

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

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання лабораторних робіт
із навчальної дисципліни

«СПЕЦКУРС З ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ
ПРОМІСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ»

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,
освітня програма «Цивільна інженерія»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Спецкурс з водопостачання та водовідведення промпідприємств» (для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна інженерія») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : С. М. Епоян, Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 39 с.

Укладачі: д-р техн. наук, проф. С. М. Епоян,
канд. техн. наук, доц. Т. С. Айрапетян

Рецензент

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

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очищення вод, протокол № 1 від 29.08.2023

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ТА ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	5
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	
Лабораторна робота № 1 Вивчення методу визначення вмісту заліза у воді до та після аерації.....	9
Лабораторна робота № 2 Визначення перманганатної окисності в кислому середовищі	13
Лабораторна робота № 3 Визначення хрому в стічних водах.....	18
Лабораторна робота № 4 Реагентна очистка стічних вод, що містять шестивалентний хром.....	21
Лабораторна робота № 5 Визначення ефекту видалення зі стічних вод синтетичних поверхнево-активних речовин на флотаційній установці.....	25
Лабораторна робота № 6 Видалення органічних домішок зі стічної води методом фільтрування через активоване вугілля.....	28
Лабораторна робота № 7 Побудова ізотерми адсорбції органічної речовини з води.....	34
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	38

ВСТУП

Дисципліна «Спецкурс з водопостачання та водовідведення пром підприємств» є однією з професійних дисциплін для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна інженерія».

Методичні рекомендації забезпечують виконання здобувачами вищої освіти лабораторних робіт з цієї дисципліни, закріплення теоретичних основ, набуття навичок підбору умов для досягнення необхідної якості води, що використовується у промисловості, оцінювання ефективності видалення зі стічних вод різних забруднень.

Знання методик визначення вмісту забруднень у природній воді, що використовується для промислових потреб, а також засвоєння методів видалення забруднень з виробничих стічних вод сприяє більш глибокому вивченню навчальної дисципліни «Спецкурс з водопостачання та водовідведення пром підприємств».

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

Перед початком виконання кожної лабораторної роботи здобувачі повинні чітко засвоїти мету, теоретичні основи процесів, які протікають в установці, та порядок виконання роботи. Крім того, здобувачі мають обов'язково пройти загальний інструктаж з техніки безпеки, ознайомитися з установкою для виконання досліджень під наглядом викладача.

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

Загальні заходи безпеки

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

Застосовуваний у лабораторії хімічний посуд здебільшого скляний, тонкостінний і тендітний, вимагає дбайливого користування, тому що при недбалому поводженні з ним можливі різні поранення (порізи рук склом). При роботі хімічний посуд потрібно 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 доводиться працювати в лабораторії. Багато з них можуть бути хімічною отрутою і при необережному поводженні з ними 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 потраплянні сильних кислот на шкіру варто негайно змити облите місце водою, а потім 5 %-вим розчином двовуглекислої соди. При опіку лугами також рекомендується обмити уражене місце водою, а потім 2 %-вим 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.

При роботі з реактивами варто завжди пам'ятати, що наповнення піпеток для виміру малих обсягів кислот, лугів та 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 потрібно встановлювати на теплоізоляційні підставки. 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 можна 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 більшою, чим сильніший 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 тощо.

Кожен студент перед початком роботи в лабораторії зобов'язаний ознайомитися з основними положеннями «Інструкції з техніки безпеки для працівників хімічних лабораторій».

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 розпорошуються або поширюються, роботи проводять тільки у витяжній шафі з опущеними стулками, надягнувши захисні рукавички.

Якщо якісь етапи роботи незрозумілі 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 досліду, 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 кожну 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 запитань за темою виконуваної роботи. Допуск до роботи у вигляді підпису 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 дослідження потребує чіткого дотримання всіх рекомендацій, що зазначені в описі роботи. Дослід потрібно виконувати ретельно, акуратно і 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

ВИВЧЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ЗАЛІЗА У ВОДІ ДО ТА ПІСЛЯ АЕРАЦІЇ

Мета роботи – ознайомлення з методами видалення заліза з природних вод та освоєння деяких стандартних методів оцінки концентрації іонів заліза у воді.

Загальні відомості

У підземних водах (міжпластових, тріщинних, карстових, артезіанських тощо) за відсутності розчиненого кисню залізо звичайно перебуває у вигляді двовалентних солей. Форма, в якій присутні у природних водах сполуки заліза, залежить від величини рН та вмісту кисню.

Вміст заліза у підземних водах може досягати 10–20 мг/дм³. Така вода для питних, промислових та господарських цілей непридатна. Вона має неприємний чорнильний або залізистий присмак. При тривалому введенні до організму людини з питною водою залізо накопичується у печінці у вигляді колоїдних оксидів заліза, що отримали назву гемосидирину, який шкідливо впливає на клітини печінки, викликаючи їхнє руйнування.

Більше половини всіх джерел підземних вод України мають підвищений вміст заліза, яке присутнє у воді у різних формах. За вітчизняним стандартом «Вода питна, призначена до споживання людиною» [1] допускається використовувати воду, в якій загальний вміст заліза не перевищує 0,2 мг/дм³.

Видалення заліза з води здійснюється декількома методами: аеруванням, коагулюванням, вапнуванням, катіонуванням, фільтруванням через різні речовини та матеріали, біологічною очисткою та комбінуванням вищезгаданих методів.

Сутність процесу видалення заліза з води аеруванням та вапнуванням складається з переведення двовалентного заліза у тривалентне й утворення гідрату окису заліза, що випадає в осад. У випадку коагулювання відбувається

сполучене осадження гідрату окису заліза та гідроокису алюмінію. Видалення заліза катіонуванням базується на обміні рухомих іонів катіоніту на іони заліза, що містяться у воді. Іноді використовується попереднє хлорування оброблюваної води для руйнування органічних сполук заліза або захисних колоїдів, які стабілізують колоїди заліза.

При видаленні заліза з підземних вод частіше за все застосовують аерування, при видаленні заліза з поверхневих вод – коагулювання. Вапнування та катіонування використовують у тих випадках, коли необхідним є не тільки видалення заліза, але і пом'якшення води.

У деяких випадках для швидкого окислювання закисного заліза, навіть при низьких рН, застосовують каталізатори. Як такі каталізатори звичайно використовують дроблений піролюзит, «чорний пісок» (пісок, покритий плівкою оксидів марганцю, які утворюються у результаті розкладання 1 %-го розчину KMnO_4 , підлуженого до рН 8,5–9 водним розчином NH_3) та сульфовугілля, покрите плівкою оксидів марганцю.

Визначення загального заліза в природних водах звичайно роблять фотометрично із застосуванням ортофенантроліну, сульфосаліцилату натрію або ж роданіду. Можлива візуальна оцінка концентрації заліза шляхом порівняння інтенсивності забарвлень.

Метод аналізу, використаний у цій роботі, – фотометричний, оснований на вимірюванні оптичної густини забарвлених розчинів комплексної сполуки заліза з іоном роданіду CNS^- . Оптична густина вимірюється за допомогою фотоелектроколориметра. У результаті вимірювань отримуємо лінійну залежність оптичної густини розчинів від концентрації іону заліза у них. Для визначення іонів заліза (II) його попередньо окислюють до заліза (III). Визначається 0,05–4 мг заліза в літрі води.

Проведення експерименту

Реактиви:

1. Розчин 50 %-вий роданіда калію чи амонію.

2. Стандартний розчин заліза, 1 мл якого містить 0,1 мг заліза (0,863 4 г заліза (III) – амоній сульфату $\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), розчиняють у дистильованій воді, додають 10 мл концентрованої сірчаної кислоти і доводять обсяг до 1 л).

3. Розведена соляна кислота (1:1).

4. Персульфат амонію.

Обладнання і прилади:

1. Установка для знезалізнення води (рис. 2.1).

2. Відро ємкістю 6 л.

3. Циліндри Генера ємкістю 100 мл.

4. Бюретка ємкістю 25 мл з поділками до 0,1 мл.

5. Піпетки ємкістю 20 мл і 10 мл.

6. Пробірки безбарвного скла з діаметром близько 1,5 см, ємкістю 10 мл.

7. Паперові фільтри.

8. Скляні палички.

9. Термометр.

Пробу наливають до мітки в колбу ємкістю 50 мл, додають 1 мл розчину соляної кислоти (1:1), кілька кристалів персульфату амонію і після трихвилинного перемішування – 1 мл роданіду амонію. Через 3 хвилини визначають оптичну щільність на приладі. З показника оптичної щільності проби віднімають значення її в холостому досліді. Останній виконують з тими ж реактивами, тільки замість досліджуваної води наливають дистильовану.

За збудованим раніше калібрувальним графіком визначають концентрацію загального заліза в природній воді.

Візуальне колориметрування здійснюють у порцелянових чашках, титруючи стандартним розчином дистильовану воду з доданими реагентами до порівняння інтенсивності фарбування з фарбуванням проби.

Видалення заліза з води за допомогою аерування

Схема експериментальної аераційної установки представлена на рисунку 1.1.

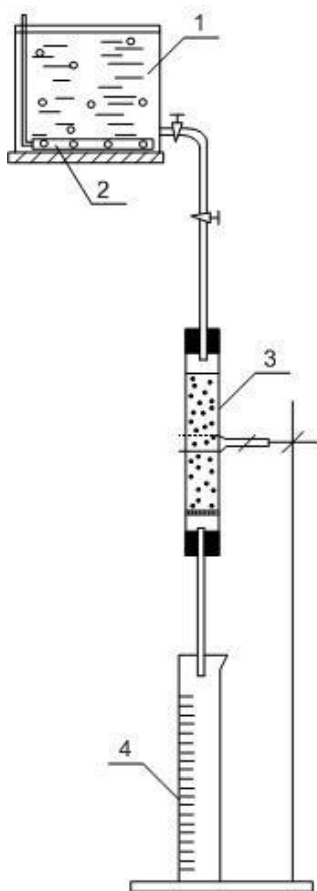


Рисунок 1.1 – Установка для дослідження процесу знезалізнення води:

- 1 – ємність з досліджуваною водою;
- 2 – аератор;
- 3 – піщаний фільтр;
- 4 – приймач очищеної води

Повітря нагнітається компресором (2) і надходить у фільтр (3), де й відбувається аерування проб води. Після аерування вода фільтрується для видалення осаду гідроксиду заліза, що випав. Для визначення вмісту заліза відбирають проби вихідної води після аерування та після фільтрації.

Обробка результатів експериментів

Вміст заліза визначають за формулою, мг/дм³:

$$C_{Fe} = \frac{C_k \cdot 1000}{V}, \quad (1.1)$$

де C_k – концентрація Fe, визначена за калібрувальним графіком, мг;

V – об'єм проби води, см³.

Для усіх проб води визначають ступінь видалення заліза за формулою, %:

$$E = \frac{C_{Fe}^0 - C_{Fe}}{C_{Fe}^0} \cdot 100, \quad (1.2)$$

де C_{Fe}^0 – вміст заліза у вихідній воді, мг/дм³;

C_{Fe} – вміст заліза у воді після очистки, мг/дм³.

Контрольні запитання

1. Яке значення ГДК заліза у питній воді?
2. Чим шкідливий надлишок заліза у питній та технічній воді?
3. Які бувають методи видалення з води заліза? Викладіть коротко їхню сутність.
4. У яких випадках доцільно застосовувати той чи інший метод вилучення заліза?
5. У якому вигляді містяться у природній воді сполуки заліза?
6. Напишіть реакції, що відбуваються під час видалення заліза з води методом аерування.
7. У якому вигляді міститься залізо в підземних та поверхневих водах?
8. Яких властивостей надають воді наявні в ній сполуки заліза?
9. Який метод аналізу використовується для визначення заліза у воді?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Визначення перманганатної окиснюваності в кислому середовищі

Мета роботи – оцінити сумарний вміст у воді органічних і легкоокислюваних неорганічних домішок.

Загальні відомості

Органічні речовини надходять до водоймищ із зливовими та талими водами, у результаті розмиву русел річок, зі стічними водами, а також за рахунок розвитку у воді рослинних та тваринних організмів. У зв'язку з тим що окиснюваність поверхневих вод пояснюється головним чином наявністю органічних речовин, визначення окиснюваності, тобто кількості кисню,

необхідного для окислення домішок у певному об'ємі води, є одним з непрямих методів визначення органічних речовин у воді.

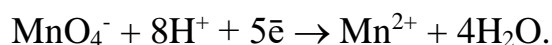
Окиснюваність природних, особливо поверхневих вод не є постійною величиною. Зміна хімічної характеристики речовин, що надходять до води, змінює величину її окиснюваності. Підвищена окиснюваність води свідчить про забруднення джерела і вимагає застосування відповідних заходів з його охорони при використанні для водопостачання. Раптове підвищення окиснюваності води є ознакою забруднення її стічними водами, тому величина окиснюваності – важлива гігієнічна характеристика води.

Залежно від окисника, що використовується ($K_2Cr_2O_7$, $KMnO_4$), розрізняють дихроматну та перманганатну окиснюваність.

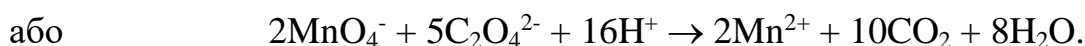
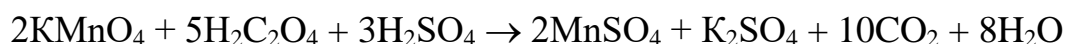
Перманганатна окиснюваність визначається у поверхневих малозабруднених водах, джерела якої частіше за все служать для питних цілей. Цей метод не дозволяє визначити вміст усіх органічних речовин, які присутні у воді, оскільки перманганат калію звичайно окиснює тільки приблизно 50 % усіх органічних сполук. Метод використовується для порівняльної оцінки окиснюваності води у різних точках водоймища або у різні пори року.

Окиснюваність визначають окисненням домішок досліджуваної води перманганатом калію.

Перманганат калію, будучи сильним окислювачем, реагує з відновниками, що присутні у воді. Марганець змінює при цьому свою ступінь окислення із $+7$ до $+2$ (відновлюється). Реакція протікає в кислому середовищі:



Надлишок перманганату калію реагує з розчином щавлевої кислоти:



Щавлеву кислоту, яка не вступила в реакцію, відтитровують перманганатом калію.

Окислюваність можна визначити при нагріванні.

Проведення експерименту

Обладнання і прилади:

- 1) перманганат калію KMnO_4 , 0,01 н. розчин;
- 2) щавлева кислота $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0,01 н.;
- 3) сірчана кислота (1: 3);
- 4) плитка електрична;
- 5) колба мірна місткістю 100 мл (4 шт.);
- 6) бюретка місткістю 50 мл (2 шт.);
- 7) піпетки місткістю 5 мл і 10 мл (по 2 шт.);
- 8) лійка;
- 9) колба плоскодонна комічна ємністю 250 мл (4 шт.);
- 10) колба мірна місткістю 1 л (1 шт.).

Обробка посуду перед аналізом. У відібрані для дослідження колби наливають 100–150 мл концентрованого розчину KMnO_4 , підкисленого сірчаною кислотою, і кип'ятять 3–5 хвилин. Потім суміш виливають, а осад, що утворився на стінках, розчиняють концентрованою соляною кислотою. Колбу обполіскують дистильованою водою і кип'ятіння повторюють кілька разів.

Хід визначення. 100 мл досліджуваної води піпеткою наливають у конічну колбу ємністю 250 мл, додають 5 мл розчину сірчаної кислоти (1: 3), доливають точно 10 мл приблизно 0,01 н. розчину перманганату калію і, накривши колбу лійкою, нагрівають рідину до кипіння і кип'ятять протягом 10 хвилин. Час кип'ятіння має дотримуватися точно, оскільки тривалість нагріву води з перманганатом калію дуже позначається на його окислювальній дії.

Частина доданого перманганату калію витрачається при кип'ятінні на окислення органічних домішок води, тому колір розчину стає більш світлим. Потім знімають колбу з нагрівального приладу, вносять в неї точно 10 мл 0,01 н. розчину щавлевої кислоти і добре збовтують. Розчин знебарвлюється за рахунок того, що щавлева кислота вступає в реакцію з надлишком перманганату калію, який залишився після окислення органічних домішок

води. Знебарвлений гарячий розчин титрують приблизно 0,01 н. розчином перманганату калію до появи світло-рожевого забарвлення.

Таким чином, перманганат калію (10 мл розчину) додають до досліджуваної води 2 рази – на початку досліду і в кінці – при титруванні. Ця сумарна його кількість витрачається на окислення органічних домішок води і на окислення 10 мг 0,01 н. розчину щавлевої кислоти.

При визначенні окислення треба враховувати витрату перманганату калію на окислення тільки органічних домішок води. Тому окремим дослідом необхідно встановити кількість перманганату калію, що йде на окислення 10 мл щавлевої кислоти. Для цього нагрівають до кипіння 100 мл дистильованої води, підкисленої 5 мл сірчаної кислоти (1:3), знімають колбу з нагрівального приладу, додають 10 мл 0,01 н. розчину щавлевої кислоти і титрують до світло-рожевого забарвлення розчином перманганату калію.

Проведене визначення дає можливість перевірити нормальність розчину перманганату калію. Необхідність такої перевірки при кожному визначенні окислюваності пояснюється тим, що 0,01 н. розчин перманганату калію нестійкий і концентрація його змінюється.

При розрахунку нормальності розчину виходять з таких міркувань. Якщо нормальність N – число міліграм-еквівалентів речовини в 1 мл і V – об'єм розчину в мілілітрах, то добуток VxN – це число міліграм-еквівалентів речовини в n мілілітрах об'єму.

Кількість міліграм-еквівалентів щавлевої кислоти в 10 мл 0,01 н. розчину, узятє для визначення, дорівнює числу міліграм-еквівалентів перманганату калію, який прореагував з нею. Отже:

$$V_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4} \cdot N_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4} = V_{\text{KMnO}_4} \cdot N_{\text{KMnO}_4}$$

Звідки:

$$N_{\text{KMnO}_4} = \frac{V_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4} \cdot N_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4}}{V_{\text{KMnO}_4}} = \frac{10 \cdot 0,01}{V} \quad (2.1)$$

де V – об’єм розчину перманганату калію, який витрачено на титрування 10 мл 0,01 н. розчину щавлевої кислоти.

Перманганатну окислюваність води x (мг/дм³O₂) визначають за формулою

$$X_{O_2} = \frac{(V_1 - V_2) \cdot N \cdot 8 \cdot 1000}{V_3} \quad (2.2)$$

де V_1 – сумарний об’єм 0,01 н. розчину перманганату калію, який було додано в пробу під час дослідження, мл;

V_2 – об’єм 0,01 н. розчину перманганату калію, який було витрачено на окислення 10 мл 0,01 н. розчину щавлевої кислоти, мл;

N – нормальність розчину перманганату калію;

8 – міліграм-еквівалент кисню;

V_3 – об’єм досліджуваної води, взятої для дослідження, мл.

Контрольні запитання

1. Що розуміють під окисністю води? Що таке часткова і повна окисність?
2. У яких одиницях вимірюється окисність води?
3. Яка окиснюваність джерельної, артезіанської і річкової води? Яка окисність питної води?
4. Чому перманганатом калію не можна визначити повну окисність води?
5. Які типи окиснюваності ви знаєте, порівняйте, за яким із методів отримується більш повна характеристика вмісту органічної складової у воді?
6. Які органічні сполуки у воді належать до легкоокиснюваних, важкоокиснюваних та тих, що не піддаються окисненню взагалі?
7. Поясніть поняття біологічне споживання кисню, коли-індекс та коли-титр.
8. Напишіть реакції, які перебігають при окисненні органічної складової перманганатом калію?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ВИЗНАЧЕННЯ ХРОМУ В СТИЧНИХ ВОДАХ

Мета роботи – оволодіння методикою кількісного колориметричного визначення хрому в аналізованій воді.

Хром потрапляє в природні води зі стічними водами деяких машинобудівних, хімічних виробництв і шкіряних заводів. У них хром може зустрічатися у вигляді тривалентного катіона (Cr^{3+} або у вигляді аніонів: хроматів-іонів (Cr_4^{2-}) або біхроматів-іонів ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$). Тривалентна форма хрому стійка, і у звичайних умовах не можна припускати окислювання тривалентного хрому в шестивалентний. У розчиненому виді Cr^{3+} присутній тільки в кислому середовищі. У нейтральному й лужному середовищах він гідролізується з виділенням $\text{Cr}(\text{OH})_3$. Комплексоутворюючі речовини перешкоджають гідролізу. Шестивалентний хром може зустрічатися в лужних розчинах у вигляді Cr_4^{2-} , а в кислих розчинах – у вигляді $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. У цій формі хром стійкий у водах, що не містять відновників, якщо ж відновники присутні, то відбувається відновлення його до Cr^{3+} . У твердій фазі присутній переважно $\text{Cr}(\text{OH})_3$.

Для визначення хрому застосовується колориметричний метод з дифенілкарбазидом, застосовний при вмісті хрому від 0,05 мг/л до 1,0 мг/л. При аналізі проб, що містять хром у більших концентраціях, пробу треба попередньо розбавити.

Нижче описана методика визначення шестивалентного хрому й загального вмісту хрому; вміст Cr^{3+} знаходять за різницею.

Результати визначення всіх форм виражаються в міліграмах хрому на 1 л води.

Колориметричне визначення з дифенілкарбазидом

Хромати й біхромати реагують у кислому середовищі з дифенілкарбазидом з утворенням розчинної сполуки червоно-фіолетового кольору, придатного для колориметрування. Шестивалентний хром визначають безпосередньо (*варіант А*). Загальний вміст хрому визначають після

окислювання персульфатом у кислому середовищі (*варіант Б*). Вміст Cr^{3+} знаходять за різницею результатів обох визначень. За описаною методикою можна визначити хром у нерозбавленій пробі при вмісті його від 0,05 мг до 1,00 мг в 1 л води.

У випадку, коли води мають кислу реакцію, колориметрично визначити хром важко, і тоді визначають тільки загальний вміст хрому («загальний хром»).

Апаратура :

- спектрофотометр ЛЕКІ, ($\lambda = 536 \div 540$ нм);
- скляні кювети, 10 мм;
- колби мірні на 100 мл, 14 шт.

Реактиви:

- їдкий натр ч.д.а., 1Н;
- сірчана кислота ч.д.а., 1Н;
- фосфорна кислота ч.д.а., концентрована, 85 %;
- дифенілкарбазид, 0,5 %-вий розчин в ацетоні;
- персульфат амонію ч.д.а., 0,1 %-вий розчин;
- аналізована вода;
- біхромат калію, стандартний розчин:

а) запасний: 1 мл розчину містить 1,0 мг Cr;

б) робочий № 1: 25 мл запасного стандартного розчину розбавляють дистильованою водою до 500 мл; 1 мл розчину містить 0,050 мг Cr;

в) робочий № 2: 20 мл робочого розчину № 1 розбавляють дистильованою водою до 500 мл. Застосовують кожного разу свіжоприготовлений розчин; 1 мл розчину містить 0,002 мг Cr.

Калібрована крива

У низку мірних колб ємністю 100 мл відмірюють 0; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 30,0; 40,0; 50,0 мл стандартного робочого розчину № 2, що після доведення обсягів до 100 мл дає серію стандартних розчинів з концентраціями хрому 0; 0,02; 0,04; ...; 1,0 мг/л. Потім проводять визначення за варіантом А.

Із отриманих значень оптичної щільності віднімають величину оптичної щільності холостого визначення й отримані величини наносять на графік у вигляді залежності оптичної щільності від концентрації хрому.

Хід визначення

Варіант А (визначення шестивалентного хрому)

У мірну колбу ємністю 100 мл відмірюють такий обсяг прозорої проби, щоб у ньому втримувалося від 0,005 мг до 0,1 мг хрому (при аналізі води необхідно зробити мінімум 4 різних ступені розведення). Пробу нейтралізують, якщо це необхідно, певною кількістю 1 Н розчину NaOH або 1 Н розчину H₂SO₄, що встановлюють титруванням окремої порції проби. Потім доливають 1 мл H₂SO₄ (1:1), 0,3 мл фосфорної кислоти, доводять обсяг дистильованою водою до 100 мл і перемішують. Додають 2 мл розчину дифенілкарбазиду й знову перемішують. Через 5–10 хв після додавання дифенілкарбазиду вимірюють оптичну щільність розчину ($\lambda = 536\text{--}540$ нм). З отриманого значення оптичної щільності проби віднімають значення її для холостого визначення з дистильованою водою й по каліброваній кривій знаходять вміст хрому.

Варіант Б (визначення загального вмісту хрому)

У колбу ємністю 100 мл відмірюють такий обсяг прозорої проби, щоб у ньому втримувалося від 0,005 мг до 0,1 мг хрому. Пробу нейтралізують, якщо необхідно, певною кількістю 1 Н розчину NaOH або 1 Н розчину H₂SO₄, що встановлюють титруванням окремої порції проби. Потім додають 0,3 мл 1 Н H₂SO₄ і 5–10 мл розчину персульфату амонію, після чого кип'ятять розчин 20–25 хв (при цьому весь персульфат повинен розкластися, тому що його сліди заважають наступному визначенню). Розчин випарюють приблизно до 50 мл, переносять у мірну колбу ємністю 100 мл, після чого продовжують аналіз за варіантом А.

Розрахунок

Вміст хрому визначають за формулою:

$$X = C \cdot 1000 / V, \text{ мг/л}, \quad (3.1)$$

де C – вміст хрому, знайдений за калібрувальною кривою, мг/л;

V – обсяг хрому, взятий для аналізу, мл.

Контрольні запитання

1. Основні джерела і промислові процеси, що спричиняють потрапляння сполук хрому в довкілля, та наслідки такого типу забруднення.
2. Токсична дія сполук три- і шестивалентного хрому.
3. Які застосовують методи очистки від іонів важких металів, зокрема хрому, їх переваги і недоліки, складність вилучення сполук шестивалентного хрому порівняно з іншими важкими металами.
4. Мінімальні значення ГДК для іонів хрому Cr^{3+} ?
5. Який метод застосовується для визначення хрому?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

РЕАГЕНТНА ОЧИСТКА СТІЧНИХ ВОД, ЩО МІСТЯТЬ ШЕСТИВАЛЕНТНИЙ ХРОМ

Мета роботи – вивчити процес відновлювального вилучення хрому (VI), виявлення умов, що забезпечують ефективно очищення стічних вод від сполук шестивалентного хрому.

Хром (VI) міститься в стічних водах хімічних, металургійних, машинобудівних підприємств та інших виробництв, зазвичай у кількостях від 10 мг/л до 500 мг/л. Під час руху такої води по трубопроводах на їхніх стінках відкладаються сполуки хрому, зменшуючи перетин трубопроводу. Гранично допустима концентрація сполук хрому у водоймах становить 0,1 мг/л у перерахунку на Cr (VI). Стічні води, що надходять на біологічні очисні споруди, так само повинні мати концентрацію Cr (VI) не вище 0,1 мг/л, оскільки до нього досить чутливі мікроорганізми активного мулу.

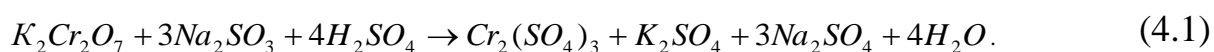
Найбільшого поширення в практиці очищення промислових стічних вод від сполук шестивалентного хрому одержав реагентний метод.

Реагентне хімічне очищення засноване на відновленні Cr (VI) до Cr (III), з подальшим осадженням у вигляді $Cr(OH)_3$.

Як відновлювачі використовують діоксид сірки, бісульфіт натрію, сульфід натрію, залізний купорос. Реакції відновлення Cr (VI) до Cr (III) зазвичай проводять у кислому середовищі, тому що в цьому випадку виявляється найбільша окисна активність хроматів ($E = 1,33V$).

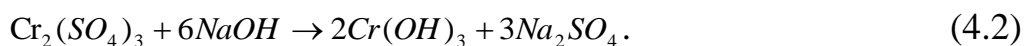
Однак при виборі оптимальних значень рН для проведення окислювально-відновного процесу необхідно враховувати, що відновлювальна активність деяких реагентів (наприклад, залізного купоросу) сильніше виражена в лужному середовищі, тому оптимальні для цієї реакції значення рН доцільно встановити дослідним шляхом. Для осадження хрому (III) у вигляді $Cr(OH)_3$ використовують вапняне молоко, їдкий натр, вуглекислий натрій тощо. Найбільш повне осадження досягається при рН 8–9.

У разі використання для відновлення хроматів сульфіту натрію реакція протікає відповідно до рівняння:



Повнота процесу відновлення визначається концентраціями Cr (VI) і Na_2SO_3 , їхнім співвідношенням і рН реакційного середовища.

Для осадження $Cr(OH)_3$ може бути використаний гідроксид натрію:



Апаратура:

- рН-метр;
- спектрофотометр LEKI, ($\lambda = 430$ нм);
- скляні кювети, 10 мм;
- циліндри мірні на 250 мл – 9 шт.;
- скляні палички з гумовими наконечниками – 9 шт.;
- набір скляних мірних піпеток.

Реактиви:

- розчин $K_2Cr_2O_7$, 1 Н, 47,3 г/л, вміст хрому 17,3 г/л – 0,5 л;
- розчин Na_2SO_3 , 1 Н, 63,0 г/л;
- розчин H_2SO_4 , 1 Н;

– розчин NaOH, 1 Н.

Хід визначення

Експериментальне визначення оптимальних умов відновлення хромату і його наступного осадження зводиться до послідовного виявлення впливу на процес кислотності й рН реакційної суміші, концентрації розчинів біхромату калію, надлишку відновника проти його стехіометричної витрати, величини рН при осадженні $\text{Cr}(\text{OH})_3$ розчином луги.

При необхідності можуть бути експериментально визначені також дози коагулянтів або флокулянтів, що використовуються для інтенсифікації процесу осадження $\text{Cr}(\text{OH})_3$, що утворюється.

1. Виявлення впливу рН реакційного середовища.

У серію з 9 циліндрів на 250 мл послідовно вводяться відміряні обсяги води, біхромату калію, сірчаної кислоти й сульфату натрію (табл. 4.1).

Після введення кожного реагенту здійснюється короткочасне перемішування вмісту циліндрів, а після введення розчину сульфату натрію – перемішування протягом 5 хв зі спостереженням за зміною кольору розчинів.

Після цього із циліндрів, у які був уведений сульфат натрію, відбираються проби розчину для визначення рН й оптичної щільності розчинів при $\lambda = 430$ нм. Проби після визначення рН й оптичної щільності повертаються у відповідні циліндри. Отримані дані вносять у табл. 4.1. За отриманими результатами будують графік $D^{(430)} = f(\text{pH})$, по якому судять про вплив рН на ступінь відновлення хрому. Потрібно зазначити, що аніон $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ має жовте фарбування, а катіон Cr^{3+} – зелену, тому оптична щільність розчину, що містить більш високу концентрацію шестивалентного хрому, при $\lambda = 430$ нм буде вищою. За отриманою залежністю роблять висновок про оптимальний діапазон рН відновлення хрому.

2. Визначення рН найкращого осадження Cr^{3+}

Після того як був визначений ступінь відновлення хрому, у циліндри з досліджуваною водою вводять H_2SO_4 згідно з таблицею 4.1. При цьому

відбувається повне відновлення хрому у всіх циліндрах. Потім у кожному циліндрі створюють різні значення рН шляхом додавання розчину NaOH.

Вміст циліндрів ретельно перемішують і після 30 хв відстоювання визначають рН і обсяг осаду (a_0). Також візуально судять про ефективність осадження гідроксиду хрому. Отримані результати заносять у таблицю 4.1 і роблять висновок про оптимальний діапазон рН виділення $\text{Cr}(\text{OH})_3$.

Таблиця 4.1 – Форма запису результатів

Номер циліндра	Склад реакційної суміші, мл				Показники після перемішування		Додавлено реагентів, мл		Показники після осадження		
	H_2O	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 1 Н	H_2SO_4 , 1 Н	Na_2SO_3 , 1 Н	рН	$D^{(430)}$	H_2SO_4 , 1 Н	Na_2SO_3 , 1 Н	рН	a_0	осадження
1	200	2,5	–	–							
2	193	2,5	–	5			10	5			
3	190	2,5	2	5			7	6			
4	187	2,5	5	5			5	7			
5	185	2,5	7	5			2	8			
6	180	2,5	10	5			1	9			
7	180	2,5	7	5			4	5			
8	180	2,5	7	5			4	6			
9	180	2,5	7	5			7	9			

Контрольні запитання

1. Який вплив чинять на живі організми іони важких металів?
2. У яких концентраціях хром (VI) міститься у стічних водах?
3. У якому виді хром може зустрічатися у стічних водах? Яка форма більш стійка?
4. У чому полягає сутність реагентного методу очистки гальванічних стічних вод?
5. Які реагенти використовують як відновлювачі Cr (VI) до Cr (III)
6. Наведіть реакції відновлення Cr (VI) до Cr (III)

7. У якому середовищі проявляється найбільша окисна активність хроматів?

На питання 1, 4, 6, 7 необхідно відповісти письмово перед виконанням роботи.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5
ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТУ ВИДАЛЕННЯ ІЗ СТІЧНИХ ВОД
СИНТЕТИЧНИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА
ФЛОТАЦІЙНІЙ УСТАНОВЦІ

Мета роботи – дослідження процесу флотації та визначення ефективності видалення зі стічних вод поверхнево-активних речовин.

Флотація є складним фізико-хімічним процесом. Флотація – це метод спонукальної седиментації, який застосовують для видалення домішок, щільність яких менша за щільність води, переважно таких, які легко утворюють стійку піну з пухирцями повітря. У процесі флотації при диспергуванні повітря у стічній рідині відбувається спливання молекул або міцел синтетичних поверхнево-активних речовин (далі – СПАР) на границі розділу «вода – повітря» і дисперсних часток разом з пухирцями повітря на поверхню стічної рідини. Зчеплення молекул або міцел СПАР з повітряними пухирцями в рідині обумовлюється надлишком вільної поверхневої енергії на всіх поверхнях, що беруть участь у процесі розділу. Один з основних фізико-хімічних факторів флотаційного процесу – адсорбція. Повітряний пухирець, який піднімається в рідині нагору, оточується молекулами або міцелами СПАР. Безперервна подача повітря на поверхню стічної рідини утворює шар піни, насичений СПАР. При порушенні піни утворюється флотоконденсат, який містить 200–3 000 мг СПАР в 1 л.

Ефект видалення СПАР із стічної рідини у флотаторі залежить від початкової концентрації СПАР, інтенсивності подачі повітря і тривалості флотації. Оптимальна інтенсивність подачі повітря становить 8–12 м³/(м²·год),

оптимальна тривалість флотації – 15–60 хв. Чим більша початкова концентрація СПАР, тим вищий ефект флотації СПАР із стічної рідини.

На сьогодні в багатьох галузях промисловості – текстильній, шкіряній, хімічній, паперовій тощо як миючі, змочувальні засоби широко застосовують синтетичні поверхнево-активні речовини. Ці підприємства скидають у каналізацію стічні води з високою концентрацією СПАР, тут вони розбавляються господарсько-побутовими стоками. Якщо не можна забезпечити відповідного розведення виробничих стічних вод господарсько-побутовими, необхідно попередньо знизити концентрацію СПАР.

Особливо ефективна флотація в тому випадку, коли в оброблюваній воді вже присутні піноутворюючі СПАР. Наприклад, для очистки вовномийних стічних вод, у яких концентрація піноутворюючих жирних кислот мила доходить до 4 г/л, очистка щодо БПК, ХПК і завислих речовин проходить на 30–35 %, а виділення вовняного жиру – на 70–80 %.

Схема флотаційної установки

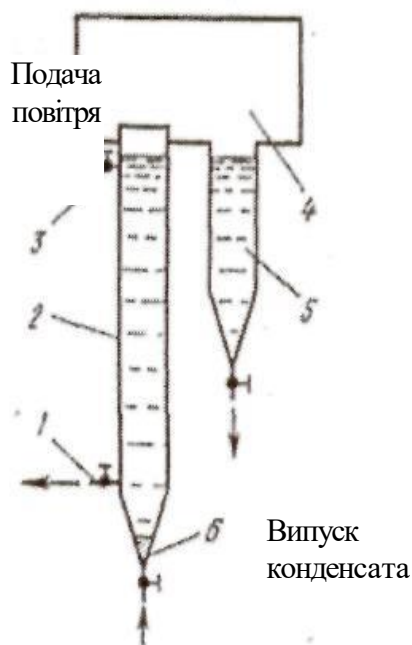


Рисунок 5.1 – Схема лабораторного флотатора:

- 1 – відбір проб; 2 – циліндр; 3 – подача досліджуваної води у флотатор;
4 – резервуар для збору піни; 5 – конденсатозбірний циліндр; 6 – фільтр

У моделі флотаційної установки (рис. 5.1) для флотації стічної рідини слугує циліндр (2). Повітря надходить через фільтр (6,) виготовлений з пористої кераміки та обтягнутий капроною тканиною. Резервуар (4) призначений для збору піни, що утворюється під час флотації. Піна спрямованим струменем повітря здувається в конденсатозбірний циліндр (5). Витрату повітря, що подається у флотатор, вимірюють газовим лічильником ГСБ-400. На повітропроводі перед дослідною моделлю встановлений манометр для виміру тиску повітря. Дослідну воду подають у флотатор. Перед початком дослідів необхідну кількість досліджуваної речовини розчиняють у водопровідній воді для одержання заданої концентрації. Ретельно промивають стінки флотатора водопровідною, а потім дистильованою водою. Воду з флотатора зливають за допомогою сифона.

Проведення роботи

Досліджувану воду наливають у циліндр. Після початку флотації беруть проби через 10, 20, 30, 40, 50 хв, заміряють об'єм сконденсованої з піни рідини (конденсат піни). Визначають концентрацію СПАР у відібраних пробах і результати записують у таблицю 5.1. Будують графік зміни концентрації СПАР у флотованій воді залежно від часу флотації. За графіком встановлюють оптимальний час флотації.

Таблиця 5.1 – Отримані результати з обчислення концентрацій СПАР

Час флотації, хв	10	20	30	40	50	60
Концентрація СПАР у відібраних пробах, мг/л						

Розрахунок. Ефект флотації СПАР (%) при її оптимальному часі визначають за формулою

$$E = (C_{\text{поч}} - C_{\text{зал}}) C_{\text{поч}} / 100 \quad (5.1)$$

де $C_{\text{поч}}$ – початкова концентрація СПАР у воді, мг/л;

$C_{\text{зал}}$ – концентрація СПАР у воді після флотації, мг/л.

Контрольні запитання:

1. Поясніть сутність процесу флотації.
2. Види флотації.
3. Від чого залежить ефективність процесу флотації?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ВИДАЛЕННЯ ОРГАНІЧНИХ ДОМІШОК ЗІ СТІЧНОЇ ВОДИ МЕТОДОМ ФІЛЬТРУВАННЯ ЧЕРЕЗ АКТИВОВАНЕ ВУГІЛЛЯ

Мета роботи – дослідження методу адсорбції розчинених органічних речовин та визначення концентрації домішок фотоколориметричним методом

Загальні рекомендації

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 в розчині і взаємодія молекул адсорбуючої речовини з поверхнею твердого тіла. Різниця енергій цих двох процесів і є та енергія, з якою речовина, витягнута з розчину, втримується на поверхні адсорбенту.

Як адсорбенти застосовують різні марки активованого вугілля, силікагель, кокс, торф і такі відходи, як зола й шлаки. Найпоширенішим адсорбентом є активоване вугілля. Воно володіє сильно розвитою поверхнею: питома поверхня (поверхня 1 см³) становить до 1 000 м².

При динамічній 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 виражено співвідношенням:

$$K_{adc} = \frac{a}{c}, \quad (6.1)$$

де K_{adc} – адсорбційна константа розподілу;

a – величина адсорбції домішки в 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 за таким рівнянням:

$$E = \frac{C_0 - C}{C_0}, \quad (6.2)$$

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

Схема установки

Установка складається з напірної посудини (1), дозатора (2), вугільного фільтра (3) і приймача (4). Випробувану стічну воду заливають у напірну посудину (1) при закритому крані 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-йодний у кількості 25 г.

Вугілля КАД-йодний є продуктом обробки кам'яновугільного напівкоксу водяною парою при високій температурі.

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

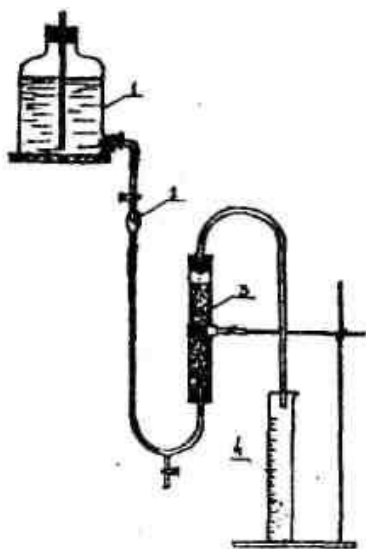


Рисунок 6.1 – Схема установки:
1 – напірна посудина; 2 – дозатор; 3 –
вугільний фільтр; 4 – приймач

Проведення роботи

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 й закінчення досліду. Спочатку встановлюють потік крапель з розрахунку приблизно 10 крапель за 5 с (або приблизно 20 крапель за 10 с). 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 за мірками циліндра на час, відрахований за секундоміром). Відбирають 6–8 порцій по 0,5 л очищеної води й визначають у них вміст фенолу фотоколориметричним методом. Визначають початкову концентрацію фенолу у воді, що надходить. Наприкінці досліду заміряють внутрішній діаметр трубки вугільного фільтра, см.

Обробка результатів спостережень

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 при проведенні експерименту, зводять у таблицю 6.1.

На підставі отриманих даних обчислюють:

1. Середньогодинну кількість води, що надійшла на фільтрування:

$$W_{сер} = \frac{W}{t}, \text{ л/ГОД.} \quad (6.3)$$

2. Середню швидкість фільтрування

$$V = 10 \frac{W_{сер}}{f}, \text{ м/ГОД,} \quad (6.4)$$

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

При підрахунку приймають внутрішній діаметр трубки вугільного фільтра 2,5 см, тоді $f = 4,9 \text{ см}^2$.

3. Кількість вилученого фенолу:

$$m = W(C_0 - C), \text{ мг.} \quad (6.5)$$

4. Величину адсорбції фенолу:

$$a = \frac{m}{25}, \text{ мг/г,} \quad (6.6)$$

де 25 – завантаження активованого вугілля у фільтр, г;

5. Ефективність вилучення фенолів:

$$E = \frac{C_0 - C}{C_0}. \quad (6.7)$$

6. Адсорбційну константу розподілу:

$$K_{\text{адс}} = \frac{a}{c}. \quad (6.8)$$

Таблиця 6.1 – Результати експерименту

Номер проби води, що очищується, від початку дослідження (по 0,5 л)	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 $C = \frac{C_1 + C_2 + \dots + C_n}{n}, \text{ мг/л}$

За даними дослідження будують графік, відкладаючи по осі абсцис кількість профільтрованої води в літрах від початку дослідження, 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 розбавлення в мірній колбі ємністю 100 мл концентрація фенолу в розчині становила 1–5 мг/л (якщо необхідно, стічну воду попередньо розбавляють). Пробу стічної води (або її розведеного розчину) відбирають піпеткою й розміщують у мірну колбу ємністю 100 мл, туди ж додають 1 мл буферного розчину, ретельно перемішують, додають дистильовану воду, приблизно до половини ємності колби, знову перемішують, доливають 2 мл розчину 4-аміноантипірина і після перемішування вводять 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 в електромережу за 20 хв до початку визначення.

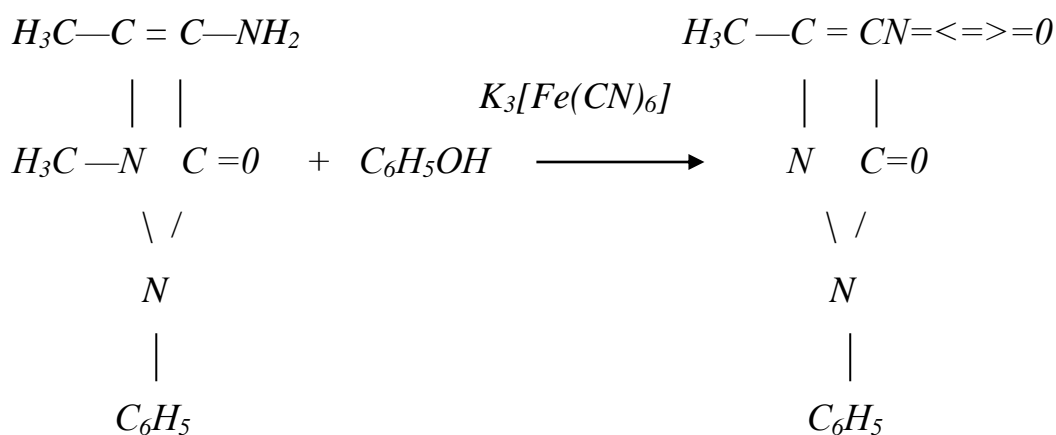
Спочатку в праве й ліве плече фотоколориметра встановлюють кювети з дистильованою водою, потім відкривають шторки світлофільтра й встановлюють стрілку гальванометра на нуль.

Установку стрілки гальванометра на нуль починають при увімкненні гальванометра на малу чутливість (положення «0» показує, що гальванометр вимкнений, «1» – увімкнений на малу чутливість, «2» – увімкнений на більшу чутливість). При увімкненні рукояті грубого налагодження встановлюють у положення «1», потім перемикають гальванометр у положення «2» й остаточно встановлюють гальванометр рукояттю 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 дослід» розчин заливають у два кювети, які встановлюють у праве й ліве плече фотоколориметра, відкривають шторки світлофільтра, вмикають гальванометр на чутливість «1», 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.

При взаємодії фенолу з 4-аміноантипірином у лужному середовищі в присутності заліzosиньородистого калію утворюється забарвлена сполука, інтенсивність якої залежить від концентрації фенолу. При цьому відбувається така реакція:



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

Концентрацію C_n розраховують з урахуванням зробленого розведення

$$C_n = C_1 \cdot n, \text{ мг/л}, \quad (6.9)$$

де n – кратність розведення.

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

Контрольні запитання

1. Що називається сорбцією, адсорбцією, абсорбцією?
2. Суть фотоколориметричного визначення органічних домішок.

3. Джерела утворення фенолів у природних водах.
4. Вплив фенолів на гідрохімічний режим водного об'єкта.
5. ГДК фенолів у водних об'єктах рибогосподарського призначення та господарсько-питного і культурно-побутового водокористування.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ПОБУДОВА ІЗОТЕРМИ АДСОРБЦІЇ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ З ВОДИ

Мета роботи – кількісне визначення адсорбції на активованому вугіллі, побудова ізотерми адсорбції органічної речовини з води.

Загальні рекомендації

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 його відносять 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, і її значення знижується з підвищенням температури.

При збільшенні концентрації розчиненої речовини величина адсорбції зростає.

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

$$\text{рівнянням Фрейндліха } a = K \cdot C^n, \quad (7.1)$$

$$\text{рівнянням Лангмюра } a = a_0 \frac{C}{C + B}, \quad (7.2)$$

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 перебуває в 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 ординат відкладають питому адсорбцію, а по осі абсцис – рівноважну концентрацію домішок.

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

$$\lg a = \lg K + n \lg C. \quad (7.3)$$

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

Для визначення констант рівняння Ленгмюра його зручно перетворити так:

$$\frac{C}{a} = \frac{B}{a_0} + \frac{C}{a_0} \quad (7.4)$$

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 при будь-якій рівноважній концентрації розчину, а також необхідну дозу адсорбенту для досягнення заданого ефекту вилучення домішок зі стічної води.

Схема установки

Колби (1) з водним розчином, що досліджується, і добавленим 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 включенням апарата у мережу змінного струму його необхідно заземлити. Увімкнення апарата здійснюють за допомогою тумблера, розташованого біля електромотора.

Для виконання роботи підготовлюють 8 колб Ерленмеєра з плоским дном на 250 мл з корками, мірний циліндр на 100 мл, 4 бюкси для зважування активованого вугілля, 4 лійки для фільтрування, фільтрувальний папір, посуд і реактиви для фотоколориметричного визначення фенолу.

Проведення роботи

Побудову ізотерми здійснюють на прикладі адсорбції фенолів з 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, у другу – 2,5 г, у третю – 2,0 г, у четверту – 1,5 г. Колби закривають пробками, встановлюють в апарат для струшування і після включення його вміст колб перемішують протягом 60 хв. Фіксують час початку досліду і температуру у приміщенні. Після виключення 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.

Обробка результатів спостереження

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 7.1.

Таблиця 7.1 – Результати експерименту

Наважка адсорбенту m , г	Рівноважна концентрація фенолу у розчині C , г/л	Адсорбція a , % вага

Величину адсорбції визначають за формулою:

$$a = \frac{(C_0 - C) \cdot V \cdot 100}{100 \cdot m}, \% \quad (7.5)$$

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

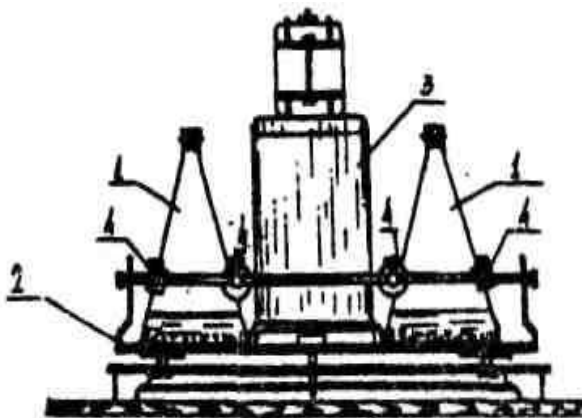


Рисунок 7.1 – Схема установки:

1– колба; 2– платформа; 3– електромотор;
4 – затискач

Контрольні запитання

1. Від чого залежить величина адсорбції?
2. Які типи ізотерм адсорбції вам відомі?
3. Яким способом можна визначити форму ізотерми адсорбції?
4. Якими рівняннями описуються ізотерми адсорбції? Чим вони відрізняються?
5. Навести рівняння ізотерми адсорбції Ленгмюра.
6. Які відмінності в адсорбції на межах розділу: тверде тіло – газ, газ - розчин, розчин – тверде тіло.
7. Написати рівняння ізотерми Фрейндліха і вказати умови його застосування.
8. Як графічним шляхом визначаються постійні В і n в ізотермі Фрейндліха?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною : ДСанПіН 2.2.4-171-10. – Чинний від 12-05-2010. – Київ : МОЗ України, 2010. – 55 с.
2. Запольський А. К. Водопостачання. Водовідведення та якість води : підручник / А. К. Запольський. – Київ : Вища школа, 2005. – 671 с.
3. Гомеля М. Д. Фізико-хімічні основи процесів очищення води : підручник / М. Д. Гомеля, Т. О. Шаблій, Я. В. Радовенчик. – Київ : Кондор Видавництво, 2019. – 256 с.
4. Гіроль М. М. Технології водовідведення промислових підприємств : навч. посіб. / М. М. Гіроль, А. М. Гіроль, А. М. Гіроль. – Рівне : НУВГП, 2013. – 625 с.
5. Водопостачання та водовідведення : підручник / В. О. Орлов, Я. А. Тугай, А. М. Орлова. – Київ : Знання, 2011. – 359 с.
6. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод : підручник / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко, І. М. Астрелін, М. Т. Брик ; за заг. ред. А. К. Запольського. – Київ : Лібра, 2000. – 552 с.
7. Нестер А. А. Стічні води підприємств та їх очищення : монографія / А. А. Нестер, Н. М. Корчик, Б. А. Баран. – Хмельницький : ХНУ, 2008. – 171 с.
8. Тугай А. М. Водопостачання : підручник / А. М. Тугай, Орлов В. О. – Київ : Знання, 2009. – 735 с.
9. Іванченко Л. В. Хімія і технологія води : навч. посіб. / Л. В. Іванченко, В. Я. Кожухар, В. В. Брем ; Одес. нац. політехн. ун-т. – Одеса : Екологія, 2017. – 208 с.

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
до виконання лабораторних робіт
із навчальної дисципліни

**«СПЕЦКУРС З ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ
ПРОМПІДПРИЄМСТВ»**

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності
192 – Будівництво та цивільна інженерія,
освітня програма «Водопостачання та водовідведення»)*

Укладачі: **ЕПОЯН** Степан Михайлович,
АЙРАПЕТЯН Тамара Степанівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*
Редактор *М. О. Гаман*
Комп'ютерне верстання *Т. С. Айрапетян*

План 2023, поз. 61М

Підп. до друку 05.03.2024. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 2,3.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О.М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.