортофосфатів.

Реактиви, прилади, посуд

1. Фотоелектроколориметр КФК-3 укомплектований кюветами з робочою довжиною 50 мм і червоним світлофільтром.
2. Колби мірні 50 см³.
3. Піпетка мірна градуйована 1–10 см³.
4. Циліндри мірні 50 см³, 100 см³.

5. Державний стандартний зразок складу розчину фосфат-іонів з атестованим значенням масової концентрації фосфат-іонів $0,5 \text{ мг/см}^3$.
6. Амоній молібденовокислий 2,8 %.
7. Кислота аскорбінова 2,1 %.
8. Калій сурм'яновинно-кислий 0,07 %.
9. Кислота сульфамінова.
10. Кислота сірчана $2,5 \text{ моль/дм}^3$.
11. Вода дистильована.

Експериментальна частина

Приготування «змішаного реактиву»

У мірний циліндр місткістю 250 мл додають 125 мл розчину концентрованої кислоти сірчаної, мірними циліндрами додають 50 мл розчину амонію молібденовокислого, 50 см^3 розчину кислоти аскорбінової, 25 мл розчину калію сурм'яновиннокислого і вміщують наважку кислоти сульфамінової масою $(2,5 \pm 0,1) \text{ г}$. Суміш перемішують до розчинення кислоти сульфамінової. Розчин придатний до застосування в разі зберігання у закоркованій склянці в умовах лабораторії протягом 24 год.

Побудова градувальної характеристики

У мірні колби місткістю 50 мл послідовно за допомогою піпеток відміряють необхідний об'єм стандартного розчину з масовою концентрацією розчинених ортофосфатів $2,5 \text{ мг/дм}^3$ (згідно з табл. 7.1), мірним циліндром додають води дистильованої по 30–40 мл, перемішують, піпеткою додають по 5 мл «змішаного реактиву» і доводять об'єми розчинів до позначки водою бідистильованою, ретельно перемішують.

Одночасно готують холосту пробу: у мірну колбу місткістю 50 мл мірним циліндром відміряють води дистильованої 30–40 мл, піпеткою до дають 5 мл «змішаного реактиву» і доводять об'єм розчину до позначки водою дистильованою, ретельно перемішують.

Відомості про об'єми стандартного розчину для приготування розчинів для побудови градувальної характеристики, відповідні масові концентрації розчинених ортофосфатів у цих розчинах наведено у таблиці 7.1. За допомогою фотоелектроколориметра, з використанням червоного світлофільтра $\lambda = 710$ нм та кювет з робочою довжиною 50 мм вимірюють оптичну густину градувальних розчинів відносно холостої проби, яка готується з дистильованої води з додаванням «змішаного реактиву».

За методом найменших квадратів розраховують параметри лінійної градувальної характеристики: оптична густина, $D(710)$, масова концентрація розчинених ортофосфатів – C , мг/дм³, для діапазону градування від 0,05 мг/дм³ до 0,50 мг/дм³ включно.

Таблиця 7.1 – Відомості про розчини для побудови градувальної характеристики

Номер розчину	Об'єм вихідного розчину, мл	Масова концентрація розчинених ортофосфатів у розчині для побудови градувальної характеристики, мг/дм ³
1	1,00	0,05
2	1,50	0,075
3	2,00	0,10
4	5,00	0,25
5	10,00	0,50

Виконання вимірювань

У мірну колбу місткістю 50 мл вміщують аліквотний об'єм проби води, розводять дистильованою водою приблизно до 40 мл, піпетками додають 5 мл «змішаного реактиву» або окремо 1 см³ розчину кислоти аскорбінової, 0,5 мл розчину кислоти сульфамінової, 0,5 мл розчину калію сурм'яновиннокислого, 1 мл розчину амонію молібденовокислого, 2,5 мл розчину кислоти сірчаної. Об'єм розчину доводять до позначки дистильованою водою, ретельно перемішують і залишають на 10–15 хвилин для розвинення

забарвлення (за температури довколишнього повітря нижче 15 °С забарвлення може не розвиватися або розвиватися довше, ніж 15 хв).

Одночасно готують холосту пробу. Для цього у мірну колбу місткістю 50 мл вміщують приблизно 40 мл дистильованої води, додають ті ж самі реактиви і у тих же кількостях, які були використані для підготовки проб.

Якщо проба має чітку забарвленість або дещо каламутна навіть після фільтрування, додатково готують пробу для врахування забарвленості. Для цього піпеткою відбирають таку аліквоту проби (попередньо розведеної проби), яку використовували під час виконання операцій, вміщують її у мірну колбу місткістю 50 мл, розводять дистильованою водою приблизно до 40 мл, піпетками додають 1 мл розчину кислоти аскорбінової, 0,5 мл розчину кислоти сульфамінової, 2,5 мл розчину кислоти сірчаної. Об'єм розчину доводять до позначки дистильованою водою, ретельно перемішують.

Виконання вимірювань проводять через 10–15 хв після завершення процедури пробо-підготовки.

Вимірюють оптичну густину отриманих розчинів за допомогою фотоелектроколориметра КФК-3 із червоним світлофільтром ($\lambda = 710$ нм) (розчин порівняння – холоста проба). Використовують кювети з робочою довжиною 50 мм.

Результат вимірювання масової концентрації ортофосфатів у вихідній пробі, мг/дм³, знаходять за такою формулою:

$$C = \frac{C_{\text{гр}} \cdot K \cdot 50}{V_{\text{заг}}}, \quad (5.1)$$

де $C_{\text{гр}}$ – масова концентрація розчинених ортофосфатів у розчині, знайдена за допомогою градувальної характеристики, мг/дм³;

k – ступінь попереднього розведення вихідної проби ($k = 1$, якщо попереднє розведення вихідної проби не проводили);

50 – об'єм мірної колби, що використовується для аналізу, мл;

V – загальний об'єм розчину (попередньо розведеної проби), взятий для аналізу, мл.

Результати вимірювання масової концентрації розчинених ортофосфатів записують у таблицю 7.2

Таблиця 7.2 – Результати вимірювання масової концентрації розчинених ортофосфатів

Номер проби	Об'єм проби для аналізу, см ³	Оптична густина	Графічне значення концентрації ортофосфатів, мг/дм ³	Розрахункове значення концентрації ортофосфатів, мг/дм ³

Контрольні запитання

1. Назвіть джерела надходження амонійного азоту до природних джерел.
2. Який реагент необхідно додавати до проби задля усунення впливу заліза, що заважає?
3. Які методи застосовують для визначення катіонів амонію?
4. Які величини ГДК аміаку та іонів амонію у воді водойм та питній воді?
5. Назвіть джерела надходження фосфатів до природних вод.
6. На якій реакції базується метод вимірювання масової концентрації розчинених ортофосфатів?
7. Навіть величини ГДК ортофосфатів у воді водойм та питній воді?

Лабораторна робота № 8

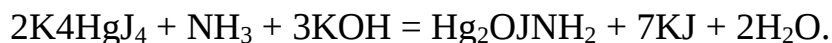
Визначення масової концентрації амоній-іонів у стічних водах

Мета роботи: визначення концентрації амоній-іонів у стічних водах.

Теоретична частина

Найпростішим методом визначення амонійного азоту є фотометричний метод із використанням реактиву Неслера.

Запропонований метод визначення масової концентрації катіона амонію заснований на його реакції з реактивом Неслера з утворенням забарвленої в лужному середовищі у жовтий колір сполуки



Заважальний вплив заліза та солей жорсткості усувають додаванням до проби сегнетової солі.

Фотоколориметричним методом вимірюють оптичну густину забарвлених розчинів. Оптимальним для вимірювання оптичної густини є використання довжини хвилі $\lambda = 440$ нм. За градууювальною характеристикою визначають масову концентрацію амоній-іонів у пробі води. Дистильовану воду перевіряють на наявність аміаку та іонів амонію (до 5 см³ води додають 0,1 см³ реактиву Неслера).

У разі виявлення аміаку (з'являється жовтувате забарвлення) дистильовану воду пропускають через колонку з активованим вугіллям, катіонітом у Н-формі або кип'ятять у колбі до зменшення об'єму на 1/3. Чутливість методу 0,05 мг/дм³ іонів амонію.

Реактиви, прилади, посуд

1. Фотоколориметр КФК-3.
2. Мірні колби місткістю 50 см³.
3. Циліндри місткістю 50 см³, піпетки 1–10 см³;
4. Реактив Неслера.

5. Сегнетова сіль 50 % розчин.
6. Державний стандартний зразок складу розчину амоній-іонів 1 мг/см³.
7. Катіоніт КУ-2-8.
8. Скляний хімічний посуд.
9. Вода дистильована.

Експериментальна частина

Побудова градуювальної характеристики

У мірні колби місткістю 50 мл піпеткою відміряють необхідний об'єм вихідного розчину з масовою концентрацією амоній-іона 5 мг/дм³ згідно з таблицею 8.1, додають 0,5 мл розчину сегнетової солі, перемішують і додають 1 мл реактиву Неслера, доводять об'єм розчину до позначки дистильованою водою і ретельно перемішують. Через 10 хв вимірюють оптичну густину розчину на фотоелектроколориметрі з довжиною хвилі $\lambda = 440$ нм у скляних кюветах із довжиною 50 мм відносно холостої проби (дистильована вода з додаванням реактивів для аналізу).

Таблиця 8.1 – Дані для побудови градуювального графіка та визначення вмісту амонію у пробі

Номер розчину	Об'єм стандартного розчину $V_{\text{NH}_4^+}$, мл	Масова концентрація амоній-іонів у розчині $C_{\text{NH}_4^+}$, мг/дм ³
1	1,0	0,1
2	2,0	0,2
3	4,0	0,4
4	6,0	0,6
5	8,0	0,8
6	10,0	1,0

Градуювальну характеристику будують графічно в координатах: масова концентрація амоній-іонів у мг/дм³ (вісь X) – оптична густина розчину (вісь Y).

Виконання вимірювань

Відбирають пробу досліджуваної води об'ємом 50 мл у мірну колбу на 50 мл, додають 0,5 мл розчину сегнетової солі і перемішують. Після чого

додають 1 мл реактиву Неслера, перемішують і через 10 хв за допомогою фотоелектроколориметра з довжиною хвилі $\lambda = 440$ нм вимірюють оптичну густину розчину в скляних кюветах з довжиною $l = 50$ мм см відносно дистильованої води. Холостий розчин: вимірюють оптичне поглинання проби досліджуваної води без додавання реагентів.

За градувальним графіком знаходимо графічне значення масової концентрації амоній-іона у мг/дм³. Масову концентрацію амоній-іона, мг/дм³, знаходимо за такою формулою:

$$C_{NH_4^+} = \frac{C_{гр} \cdot K \cdot 50}{V_{заг}}, \quad (8.1)$$

де $C_{гр}$ – масова концентрація амоній-іона у розчині, знайдена за допомогою градувальної характеристики, мг/дм³;

k – ступінь попереднього розведення вихідної проби ($k = 1$, якщо попереднє розведення вихідної проби не проводили);

50 – об'єм мірної колби, що використовується для аналізу, мл;

$V_{заг}$ – загальний об'єм розчину (попередньо розведеної проби), взятий для аналізу, см³;

Результати вимірювання масової концентрації амоній-іона записуємо у таблицю 8.2.

Таблиця 8.2 – Результати вимірювання масової концентрації амоній-іона

Номер проби	Об'єм проби для аналізу, мл	Оптична густина	Графічне значення концентрації амоній-іона, мг/дм ³	Розрахункове значення концентрації амоній-іона, мг/дм ³

Аналіз одержаних результатів.

Висновок за результатами.

Контрольні запитання

1. Як утворюються органічні речовини у природних водах?
2. Які джерела надходження іонів амонію у природні води?

3. Які нормативні показники вмісту амонію у водах різного походження?
4. На чому ґрунтується фотометричне визначення іонів амонію з реактивом Неслера?
5. Які фактори мають заважальний вплив на процес аналізу? Їх усунення.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Чинний від 01-01-2014. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 214 с.
2. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки : навч. посіб. / О. А. Василенко, С. М. Епоян, Г. М. Смірнова [та ін.]. – Київ : КНУБА ; Харків : ХНУБА, 2012. – 572 с.
3. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. посіб. / В. А. Ковальчук. – Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. – 622 с.
4. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко, І. М. Астрелін, М. Т. Брик. – Київ : Лібра, 2000. – 552 с.
5. Правила приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України, затверджені наказом Державного комітету будівництва та архітектури України від 19.02.02 № 37, зареєстровані в Міністерстві юстиції України 26.04.02 за № 403/6694.
6. Степова Н. Г. Аналіз вітчизняних нормативних актів щодо вмісту сполук фосфору у стічних і природних водах та їх вплив на довкілля / Н. Г. Степова, О. М. Кукушка // Меліорація і водне господарство. – 2014. – № 101. – С. 105–112.
7. Обробка технологічних рідин та стічних вод: навч. посіб. / С. С. Рижков [та ін.] ; Нац. ун-т кораблебудування ім. адмірала Макарова, Херсон. філ. – Херсон : Видавництво «Грін Д. С.», 2017. – 315 с.
8. Запольський, А. К. Фізико-хімічна теорія коагуляційного очищення води / А. К. Запольський ; Національний університет харчових технологій. – Київ: НУХТ, 2009. – 39 с.
9. Водопостачання та водовідведення : підручник / В. О. Орлов, Я. А. Тугай, А. М. Орлова. – Київ : Знання, 2011. – 359 с.

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
до виконання лабораторних робіт
із навчальної дисципліни

«ОЧИСНІ СПОРУДИ ВОДОВІДВЕДЕННЯ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм
навчання зі спеціальності
G19 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна
інженерія»)*

Укладачі: **АЙРАПЕТЯН** Тамара Степанівна,
ЛУКАШЕНКО Сергій Вікторович

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

Редактор *Б. О. Хільська*

Комп'ютерне верстання *Т. С. Айрапетян*

План 2026, поз. 67М

Підп. до друку 28.04.2026. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 3,1

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 8386 від 14.07.2025.