

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

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**  
**до виконання лабораторних робіт**  
**із навчальної дисципліни**  
**«ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД»**

*(для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
за спеціальністю  
194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2021**

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Технологія очистки стічних вод» (для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 40 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. Т. С. Айрапетян

Рецензент

**І. М. Чуб**, 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 27.08.2020.*

## 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 біохімічного споживання кисню (БСК).....	9
Лабораторна робота № 2 Визначення оптимальної дози коагулянту.....	13
Лабораторна робота № 3 Гідробіологічний аналіз активного мулу....	18
Лабораторна робота № 4 Визначення швидкості надходження кисню в аеротенки.....	26
Лабораторна робота № 5 Визначення масової концентрації амоній- іонів у стічних водах.....	31
Лабораторна робота № 6 Визначення масової концентрації ортофосфатів у стічних водах.....	34
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	39

## ВСТУП

Стічна рідина має складний склад забруднень органічного і мінерального походження, що перебувають у завислому, колоїдному й розчиненому станах. Ці забруднення під впливом фізичних, хімічних і біохімічних процесів постійно піддаються зміні під час руху стічних вод по очисним спорудам до місця випуску. У зв'язку із цим при проектуванні очисних споруд водовідведення важливо знати, у якому стані перебувають забруднення в стоках. У той же час 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 при знанні складу й 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, що дозволяють інтенсифікувати процес біологічного очищення.

Знання методик визначення складу забруднень стічних вод й активного мулу в біологічних спорудах сприяє більш глибокому вивченню курсу «Технологія очистки стічних вод».

Лабораторні заняття допомагають здобувачам розширити теоретичні знання, глибше вивчити сутність 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 протікають в установці та порядок виконання роботи.

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

## Загальні заходи безпеки

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

Застосовуваний у лабораторії хімічний посуд у більшості випадків скляний, тонкостінний і тендітний, вимагає дбайливого користування, тому що при недбалому поводженні з ним можливі різні поранення (порізи рук склом). При роботі хімічний посуд слід тримати в руках обережно (не стискати сильно пальцями). При його митті необхідно стежити за тим, щоб не пробити стінки чи дно. У випадку невеликого порізу слід видалити осколки, змити кров навколо рани ватним тампоном, змоченим розчином марганцевокислого калію, змазати йодом і зав'язати бинтом чи заліпити лейкопластиром. При глибоких артеріальних ранах після видалення скла руку слід 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 приходится працювати в лабораторії. Багато з них можуть бути хімічною отрутою, і при необережному поводженні слугувати причиною хімічних опіків і отруєнь. До таких речовин відносяться, 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. При влученні сильних кислот на шкіру варто негайно змити облите місце водою, а потім 5 % розчином двовуглекислої соди. При опіку лугами також рекомендується обмити уражене місце водою, а потім 2 % розчином оцтової кислоти. Якщо кислота пролилася на підлогу, її слід засипати піском, потім зібрати його і винести з приміщення, а облите місце промити розчином соди.

При роботі з реактивами слід завжди пам'ятати, що наповнення піпеток

для виміру малих обсягів кислот, лугів і інших речовин виконують тільки за допомогою гумової груші. Засмокткування ротом категорично **забороняється!**

Усю роботу зі шкідливими й отруйними речовинами необхідно проводити у витяжних шафах.

Нагрівальні прилади слід встановлювати на теплоізоляційні підставку. При необережній роботі можливі теплові опіки від самого приладу і нагрітого хімічного посуду. Не рекомендується брати гарячий посуд руками. Нагріті предмети беруть щипцями, колботримачами, джгутом з рушника. Необхідно уважно стежити за роботою нагрівальних приладів, не слід залишати їх без догляду. У випадку опіків першого ступеня (червоність) на обпалене місце необхідно накласти вату, змочену розчином марганцевокислого калію, концентрація якого мусить бути тим більше, чим сильніше опік. Можна використовувати і мазі від опіків. При опіках другого ступеня обпалене місце обробляють розчином марганцевокислого калію. При опіках 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 і ін.

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 приступати до 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 пари всіх органічних розчинників токсичні, особливо в великих концентраціях.

Заборонено проводити досліди 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 варто 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 розпоршуються 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 досвіду, планування етапів роботи, дотримання правил техніки безпеки.

При виконанні лабораторних робіт необхідно **чітко** дотримувати таких правил:

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

2. Приступати до виконання роботи можна тільки після бесіди з викладачем (допуск до лабораторної роботи), у процесі якої необхідно описати

основні етапи експерименту, зазначивши міри 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 розпису провідного викладача зазначається в робочому журналі студента.

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

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

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

#### *Послідовність оформлення лабораторного журналу*

Дата.

Заголовок: лабораторна робота №, назва лабораторної роботи.

Коротке формулювання мети роботи.

Устаткування, прилади, реактиви.

Хід роботи (методика визначення).

Схема лабораторної установки.

Таблиця вихідних даних і результатів.

Формули та розрахунки.

Спостереження.

Висновки (вносяться після виконання роботи).



## 2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

#### Визначення біохімічного споживання кисню (БСК)

*Мета роботи* - освоєння методики визначення біохімічного споживання кисню та оцінки вмісту розчиненого кисню у питній та природній воді.

#### *Загальні відомості*

Біологічна потреба кисню (БСК) – найважливіший параметр якості очищення води. За допомогою показника БСК характеризується вміст у воді органічних домішок.

Таким чином, БСК називається кількість кисню, що витрачається на біохімічне окиснення органічних речовин, виражається в мг/л, г/м<sup>3</sup>. БСК визначається в пробі стічній води за температури 20 °С, попередньо відстояної протягом 2 годин, яка розведена водопровідною або іншою водою в стільки разів, щоб розчиненої рідини кисню вистачало не менш 3 мг/л, і залишають у термостаті до появи нітритів у кількості 0,1 мг/л. Це відбувається на 15-30 добу і супроводжується майже повним(99 %) споживанням кисню.

При визначенні БСК окислення органічних речовин відбувається розчиненим у воді киснем, а окислення здійснюють аеробні бактерії, для яких ці органічні речовини є повноцінним джерелом живлення. При цьому частина використаних органічних речовин витрачається на енергетичні потреби, а інша частина – на синтез тіла клітини. Органічні речовини, що використовуються на енергетичні потреби, окислюються клітиною до кінця, тобто до CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O, а азот перетворюється в амонійну сіль. Продукти окислення – метаболіти, виводяться із клітини у зовнішнє середовище. Реакції синтезу клітинної речовини також відбуваються за участю кисню. Кількість кисню, необхідна мікроорганізмам на весь цикл реакції синтезу і отримання енергії, і є власне БСК. В результаті життєдіяльності бактерій стічна вода очищається від вміщених у ній органічних домішок, однак у ній залишаються деякі органічні речовини, малодоступні чи взагалі недоступні бактеріям для засвоєння, і, крім цього, вода отримує нові забруднення - органічні чи неорганічні метаболіти.

Оскільки визначення БПК є біохімічним процесом, то природно, що на його хід впливають кількість і активність мікроорганізмів, температура, інтенсивність перемішування та інші чинники. Тому умови визначення БСК повинні бути так чітко окреслені, щоб отримані результати можна було порівнювати між собою. З цією метою прийнято, що інкубація здійснюється при температурі 20 °С, у темряві (для запобігання розвитку водоростей), мікроорганізми повинні бути пристосовані до розкладу органічних сполук, а їх кількість на початку інкубації повинна бути незначною, щоб забезпечити їх вільне розмноження.

За означенням, величина БСК не включає витрату кисню на нітрифікацію, тобто на окислення амонійного азоту спочатку до нітритів, а потім і до нітратів. Цей процес здійснюється під дією специфічних нітрифікуючих мікроорганізмів і починається тоді, коли переважна частина органічних речовин вже окислена, але все ж деяка частина – біологічно найбільш жорсткі, ще залишаються у розчині.

### ***Проведення експерименту***

#### *Обладнання і прилади*

- 1) тіосульфат натрію  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 0,01 н. розчин;
- 2) хлорид марганцю (II)  $\text{MnCl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ;
- 3) лужна суміш  $\text{KI} + \text{KOH}$ ;
- 4) соляна кислота концентрована (щільність 1,12);
- 5) крохмаль 1 % -вий розчин;
- 6) вода дистильована.
- 7) склянка з притертою пробкою місткістю 250 мл – 4 шт;
- 8) піпетки на 1 мл (2 шт.) і 5 мл;
- 9) колба конічна ємністю 500 мл (4 шт.);
- 10) бюретка на 100 мл;
- 11) склянка ємністю 100 мл. '

### *Підготовка води для проведення дослідів*

Перед проведенням аналізу на біохімічне споживання кисню заздалегідь визначають окиснюваність води: перманганатну (якщо вода містить незначну кількість органічних речовин), дихроматну (за умови високого вмісту органічних речовин, включно з тими, що важко окислюються).

Стічну воду відстоюють 2 години, розбавляють водою для розведення. Розведення розраховують діленням значення ХСК ( $\text{мг O}_2/\text{дм}^3$ ) на 4. Цей результат показує, у скільки разів треба розбавити воду, що аналізується. Без розведення визначають БСК, від  $0 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$  до  $6 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ . Вміст кисню в пробі після інкубації не має бути нижчим за 2-3 і вищим за 5-6  $\text{мг O}_2/\text{дм}^3$ .

Мінімальний об'єм відібраної проби - 10 мл; якщо потрібна менша кількість води, виконують ступінчасте розведення. Пробу відміряють і наливають у мірну колбу місткістю 500 мл, доливають до риски водою для розведення. Якщо проба розведена менше, ніж 1:20, її слід термостатувати. Пробу в колбі перемішують.

### ***Калібровка посуду***

Для цього на технічних вагах визначають вагу (з точністю до 0,01 г) порожньої склянки з пробкою, а потім з дистильованою водою при температурі води  $20^\circ\text{C}$ . Різниця в масах відповідає їх обсягу.

Склянки для визначення БСК споліскують і заповнюють доверху водою через лійку з гумовим наконечником для запобігання потрапляння бульбашок повітря (2 склянки з досліджуваною водою і 4 склянки з водою для розведення).

В одній склянці з аналізованою водою і в двох з водою для розведення відразу ж визначають концентрацію розчиненого кисню, в решті - через 5 діб. Ці склянки закривають пробками і ковпачками для гідрозатвору і залишають в термостаті на 5 діб.

У відкалібровану склянку, заповнену пробкою, вносять на дно по 1 мл розчину  $\text{MnCl}_2$  і розчину лужної суміші. Склянку обережно закривають (щоб уникнути попадання бульбашок повітря), перемішують перевертанням склянки 15 разів і ставлять для осадження утвореного осаду. Після цього склянку

обережно відкривають, вносять 2 - 3 мл НСІ (щільність 1,12) і рідину перемішують до повного розчинення осаду. Вміст склянки переливають у колбу, споліскують дистильованою водою. Титрують 0,01 н. розчином  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  в присутності 1 мл розчину крохмалю до зникнення синього забарвлення.

Вміст розчиненого у воді кисню  $X_{\text{O}_2}$ , (мг/дм<sup>3</sup>) визначають за формулою:

$$X_{\text{O}_2} = \frac{V_1 \cdot N_1 \cdot E \cdot 1000}{V_2 - V_3} \quad (1.1)$$

де  $V_1$  – обсяг розчину  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , який витраченого на титрування, мл;

$N_1$  – нормальність розчину  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ;

$E$  – еквівалент кисню, що дорівнює 8;

$V_2$  – обсяг склянки, мл;

$V_3$  – обсяг взятих для осадження реактивів, мл.

Через 5 діб визначаємо вміст розчиненого кисню в пробах. Об'єм проби для титрування модельних розчинів становить 50 мл.

Біохімічне споживання кисню за 5 діб обчислюють за формулою:

$$БСК_5 = \frac{X_0 - X_5 - БСК_{\text{розв}} \cdot 1000}{V}, \text{ мг } \text{O}_2/\text{дм}^3 \quad (1.2)$$

де  $БСК_{\text{розв}}$  – біохімічне споживання кисню води для розведення, мг  $\text{O}_2/\text{дм}^3$ :

$БСК_5 = X_{0 \text{ розв}} - X_{5 \text{ розв}}$ ;

$X_0$  – вміст розчиненого кисню в пробі води в 0-й день, мг  $\text{O}_2/\text{дм}^3$ ;

$X_5$  – вміст розчиненого кисню в пробі води на 5-й день, мг  $\text{O}_2/\text{дм}^3$ ;

$V$  – об'єм проби, взятої на розведення, мл;

$X_{0 \text{ розв}}$  – вміст розчиненого кисню у воді, що іде на розведення проби, в 0-й день, мг  $\text{O}_2/\text{дм}^3$ ;

$X_{5 \text{ розв}}$  – вміст розчиненого кисню у воді, що іде на розведення проби, на 5-й день, мг  $\text{O}_2/\text{дм}^3$ .

### **Контрольні запитання**

1. Охарактеризуйте показник  $БСК_{\text{повн}}$  та  $БСК_5$ .
2. Назвіть оптимальне відношення  $БСК$  та  $ХСК$ .
3. Наведіть формулу визначення вмісту розчиненого у воді кисню.

4. Наведіть формулу визначення біохімічного споживання кисню за 5 діб.
5. Проаналізуйте зв'язок отриманого значення БСК та якості води.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### Визначення оптимальної дози коагулянту

#### 1 Загальні рекомендації

Метою роботи є дослідження коагулювання, побудова графіків та встановлення за досліджуваними даними оптимальної дози коагулянту.

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, та ін.

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

– пряма реакція:  $Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \leftrightarrow 2Al(OH)_3 + 3H_2SO_4$

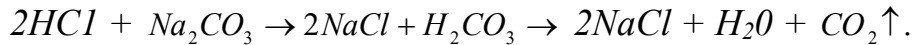
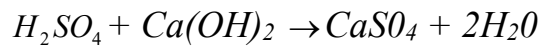
– зворотна реакція:  $FeCl_3 + 3H_2O \leftrightarrow Fe(OH)_3 + 3HCl$ .

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



Якщо лужність оброблюваної води невелика, то кислота, яка утворюється при гідролізі 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 веденням  $Ca(OH)_2$  чи  $H_2CO_3$ :



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

Гумусові речовини, що надають воді забарвленість, та частки порід і ґрунтів, що визначають її каламутність, являють собою 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 й інших завислих часток.

Разом з тим 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 частками домішок. Ці «мостики» як би «зшивають» завислі частки між собою, утворюючи так звану зверхміцеллярну структуру. Остання, під впливом гідродинамічних сил потоку розривається в найбільш слабких місцях, наслідком чого є утворення мікропластівців, які потім збільшуються при взаємних зіткненнях. 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 град. при мінімальній її каламутності та доброму утворенні 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.

## **2. Схема установки**

Установка складається з магнітної мішалки 1 і колби 2 з 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 клемма. 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 включення електрообігріву. Для запобігання від саморозмагнічування магніту до мішалки додається сталеве кільце, яке концентрично накладають на підставу корпусу при вимкненому апараті.

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 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 літрі води); 5% розчин  $NaOH$ .

## **3. Проведення роботи**

Оптимальну дозу коагулянту визначають для двох умов:

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

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

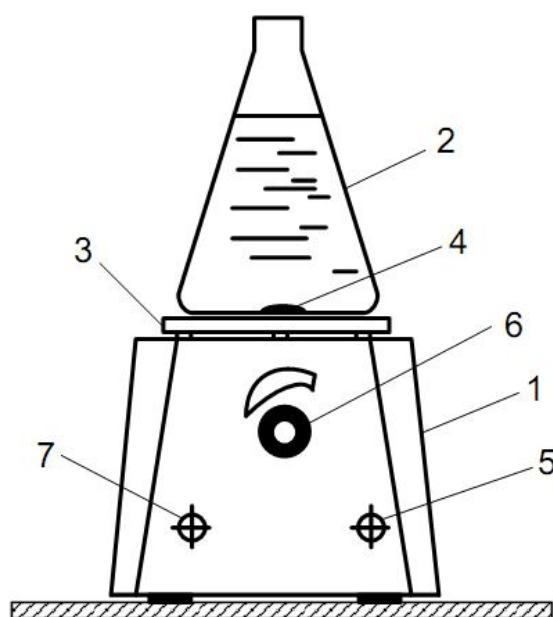


Рисунок 1.1 – Схема установки:

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

1. 200 мл випробуваної води (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

№ проби	2	3	4	5	6	7
Кількість розчину коагулянту, що було добавлено в 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 включають секундомір.

2. Досліди з підлуговуванням 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. з кожного циліндра відбирають відстояний розчин, у якому визначають оптичну щільність проби на фотоколориметрі. За даними значень оптичної щільності можна одержати порівняльні дані про каламутність води залежно від дози коагулянту. При відстоюванні води в циліндрах відзначають час початку утворення пластівців, час початку осідання, а також вид пластівців (пухкі, великі, дрібні).

### **Обробка результатів спостережень**

Записують умови проведення дослідів:

Кількість вихідної води для кожного дослідів \_\_\_\_\_ мл

Оптична щільність вихідної води \_\_\_\_\_

Тривалість перемішування проби води \_\_\_\_\_ хв

Тривалість відстоювання \_\_\_\_\_

Умови проведення дослідів	Номер проби	Кількість введеного коагулянту, мл	Доза коагулянту, мг/л	Час початку утворення пластівців, хв	Час початку осідання пластівців, хв	Оптична щільність води після дослідів
Без підлогування						
З 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 підлогування для досліджуваної води.

Оптимальною дозою коагулянту вважається така доза, коли збільшення кількості доданого коагулянту понад цієї дози 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 № 3

### Гідробіологічний аналіз активного мулу

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

### Загальні відомості. Склад біоценозу активного мулу

На даний час 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 слід враховувати, що екосистема активного мулу відрізняється від екосистем природних водойм через особливості технології очищення стічних вод (постійна рециркуляція активного мулу, інтенсивна аерація та ін.)

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

Активний мул має вигляд пластівців бурого кольору, які при відстоюванні мулової суміші в аеротенку випадають в осад. Під мікроскопом видно, що пластівці активного мулу складаються в основному 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 становлять основну частину активного мулу.. Переважна більшість бактерій – одноклітинні організми, які можуть мати кулясту, паличкоподібну й звиту форми (рис. 3.1, рис. 3.2). Крім одноклітинних

бактерій, в активному мулі розвиваються в невеликій кількості нитчасті бактерії (рис. 3.3), дріжджі й окремі нитки цвілевих грибів.

Мікрофауна активного мулу представлена в основному одноклітинними - найпростішими різних типів, класифікація яких заснована на способах руху. До найпростішого ставляться представники саркодових, безбарвних джгутикових, а також інфузорій в'їчастих.

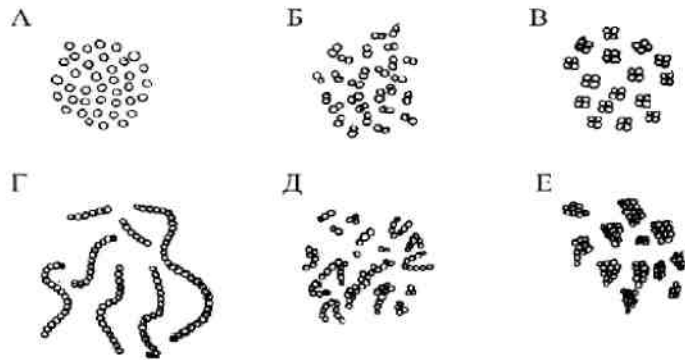


Рисунок 3.1 – Кулясті форми бактерій:

А – мікрококи; Б – дилококи; В – тетракоки; Р – стрептококи;  
Д – стафілококи; Е – сарцини.

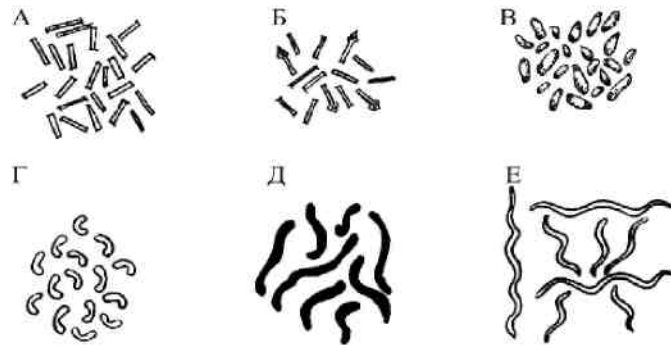


Рисунок 3.2 – Паличкоподібні і покручені форми бактерій:

А – неспорова паличка; Б, В – спорова паличка; Р – вібріони; Д – спірили;  
Е – спірохети

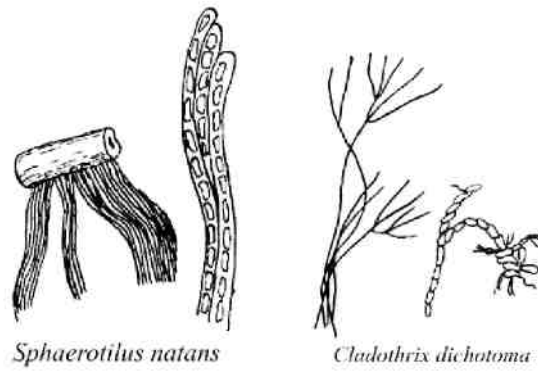


Рисунок 3.3 – Нитчасті бактерії

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

Бактеріям належить провідна роль у переробці розчинених органічних речовин. Разом з тим, харчуючись тонкодиспергованими суспензіями, 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 кисневому 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 надходжуваних на очищення забруднюючих речовин.

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 [3].

Про якість роботи аеротенка можна судити за складом біоценозу активного мулу при різних режимах роботи аеротенка.

Задовільно працюючий мул характеризується більшою розмаїтістю найпростіших за видовим складом при невеликій кількісній перевазі якогонебудь із видів. Рідко зустрічаються джгутикові й дрібні амеби. Постійно присутні пузовійчасті й кругловічасті 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 при надмірно тривалій 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 справляється із надходжуваними забрудненнями. Біоценоз мулу характеризується малою розмаїтістю видів при кількісній перевазі двох-трьох з них. У цих мулах спостерігається велика кількість безбарвних джгутикових, дрібних амеб й інших дрібних інфузорій. Мул забруднений різноманітними включеннями: органічними аморфними частками, 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 викликається тим, що вид бактерій володіє дуже розвинутою поверхнею, що сприяє поганому осіданню активного мулу й виносу його із вторинного відстійника.

Методика проведення оцінки технологічного процесу очищення води за стані активного мулу включає наступні етапи:

1. Підготовка посуду, предметних і покривних стекол.
2. Відбір проб.
3. Визначення гідрохімічних показників якості стічних вод (температура, зміст кисню, лужність, мутність, прозорість, завислі речовини, домішки й ін.).

#### 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 й т.п.);
- 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 по групах;
- підсумкова оцінка біоценозу, віднесення 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, більше дрібні і роздроблені, але не повинні містити неперероблених включень. Поява включень свідчить про погіршення роботи аеротенка.

2. Мікрофлора. При роботі аеротенка на повне очищення в рідині присутні в невеликій кількості вільноплаваючі дрібні рухливі палички. Поява великих паличкоподібних і звитих бактерій зазвичай пов'язана з погіршенням якості очищення. Нитчасті бактерії в невеликій кількості не впливають на якість активного мулу, але при цьому завжди є небезпека спалаху їх розвитку. Гриби в аеротенку, як правило, відсутні.

3. Мікрофауна. При гарній роботі аеротенка в ньому переважають інфузорії й інші спіралевійкові, а також круглівійкові.

### **Реактиви та обладнання:**

- 1) мікроскоп;
- 2) набір піпеток, у тому числі 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 %-й водяний розчин;
- 9) йод 0,3 % -вий водяний розчин, для мікроскопування джгутикових;
- 10) гліцерин для мікроскопування хробаків і коловерток;
- 11) спирт етиловий 96 %-вий для фіксації організмів.

### **Порядок і методика проведення аналізу**

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

Рідку пробу переливають у широкогорлу банку, заповнюють її на половину обсягу й не закривають пробкою. негайно переносять у лабораторію й приступають до аналізу не пізніше чим через 20-30 хв з 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 в стерильні пробірки в кількості 10–20 мл для відділення активного мулу від рідини, що очищується. Після 2–3 хв відстоювання зразки активного мулу піддаються мікроскопуванню.

### **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 слід сильно відкривати діафрагму мікроскопа. Зручніше користуватися об'єктивом з малим збільшенням, а окуляром – з більшим.

При мікроскопуванні відзначають види мікроорганізмів, їхній фізіологічний стан, структуру мулу, наявність зооглей, включення мінеральних органічних часток і сміття. При визначенні 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 осмієво кислоти й витримують протягом декількох секунд щільно притиснутим до горлечка склянки. Потім розглядають препарат під покривним склом при великому збільшенні.

Джгутики, зокрема добре видні в розчині йоду. Спостерігаючи під мікроскопом за тим, щоб найпростіші залишалися в полі зору, простягають під покривним склом смужки фільтрувального паперу, змоченої 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 при двох-трикратному повторенні зазначеної процедури. Зупинити рух великих інфузорій також можна, підсушуючи краплю, покриту склом, промінь світла якого дзеркалом мікроскопа направляється на предметний стіл мікроскопа.

### **Форма звітності**

Результати мікроскопування проб заносяться в зошит, у якій відзначаються наступні відомості:

- 1) швидкість осідання пластівців (швидко, повільно);
- 2) колір активного мулу (бурий, чорний, білястий і т.п.);



- 3) вода над мулом (прозора, мутна, пофарбована);
- 4) щільність і розмір пластівців мулу (щільний, роздроблений, великий, дрібний);
- 5) наявність сторонніх включень;
- 6) склад гідробіонтів й їхні малюнки (при виконанні 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 й т.п.).

Пункти 4–6 розглядаються при малому збільшенні (окуляр 10х або 15х, об'єктив 8х); 7, 8 й 9 – при великому (окуляр 10х або 15х, об'єктив 40х).

На закінчення 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 процес очищення стічних вод?
5. За якими ознаками проводять оцінку стану активного мулу?
6. Що містить аналіз загальних властивостей активного мулу?
7. Які етапи включає гідробіологічний аналіз активного мулу?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### Визначення швидкості надходження кисню в аеротенки

#### *1. Загальні рекомендації*

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

Для забезпечення нормальної життєдіяльності мікроорганізмів-мініралізаторів 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 аеротенка, 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, при продувці суміші мікроорганізмів з водою повітрям, з неї віддаляється продукт розкладання органічних речовин – вуглекислота.

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

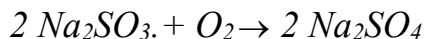
Аеротенки, у яких відбувається надходження повітря з поверхні води при енергійному перемішуванні за допомогою механічних аераторів, називають аеротенками з механічною аерацією.

Залежно від складу стічної води й характеру застосовуваних мікроорганізмів, для її очищення потрібна необхідна кількість кисню (і відповідно повітря), обумовлене 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<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>. Після включення аератора через певні інтервали часу визначають наскільки знизилася концентрація сульфїту натрію.

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



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

## **2. Схема установки**

Аеротенк 1 заповнюють певною кількістю води. Аераційний пристрій являє собою диск із лопатами 2. Рівень рідини в аеротенку повинен частково покривати лопати диска. Аерація здійснюється шляхом розбризування води при обертанні диска 2. Напрямок руху потоків води в процесі роботи аеротенка показано стрілками. Аератор включається в роботу за допомогою приводу 3, з'єднаного з електромотором 4.

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

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

## **3. Проведення роботи**

У п'ять колб Ерленмейєра вливають по 20 мл 0,1 н розчину йоду. Через здатність йоду випаровуватися цю операцію здійснюють швидко й по її закінченні 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 %-й розчин мідного купоросу (250 мл) і перемішують отриманий розчин. Підготовлений до роботи аеротенк включають і за допомогою піпетки на 20 мл починають робити відбір проб. Першу (нульову) пробу відбирають через п'ять хвилин після включення аератора.

Усього відбирають п'ять проб по 20 мл, що ставляться за часом від початку відбору проб до 0; 15; 30; 45 і 60 хвилин.

Проби відбирають у процесі роботи аеротенка 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 й визначають залишковий зміст сульфату натрію у відібраній пробі  $C_t$ , у г/л (індекс  $t$  вказує час відбору проби). Після відбору останньої проби аеротенк виключають.

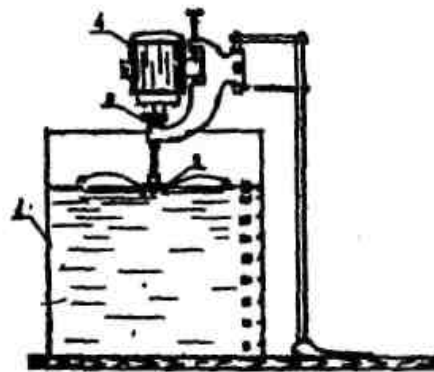


Рисунок 2.1 – Схема установки:

1 – аеротенк, 2 – аератор, 3 – привод, 4 – електромотор

#### **4. Обробка результатів спостережень**

Відзначають обсяг розчину в аеротенку в літрах,  $V_{аер}$ . Дані, отримані при проведенні експерименту, зводять у таблицю (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Дані, отримані під час проведення експерименту

Час від початку дослідів $t$ , хвил.	Концентрація сульфату натрію у відібраній пробі $C_t$ , г/л	Зниження концентрації сульфату в пробі, $\Delta C = C_{aep} - C_t$ г/л	Кількість кисню, внесеного у рідину $a = \frac{\Delta C \cdot 16}{126}$ г/л
0			
15			
30			
45			
60			

У графі 3 таблиці розраховують зниження концентрації сульфату для кожної проби відносно нульової проби.

У графі 4 розрахунок кількості внесеного кисню роблять, виходячи з того, що при окислюванні сульфату 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.

На підставі, отриманої кривої залежності обчислюють швидкість внесення кисню  $V_0$ , г/м<sup>3</sup>×год. Для цієї мети зручно за графіком взяти кількість внесеного кисню через 30 хв аерації, тобто  $a_{30}$ , тоді

$$V_0 = \frac{a_{30} \cdot 60 \cdot 1000}{30}, \text{ г/м}^3. \quad (2.1)$$

Множник 1 000 у цьому випадку взятий для перекладу з літрів у кубометри.

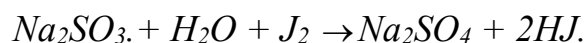
Загальну кількість кисню, що може бути внесена в обсяг рідини в аеротенку протягом години, обчислюють за формулою:

$$q = V_0 \cdot V_{aep}, \text{ г/ГОД} \quad (2.2)$$

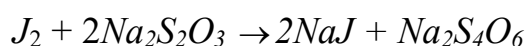
Обсяг розчину в аеротенку дорівнює 43 л або 0,043 м<sup>3</sup>.

### 5. Визначення концентрації сульфїту натрію у водянму розчинї

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, поки розчин не придбає солом'яно-жовтий колір. Цю стадію титрування проводять при струшуванні вмісту досить швидко, щоб уникнути випару йоду. Потім додають 1–2 мл розчину крохмалю й титрують до зникнення синього фарбування, що не з'являється протягом 1–2 хв. Окислювання сульфїту натрію йодом протїкає за реакцією



Надлишок йоду відтитровується тіосульфатом натрію за реакцією:



Концентрацію сульфїту натрію розраховують за формулою:

$$C = \frac{(V_1K_1 - V_2K_2) \cdot 0,0063 \cdot 1000}{V} = \frac{6,3(V_1K_1 - V_2K_2)}{V}, \text{ г/л} \quad (2.3)$$

де  $V$  – обсяг доданого розчину йоду, мл;

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

$V_1$  – обсяг витраченого на титрування розчину тіосульфату; мл;

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

$V_2$  – обсяг аналізованої води, мл;

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

### Контрольні запитання

1. Від чого в першу чергу залежить інтенсивність й ефективність біохімічного очищення стїчних вод?

2. При якому значенні рН стічних вод біохімічне очищення найбільш ефективно?
3. Для чого очищені стічні води подаються з аеротенка у вторинний відстійник?
4. Для чого потрібна подача стисненого повітря в аеротенки?
5. Як здійснюють аерацію стічних вод у аеротенках?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5**

### **Визначення масової концентрації амоній-іонів у стічних водах**

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

*Прилади і матеріали:*

фотоколориметр КФК-3;

мірні колби місткістю 50 см<sup>3</sup>;

циліндри місткістю 50 см<sup>3</sup>; піпетки 1-10 см<sup>3</sup>;

реактив Неслера;

сегнетова сіль 50 % розчин;

державний стандартний зразок складу розчину амоній-іонів 1 мг/см<sup>3</sup>;

катіоніт КУ-2-8;

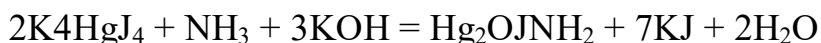
скляний хімічний посуд,

вода дистильована.

*Загальні відомості*

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

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



Заважаючий 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 градуовальною характеристикою визначають масову концентрацію амоній-іонів у пробі води. Дистильовану воду перевіряють на наявність аміаку та іонів амонію (до 5 см<sup>3</sup> води додають 0,1 см<sup>3</sup> реактиву Неслера).

При виявленні аміаку (з'являється жовтувате забарвлення) дистильовану воду пропускають через колонку з активованим вугіллям, катіонітом в Н-формі або кип'ятять в колбі до зменшення об'єму на 1/3. Чутливість методу 0,05мг/дм<sup>3</sup> іонів амонію.

#### *Побудова градуовальної характеристики*

У мірні колби місткістю 50 мл піпеткою відміряють необхідний об'єм вихідного розчину з масовою концентрацією амоній-іона 5 мг/дм<sup>3</sup> згідно таблиці 5.1, 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 в скляних кюветах з довжиною 50 мм відносно холостої проби (дистильована вода з додаванням реактивів для аналізу).

Таблиця 5.1 – Дані для побудови градуовального графіку та визначення вмісту амонію в пробі

Номер розчину	Об'єм стандартного розчину $V_{\text{NH}_4^+}$ , мл	Масова концентрація амоній-іонів у розчині $C_{\text{NH}_4^+}$ , мг/дм <sup>3</sup>
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

Градуовальну характеристику будують графічно в координатах: масова концентрація амоній-іонів в мг/дм<sup>3</sup> (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 в мг/дм<sup>3</sup>. Масову концентрацію амоній-іона, мг/дм<sup>3</sup>, знаходимо за формулою:

$$C_{NH_4^+} = \frac{C_{гр} \cdot K \cdot 50}{V_{заг}} \quad (5.1)$$

де  $C_{гр}$  – масова концентрація амоній-іона у розчині, знайдена за допомогою градувальної характеристики, мг/дм<sup>3</sup>;

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

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

$V_{заг}$  – загальний об'єм розчину (попередньо розбавленої проби), взятий для аналізу, см<sup>3</sup>;

Результати вимірювання масової концентрації амоній-іона записуємо в таблицю 5.2

Таблиця 5.2 – Результати вимірювання масової концентрації амоній-іона

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

### **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

### **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6**

#### **Визначення масової концентрації ортофосфатів у стічних водах**

**Мета роботи:** визначення концентрації ортофосфатів у стічних водах.

#### *Прилади і матеріали*

- фотоелектроколориметр КФК-3 укомплектований кюветами з робочою довжиною 50 мм і червоним світлофільтром;
- колби мірні 50 см<sup>3</sup>;
- піпетка мірна градуйована 1–10 см<sup>3</sup>;
- циліндри мірні 50, 100, см<sup>3</sup>;
- державний стандартний зразок складу розчину фосфат-іонів з атестованим значенням масової концентрації фосфат-іонів 0,5 мг/см<sup>3</sup>;
- амоній молібденовокислий 2,8 %;
- кислота аскорбінова 2,1 %;
- калій сурм'яновинно-кислий 0,07 %;
- кислота сульфамінова;
- кислота сірчана 2,5 моль/дм<sup>3</sup>;
- вода дистильована.

#### *Загальні відомості*

Метод вимірювання масової концентрації розчинених ортофосфатів

базується на реакції взаємодії фосфат-іонів з амонієм молібденовокислим у кислому середовищі у присутності калію сурм'яновиннокислого з утворенням фосфорномолібденової гетерополікислоти, яка при додаванні відновника перетворюється в інтенсивно забарвлену синю сполуку – «молібденову синь». Забарвлення за кімнатної температури розвивається протягом 10-15 хв і є стабільним протягом 24 год при використанні 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 в пробі води. Розрахунковим методом встановлюють масову концентрацію розчинених ортофосфатів у вихідній пробі. Чутливість методу  $0,05$  мг/дм<sup>3</sup> розчинених ортофосфатів.

#### *Приготування «змішаного реактиву»*

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

#### *Побудова градууювальної характеристики*

У мірні колби місткістю 50 мл послідовно за допомогою піпеток відміряють необхідний об'єм стандартного розчину з масовою концентрацією розчинених ортофосфатів  $2,5$  мг/дм<sup>3</sup> (згідно з табл. 6.1), 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 смл, 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 градуювальної характеристики, відповідні масові концентрації розчинених ортофосфатів у цих розчинах наведено у таблиці 6.1. За допомогою фотоелектроколориметра, з використанням червоного світлофільтра  $\lambda = 710$  нм та кювет з робочою довжиною 50 мм вимірюють оптичну густину градуювальних розчинів відносно холостої проби, яка готується з дистильованої води з додаванням «змішаного реактиву».

За методом найменших квадратів розраховують параметри лінійної градуювальної характеристики: оптична густина,  $D(710)$ , масова концентрація розчинених ортофосфатів –  $C$ , мг/дм<sup>3</sup>, для діапазону градуювання від 0,05 до 0,50 мг/дм<sup>3</sup> включно.

Таблиця 6.1 – Відомості про розчини для побудови градуювальної характеристики

Номер розчину	Об'єм вихідного розчину, мл	Масова концентрація розчинених ортофосфатів у розчині для побудови градуювальної характеристики, мг/дм <sup>3</sup>
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*

В мірну колбу місткістю 50 мл вміщують аліквотний об'єм проби води, розбавляють дистильованою водою приблизно до 40 мл, піпетками додають 5 мл «змішаного реактиву» або окремо 1 см<sup>3</sup> 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 (при температурі оточуючого 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 при виконанні операцій вміщують її у мірну колбу місткістю 50 мл, розбавляють 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 з 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/дм<sup>3</sup>, знаходять за формулою:

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

де  $C_{гр}$  - масова концентрація розчинених ортофосфатів у розчині, знайдена за допомогою градуовальної характеристики, мг/дм<sup>3</sup>;

$k$  - ступінь попереднього розбавлення вихідної проби ( $k = 1$ , якщо

попереднє розбавлення вихідної проби не проводили);

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

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

Результати вимірювання масової концентрації розчинених ортофосфатів записують в таблицю 6.2

Таблиця 6.2 – Результати вимірювання масової концентрації розчинених ортофосфатів

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

### Контрольні запитання

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

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» Наказ МОЗ України від 12.05.2010 за № 400. – Київ : Офіційний вісник України. – 2010. – 51 с.
2. Другов, Ю. С. Анализ загрязненной воды : практ. руководство / А. А. Родин; Ю. С. Другов. – 3-е изд. (эл.). – М. : Лаборатория знаний, 2020.– 681 с.
3. Обробка технологічних рідин та стічних вод : навч. посібник / С. С. Рижков [та ін.] ; Нац. ун-т кораблебудування ім. адмірала Макарова, Херсон. філ. – Херсон : Грінь Д. С. [вид.], 2017. – 315 с.
4. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5–75:2013. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 214 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. Запольский А. К. Очистка воды коагулированием : монография / А. К. Запольский; Национальный университет пищевых технологий. – Каменец-Подольский, 2011. – 296 с.
8. Запольський А. К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / [А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко та ін.]. – Київ : Лібра, 2000. – 552 с.

*Виробничо-практичне видання*

Методичні рекомендації  
до виконання лабораторних робіт  
із навчальної дисципліни

**«ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД»**  
*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня  
за спеціальністю  
194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія  
та водні технології)*

Укладач **АЙРАПЕТЯН** Тамара Степанівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *Т. С. Айрапетян*

План 2021, поз. 528 М.

---

Підп. до друку 27.10.2021. Формат 60 × 84/16.

Електронне видання. Ум. друк. арк. 2,4.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: [office@kname.edu.ua](mailto:office@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.