

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт  
із навчальної дисципліни

### **«СПЕЦКУРС З ОЧИСТКИ ПРИРОДНИХ ВОД»**

*(для студентів 5 курсу денної і заочної форм навчання  
освітнього рівня «магістр»  
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,  
спеціалізації (освітні програми) «Водопостачання та водовідведення» та  
«Раціональне використання і охорона водних ресурсів»)*



Харків  
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова  
2016

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Спецкурс з очистки природних вод» (для студентів 5 курсу денної і заочної форм навчання освітнього рівня «магістр» спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, спеціалізації (освітні програми) «Водопостачання та водовідведення» та «Рациональне використання і охорона водних ресурсів») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : В. М. Беляєва, К. Б. Сорокіна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 35 с.

Укладачі: **В. М. Беляєва**

канд. техн. наук **К. Б. Сорокіна**

**Рецензент**

**Г. І. Благодарна**, кандидат технічних наук, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очищення вод, протокол № 1 від 27.08.2015 р.*

## ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	4
1 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	5
2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	8
<i>Лабораторна робота № 1. Реагентні методи зм'якшення води.....</i>	8
<i>Лабораторна робота № 2. Зм'якшення води на натрій-катіонітових фільтрах.....</i>	12
<i>Лабораторна робота № 3. Регенерація натрій-катіонітових фільтрів.....</i>	16
<i>Лабораторна робота № 4. Знезалізнення води спрощеною аерацією.....</i>	18
<i>Лабораторна робота № 5. Фторування води.....</i>	23
<i>Лабораторна робота № 6. Визначення сорбційної ємності активованого вугілля.....</i>	25
<i>Лабораторна робота № 7. Знесолення води.....</i>	27
<i>Лабораторна робота № 8. Дехлорування води при перехлоруванні.....</i>	31
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	34

## ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Природна вода є багатокomпонентною динамічною системою, до складу якої входять гази, мінеральні й органічні речовини, що знаходяться в розчиненому, колоїдному і завислому станах, а також мікроорганізми. У вигляді іонів, недисоційованих молекул, колоїдів і суспензій у природних водах міститься понад 50 елементів, але тільки деякі з них, найбільш важливі, зустрічаються у значних кількостях.

З розчинених газів у природних джерелах найчастіше присутні кисень, азот, вуглекислий газ, рідше – сірководень та ін. Кількісний вміст газів у воді багато в чому залежить від їх природи, парціального тиску, температури, складу водного середовища та інших чинників.

З речовин, дисоціюючих у водних розчинах на іони, у воді розчиняються більшість мінеральних солей, кислот і гідроксидів. Найбільш поширені в природних водах гідрокарбонати, хлориди і сульфати лужноземельних і лужних металів, у меншій мірі – їх нітрати, нітрити, силікати, фториди, фосфати.

У більшості випадків іонний склад природних вод визначається катіонами і аніонами . Катіони та ін. і аніони та ін. у природній воді містяться в незначній кількості, проте їх вплив на властивості і якість води іноді також дуже великий.

Найзначнішими постачальниками органічних речовин у природну воду є ґрунтовий і торф'яний гумус, продукти життєдіяльності й розкладання рослинних і тваринних організмів, стічні води побутових і промислових підприємств. Наявність у воді органічних речовин різко погіршує органолептичні показники води, підвищує кольоровість, спінюваність, негативно діє на організм людини і тварин.

У цих вказівках наведені лабораторні роботи для вивчення процесів, які застосовують у технологіях очищення води від розчинених домішок. До кожної лабораторної роботи наведено теоретичний матеріал, який дозволяє студенту коротко ознайомитись з фізичною та хімічною суттю методу очищення води. При виконанні лабораторних робіт студенти повинні дослідним шляхом визначити основні технологічні параметри обробки води, зробити висновки щодо особливостей протікання процесів очищення.

# 1 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

При роботі в лабораторії студенти особливу увагу повинні звертати на техніку безпеки і дотримуватися правил безпечної роботи – вміти користуватися хімічним посудом, реактивами, розчинами й нагрівальними приладами. Основою нормальної роботи в хімічній лабораторії є свідоме дотримання кожним студентом правил техніки безпеки.

Будь-які роботи в хімічній лабораторії треба виконувати ретельно, акуратно, без поспіху. На робочому місці повинні знаходитися тільки необхідні для виконання конкретної роботи реактиви, прилади й устаткування. *Безлад на робочому місці недопустимий.*

Важливе значення має підготовка до виконання лабораторної роботи. До виконання будь-якої роботи слід приступати тільки тоді, коли всі її етапи зрозумілі й не викликають сумнівів. Якщо виникають які-небудь неясності, слід до початку роботи звернутися до керівника. *Операції, пов'язані з підвищеною небезпекою, необхідно проводити тільки під безпосереднім спостереженням керівника.*

Застосовуваний в лабораторії хімічний посуд у більшості випадків скляний, тонкостінний і крихкий, вимагає дбайливого користування, тому що при недбалому поводженні з ним можливі 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 марганцівки, змазати йодом і зав'язати бинтом чи заліпити лейкопластирем. При невеликих порізах рани можна покрити клеєм БФ-6 (для обробки мікротравм). При глибоких артеріальних ранах після видалення скла руку необхідно міцно перев'язати джгутом вище порізу, видалити кров навколо рани, накласти кілька шарів стерильної марлі, потім товстий шар гігроскопічної вати і звернутися до лікаря.

Велике значення має знання студентів про сполуки, з якими їм приходится працювати в лабораторії. Багато з них можуть бути хімічними отрутами і при необережному поводженні слугувати причиною хімічних опіків і отруєнь. До таких речовин відносяться насамперед рідкі кислоти і луги. Усі реактиви і розчини, які використовують в лабораторії, повинні знаходитися в закритому посуді з чітким написом, який вказує назву і концентрацію реагенту. При попаданні сильних кислот на шкіру слід 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 треба пам'ятати, що наповнення піпеток для виміру малих об'ємів кислот, лугів та інших речовин виконують тільки за допомогою гумової груші. *Засмоктування ротом категорично забороняється!* Усю роботу зі шкідливими й отруйними речовинами треба проводити у витяжних шафах.

Забороняється виправляти написи на етикетках на ємкостях з реактивами, наклеювати нові етикетки, не видаливши старі. Не допускається користуватися реактивами без етикеток або з сумнівними написами. Слід уважно стежити за дотриманням чистоти реактивів. Не допускається плутати пробки від ємкостей з реактивами, набирати реактиви брудними піпетками. Забруднення реактивів може викликати не тільки спотворення результатів роботи, але й спричинити небажані й небезпечні побічні процеси.

Нагрівальні прилади необхідно встановлювати на теплоізоляційні підставки. При необережній роботі можливі теплові опіки від самого приладу або нагрітого хімічного посуду. Не рекомендується брати гарячий посуд руками. Нагріті предмети беруть щипцями, колбоприймачами, джгутом з рушника. *Необхідно уважно стежити за роботою нагрівальних приладів, не залишати їх без нагляду.* У випадку опіків першого ступеня (червоність) на обпалене місце необхідно накласти вату, змочену розчином марганцівки, концентрація якого мусить бути тим більше, чим сильніше опік. Можна використовувати і мазі від опіків. При опіках другого ступеня (міхури) обпалене місце обробляють розчином марганцевокислого калію чи 5%-м розчином таніну. При опіках третього ступеня (руйнування тканин) рану слід покрити стерильною пов'язкою і викликати лікаря.

У приміщенні лабораторії, де працюють студенти, завжди повинні бути наготові протипожежні засоби: вогнегасники, азбест, пісок. Не допускається гасити водою олію, гас, бензин, сірковуглець та ін.

Кожен студент перед початком роботи в лабораторії зобов'язаний ознайомитися з положеннями «Інструкції з техніки безпеки для працюючих у хімічних лабораторіях».

*Лабораторний журнал студенти оформляють заздалегідь, напередодні виконання лабораторної роботи відповідно до графіка.* Результати досліджень треба відразу фіксувати в журналі, там же необхідно проводити всі необхідні

розрахунки. При описі дослідів треба вказувати на відхилення від описаного в методичних вказівках ходу проведення робіт.

Після закінчення кожної лабораторної роботи викладач в журналі студента підписує зафіксовані результати експериментальних визначень.

***Послідовність оформлення лабораторного журналу:***

Дата:

Лабораторна робота №\_\_\_. Назва роботи

Мета роботи:

Устаткування:

Реактиви:

Хід роботи (методика визначення):

Схема лабораторної установки:

Таблиця вихідних даних і результатів:

Формули та розрахунки:

Висновки:

## 2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

### Лабораторна робота № 1 РЕАГЕНТНІ МЕТОДИ ЗМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ

**Мета роботи:** дослідження вапняно-содового методу зм'якшення води.

#### 1.1 Загальні положення

Згідно з ДержСанПіН [1] припустимою загальною твердістю для господарсько-питного водопостачання вважається твердість не більше 7 ммоль/дм<sup>3</sup>. У більшості випадків вода у використовуваних вододжерелах має твердість, що відповідає нормі для господарсько-побутових вод, і зм'якшення не потребує. Зм'якшення води проводять в основному при її підготовці для технічних цілей.

Для зм'якшення води застосовують такі методи:

↪ термічні, засновані на нагріванні води, її дистиляції або виморожуванні;

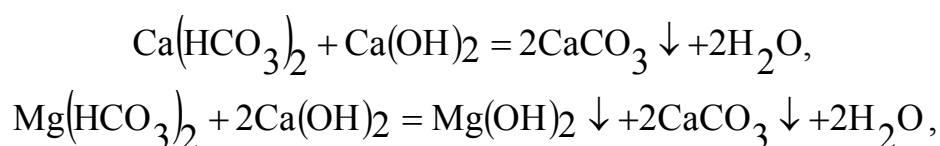
↪ реагентні, при яких іони Ca<sup>2+</sup> і Mg<sup>2+</sup>, що знаходяться у воді, зв'язують різними реагентами в практично нерозчинні сполуки;

↪ іонного обміну, засновані на фільтруванні зм'якшуваної води через спеціальні матеріали, що обмінюють вхідні в їх склад іони Na<sup>+</sup>, H<sup>+</sup> на іони Ca<sup>2+</sup> або Mg<sup>2+</sup>, що містяться у воді;

↪ комбіновані – різні поєднання перерахованих методів.

Вибір того або іншого методу зниження твердості визначається якістю вихідної води, необхідною глибиною зм'якшення і техніко-економічними міркуваннями.

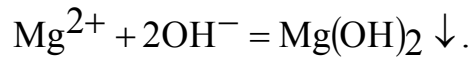
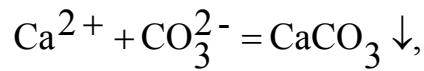
*Вапняно-содовий метод зм'якшення води є найбільш розповсюдженим. Він дозволяє залишкову твердість знизити до 0,5-1 ммоль/дм<sup>3</sup>, а лужність води – до 0,8-1,2 ммоль/дм<sup>3</sup>. Вапно усуває карбонатну твердість – умовну присутність гідрокарбонатів кальцію і магнію за рахунок створення гідроксиду магнію і карбонату кальцію. Реакції, які протікають під час обробки води вапном:*



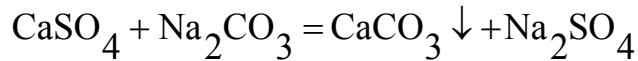
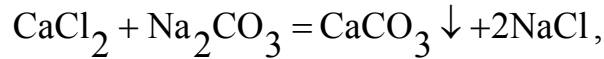
чи



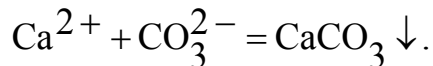




Сода усуває некарбонатну кальцієву твердість води завдяки утворенню осадів карбонату кальцію



чи



При проведенні зм'якшення вапняно-содовим методом важливо встановити необхідні дози вапна й соди.

## 1.2 Обладнання, прилади, реактиви

1. Водяна баня;
2. Бюретка;
3. Мірна колба місткістю 200 мл;
4. Піпетки на 50 і 100 мл;
5. Плоскодонні колби місткістю 300 і 500 мл;
6. Скляна лійка;
7. Паперові фільтри;
8. Конічна колба місткістю 250 мл;
9. Фенолфталеїн;
10. Розчин соляної кислоти з молярною концентрацією 0,1 Н;
11. Вапняний розчин з вмістом СаО 1 мг/мл;
12. Розчин соди 5 %-й.

## 1.3 Опис роботи

### 1.3.1 Визначення дози вапна

У мірну колбу ємкістю 200 мл наливають піпеткою 50 мл вапняного розчину із вмістом СаО 1 мг/мл, доливають до мітки досліджуваною водою і збовтують колбу. Потім переливають розчин у плоскодонну колбу ємкістю 300 мл, закривають її скляною лійкою і вміщують на 5 хв. у киплячу водяну баню (для укрупнення кристалів осаду, що випав).

Розчин охолоджують до 20°C и фільтрують через фільтр «синя стрічка» в конічну колбу ємкістю 250 мл. Першими порціями фільтрату ополіскують колбу, після чого їх виливають.

Відбирають піпеткою 50 мл профільтрованої рідини в конічну колбу ємкістю 250 мл, додають 2-3 краплі фенолфталеїну (розчин повинен стати рожевого кольору) і додають краплями з бюретки розчин соляної кислоти з молярною концентрацією 0,1 м/м до зникнення рожевого забарвлення.

Об'єм вапняного розчину  $V_{\text{CaO}}$ , необхідний для зм'якшення взятої кількості досліджуваної води (150 мл), обчислюють за формулою

$$V_{\text{CaO}} = V_1 - \frac{4 \cdot V_2 \cdot N \cdot E_{\text{CaO}}}{C_{\text{CaO}}}, \text{ мл}, \quad (1.1)$$

де  $V_1$  – об'єм узятого для визначення вапняного розчину, мл (тут 50 мл);

$V_2$  – об'єм розчину соляної кислоти, витрачений на титрування 50 мл фільтрату;

$N$  – молярна концентрація розчину соляної кислоти;

$C_{\text{CaO}}$  – концентрація вапняного розчину, мг/мл;

$E_{\text{CaO}}$  – мл-еквівалент CaO;

4 – коефіцієнт розведення вапняного розчину досліджуваною водою.

Дозу оксиду кальцію  $D_{\text{CaO}}$ , мг/дм<sup>3</sup>, необхідну для пом'якшення досліджуваної води, визначають за формулою

$$D_{\text{CaO}} = \frac{V_{\text{CaO}} \cdot C_{\text{CaO}} \cdot 1000}{200 - V_1}, \text{ мг/дм}^3, \quad (1.2)$$

де 200 – загальний об'єм досліджуваної води, мл.

### 1.3.2 Визначення дози соди

У мірну колбу ємкістю 200 мл наливають піпеткою 100 мл досліджуваної води і  $V_{\text{CaO}}$  мл вапняного розчину. Збовтують колбу протягом 1-2 хв., додають 3 мл 5 %-го розчину соди і доливають досліджуваною водою до мітки.

Після повторного збовтування виливають вміст у плоскодонну колбу ємкістю 500 мл і занурюють на 5 хв. у киплячу водяну баню. Охолоджують розчин до 20°C і фільтрують.

Потім відбирають піпеткою 100 мл фільтрату в конічну колбу ємкістю 250 мл і визначають кількість залишкової соди у фільтраті шляхом титрування розчином соляної кислоти з молярною концентрацією 0,1 моль/л у присутності метилового жовтогарячого.

Об'єм розчину соди  $V_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$ , мл, необхідний для зм'якшення взятої кількості досліджуваної води, обчислюють за формулою

$$V_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = V_3 - \frac{2V_4 \cdot N \cdot E_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}{C_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}, \text{ мл}, \quad (1.3)$$

де  $V_3$  – об'єм узятого для визначення розчину соди, мл;

$V_4$  – об'єм розчину соляної кислоти з молярною концентрацією 0,1 моль/л, який було затрачено на титрування 100 мл фільтрату, мл;

$N$  – молярна концентрація розчину соляної кислоти;

$E_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$  – мл-еквівалент соди;

$C_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$  – концентрація соди, мг/мл.

Дозу соди, мг/л, визначають за формулою

$$D_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{V_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \cdot C_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \cdot 1000}{200 - (V_{\text{CaO}} + V_3)}, \text{ мг/дм}^3. \quad (1.4)$$

### 1.3.3 Визначення залишкової твердості води

У мірну колбу ємкістю 250 мл наливають 20 мл досліджуваної води,  $\frac{V_{\text{CaO}} \cdot 200}{200 - V_1}$  мл вапняного розчину та  $\frac{V_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \cdot 200}{200 - (V_{\text{CaO}} + V_3)}$  мл розчину соди,

доводять до мітки дистильованою водою, занурюють колбу на 5 хв. у киплячу баню, потім охолоджують розчин до 20°C і фільтрують через щільний складчастий фільтр.

Відбирають 100 мл фільтрату і визначають загальну твердість комплексометричним методом.

При обчисленні загальної твердості зм'якшеної води необхідно врахувати, що об'єм досліджуваної води дорівнює 200 мл, а витрата розчину трітону Б в 2,5 разу більше витраченого на титрування 100 мл фільтрату.

Результати дослідів заносять у таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Результати дослідів

Твердість води до зм'якшення, мг-екв/л	Доза вапна, мг/л	Доза соди, мг/л	Твердість зм'якшеної води, мг-екв/л	Примітка
1	2	3	4	5

### **Контрольні питання:**

1. Що таке твердість води: загальна, карбонатна, некарбонатна?
2. У вигляді яких сполук осідають з води іони твердості?
3. Які реакції протікають у воді при додаванні вапна?
4. Чим обумовлена зміна хімічного складу води і які зміни відбуваються при збільшенні дози вапна?
5. Як визначити оптимальну дозу вапна за допомогою графіка зміни твердості і розрахунковим методом?
6. Який вид твердості змінюється при додаванні вапна?

### **Лабораторна робота № 2**

## **ЗМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ НА НАТРІЙ-КАТІОНІТОВИХ ФІЛЬТРАХ**

**Мета роботи:** дослідження процесу видалення з води катіонів твердості методом іонного обміну із використанням натрій-катіонітових фільтрів.

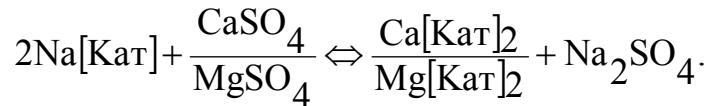
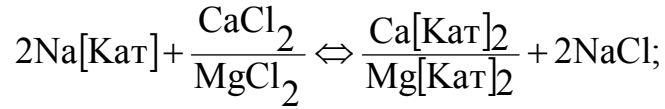
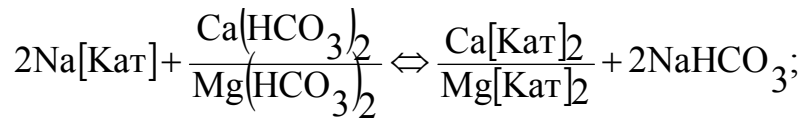
### **2.1 Загальні вказівки**

Зниження твердості води методом катіонного обміну засноване на здатності деяких природних чи штучних речовин, практично нерозчинних у воді, обмінювати іони  $\text{Na}^+$  та  $\text{H}^+$ , які знаходяться в їхньому складі, на іони  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$ , які зумовлюють твердість води.

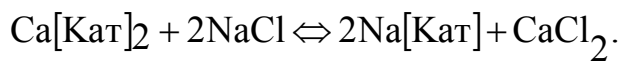
Процес обміну катіонів розглядається в даний час як оборотна гетерогенна хімічна реакція, що протікає на поверхні твердої фази катіоніту. Обмін катіонів відбувається в строго еквівалентних співвідношеннях. Швидкості реакцій обміну іонів катіоніту і досягнення повної рівноваги дуже великі. Завдяки цьому припустимі досить великі швидкості фільтрування води, що підлягає зм'якшенню, через катіоніти (від 10 до 25 м/год. залежно від твердості вихідної води).

Зм'якшення води методом катіонного обміну досягається фільтруванням її через шар катіоніту, завантаженого на дренажні ґрати металевого фільтра. При цьому можна виділити такі зони у фільтруючому шарі: верхній шар виснаженого катіоніту, робочий чи захисний шар, в якому відбувається зм'якшення води, і шар, що не працює. У момент проскакування іонів у фільтрат, шар катіоніту, що відпрацював треба регенерувати розчином повареної солі чи кислоти.

Реакції зм'якшення води, які протікають на поверхні катіоніту в натрієвій формі, можуть бути представлені такими рівняннями:



Реакція регенерації катіоніту розчином хлориду натрію протікає за рівнянням



## 2.2 Лабораторна установка

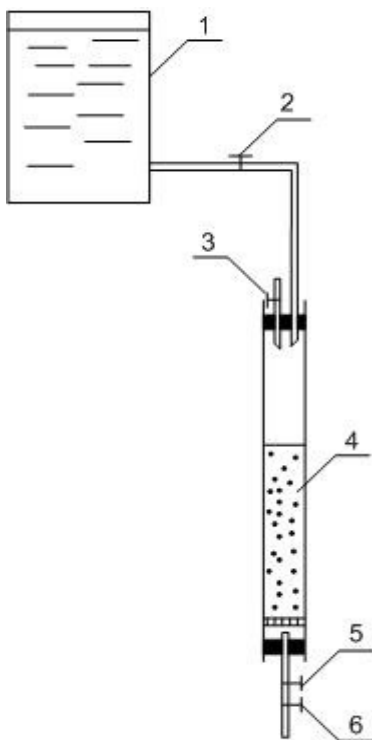


Рисунок 2.1 – Лабораторна установка для дослідження іонообмінного зм'якшення води:

- 1 – ємкість з досліджуваною водою;
- 2 – вентиль для подачі досліджуваної води;
- 3 – вентиль для випуску повітря з установки;
- 4 – катіонітовий фільтр;
- 5 – вентиль для регулювання швидкості фільтрування;
- 6 – вентиль

## 2.3 Проведення роботи

Визначають твердість досліджуваної води за існуючою методикою.

Регулюють швидкість фільтрування води, яка повинна бути під час досліду постійною і дорівнювати 10 м/год. Для цього відкривають повністю вентилі 2 і 6, вентилем 5 регулюють швидкість фільтрування. Швидкість визначають об'ємним способом. Вимірюють секундоміром час наповнення

склянки повної ємкості. Знаючи витрату і площу перерізу фільтра, обчислюють швидкість фільтрування.

Закривають вентиль 2 (вентиль 5 залишають без зміни). Надлишок води зливають, залишаючи над катіонітом її шар висотою 1-2 см. Для цього є вентиль 6.

Повністю відкривають вентилі 2 і 6. Через 15 хв. від початку досліду і далі, через кожні 15 хв. протягом досліду відбирають у колби проби зм'якшеної води для визначення твердості.

За годинником відзначають час початку і кінця досліду. Початком досліду вважається час подачі перших порцій вихідної води в катіонітовий фільтр, кінцем досліду – момент досягнення твердості фільтрату 0,06-0,1 мг-екв/л (за завданням викладача).

Результати визначень зводять у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати дослідів

Час початку і кінця досліду	Тривалість фільтроциклу, t, год	Витрата води, Q, м <sup>3</sup> /год.	Швидкість фільтрування, м/год.	Об'єм катіоніту у фільтрі, W <sub>кат</sub> , м <sup>3</sup>	Твердість вихідної води, T <sub>0</sub> , мг-екв/дм <sup>3</sup>	Твердість фільтрату, мг-екв/дм <sup>3</sup>			Робоча обмінна ємкість катіоніту, E <sub>роб</sub> , г-екв/м <sup>3</sup>
						Через 15 хв. після початку досліду	Через 30 хв. після початку досліду	Через 45 хв. після початку досліду	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

## 2.4 Обчислення робочої обмінної ємкості катіоніта

Визначають об'єм вихідної води, W, м<sup>3</sup>, яка пройшла через катіонітовий фільтр протягом досліду

$$W = Q \cdot t, \text{ м}^3, \quad (2.1)$$

де Q – витрата води, яка проходить через фільтр, м<sup>3</sup>/год;

t – час проведення досліду, год.

Обчислюють робочу обмінну ємкість катіоніту

$$E_{\text{роб}} = \frac{T_0 \cdot W}{W_{\text{кат}}}, \text{ г-екв/м}^3, \quad (2.2)$$

де T<sub>0</sub> – твердість вихідної води, мг-екв/л;

W<sub>кат</sub> – об'єм катіоніта завантаженого у фільтр, м<sup>3</sup>.

## 2.5 Визначення загальної твердості води

Загальна твердість питних, підземних і поверхневих вод визначається комплексометричним методом.

Метод заснований на зв'язуванні іонів кальцію і магнію в комплексні сполуки, яке супроводжується зміною фарбування індикатора.

### 2.5.1 Реактиви, посуд, прилади

1. Розчин комплексону III (трилон Б, двозаміщена натрієва сіль чотирьохосновний етілендіамітетраоцтової кислоти) з молярною концентрацією 0,025 моль/л: 18,6 м комплексону III ч.д.а. розчиняють у дистильованій воді і доводять об'єм до 1 л;

2. Буферний розчин;
3. Розчин еріохрому чорного Т;
4. Колби конічні на 250 мл;
5. Піпетки на 5 і 100 мл;
6. Бюретки на 25 мл з краником;
7. рН-метр.

### 2.5.2 Методика виконання роботи

До 100 мл проби додають 5 мл буферного розчину. Після перемішування пробу титрують розчином комплексону III у присутності індикатора до переходу червоно-фіолетового фарбування в синій.

### 2.5.3 Розрахунок

Загальну твердість  $T$ , мг-екв/дм<sup>3</sup>, визначають за формулою

$$T = \frac{V_1 \cdot 100}{V}, \text{ мг-екв/дм}^3, \quad (2.3)$$

де  $V_1$  – об'єм витраченого комплексону III, мл;

$V$  – об'єм проби, мл.

Результати округляють за таблицею 2.2.

Таблиця 2.2

Діапазон концентрацій, мг-екв/л	0,05–1	1–2	2–5	5–10
Округлення результатів, мг-екв/л	0,02	0,05	0,1	0,2

*Примітка.* Надкислотні й надлужні проби перед дослідженням нейтралізують. Титрування повинне продовжуватися не більш 5 хв.

### **Контрольні питання:**

1. Викладіть методику визначення загальної твердості воді при хімічному аналізі.
2. Викладіть методику визначення вмісту кальцію у воді при хімічному аналізі.
3. Викладіть методику визначення некарбонатної твердості.
4. Як змінюється склад води при Н-катіонуванні?
5. Які аналізи води виконують при її катіонуванні?
6. На які групи розділяють природні води за твердістю?

### **Лабораторна робота № 3**

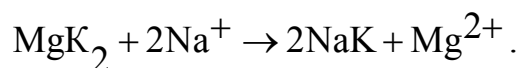
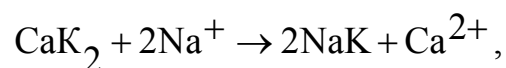
## **РЕГЕНЕРАЦІЯ НАТРІЙ-КАТІОНІТОВИХ ФІЛЬТРІВ**

**Мета роботи:** дослідження процесу проведення регенерації лабораторного натрій-катіонітового фільтру.

### **3.1 Загальні відомості**

В процесі експлуатації катіонітових фільтрів відбувається виснаження їх працездатності. Залишкова твердість води при зм'якшенні її методами катіонного обміну зазвичай становить 0,02-0,2 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Виснаження катіоніту виявляється при збільшенні залишкової твердості фільтрату понад зазначеної величини. Коли концентрація катіонів Ca<sup>2+</sup> і Mg<sup>2+</sup> у фільтраті досягає максимального значення, необхідно провести регенерацію катіоніту, тобто відновити його обмінну здатність.

Регенерацію фільтра здійснюють, пропускаючи через шар виснаженого катіоніту розчин хлористого натрію. Внаслідок відносно великої концентрації іонів Na<sup>+</sup> в регенераційному розчині протікають реакції:



Повний цикл роботи фільтра складається з таких операцій:

- 1) зм'якшення води;
- 2) розпушення шару катіоніту;
- 3) регенерація катіоніту;
- 4) відмивання катіоніту.

Часто операції 2, 3, 4 об'єднують під загальною назвою «регенерація фільтрів».



### 3.2 Проведення роботи

Операція розпушення має на меті усунути ущільнення маси катіоніта, яка злежалася, і тим самим забезпечити вільніший доступ регенераційних розчинів до всіх зерен катіоніту. При розпушенні вода надходить у фільтр знизу вгору. Після закінчення розпушення на фільтр починають подавати регенераційний розчин.

Спочатку з фільтра спускають водяну подушку до висоти шару над катіонітом порядку 20-30 мм. Після цього починають подавати регенераційний розчин. Регенераційний розчин повільно пропускають через катіоніт; при цьому контролюють кількість кальцію в відфільтрованому регенераційному розчині.

Коли кількість катіонів  $\text{Ca}^{2+}$  в регенераційному фільтраті досягне нуля, починається відмивання фільтра. Ця операція має на меті видалення із шару катіоніту продуктів регенерації. Відмивання ведуть вихідною водою при швидкості фільтрування 10 м/год. із скиданням відмивної води в дренаж. Через 4-5 хвилин необхідно взяти пробу води і перевірити загальну твердість води.

### 3.3 Обладнання, реактиви, посуд

1. Лабораторна установка;
2. Секундомір;
3. Мірний циліндр;
4. Реактиви для визначення вмісту катіонів  $\text{Ca}^{2+}$  у розчині після регенерації фільтру.

### 3.4 Визначення катіонів $\text{Ca}^{2+}$ у воді

До конічної колби вводять 100 мл досліджуваної води, додають 2 мл 10%-го розчину  $\text{NaOH}$  та декілька крупинок суміші мурексиду з  $\text{NaCl}$ . Після розчинення індикатора розчин набуває рожевого забарвлення. Пробу титрують 0,05 Н розчином трилону Б, енергійно перемішуючи до появи лілового забарвлення, яке не змінюється при подальшому додаванні трилону Б.

Як «свідок» при титруванні використовують перетитровану пробу.

Вміст кальцію  $X_{\text{Ca}^{2+}}$ , мг-екв/дм<sup>3</sup>, визначають за формулою

$$X_{\text{Ca}^{2+}} = \frac{V_1 \cdot N \cdot E \cdot 100}{V_2}, \quad (3.1)$$

- де  $V_1$  – об'єм розчину трилону Б, який витратили на титрування, мл;  
 $N$  – нормальність розчину трилону Б;

E – еквівалент кальцію, (20,04);

V<sub>2</sub> – об'єм досліджуваної води, мл.

Результати досліджень зводять в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати дослідів

Час початку та закінчення досліджу	Тривалість регенерації, t, год.	Витрата розчину, Q, м <sup>3</sup> /год.	Швидкість регенерації, м/год.	Об'єм катіоніту в фільтрі, W <sub>кат</sub> , м <sup>3</sup>	Твердість води до регенерації, T <sub>0</sub> , мг-екв/дм <sup>3</sup>	Твердість після регенерації фільтру, T <sub>0</sub> , мг-екв/дм <sup>3</sup>	Вміст катіонів кальцію під час регенерації, мг-екв/дм <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8

#### **Контрольні питання:**

1. Як відбувається регенерація катіонітових фільтрів?
2. Як визначити обмінну здатність катіоніта?
3. Як будується крива виснаження фільтра и для чого вона потрібна?
4. Як змінюється склад води при N-катіонітовому обміні?
5. Чому у водопідготовці не використовують одні N-катіонітові фільтри?

#### **Лабораторна робота № 4**

### **ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ВОДИ СПРОЩЕНОЮ АЕРАЦІЄЮ**

**Мета роботи:** дослідження процесу видалення заліза з води при її аеруванні та подальшому фільтруванні

#### **4.1 Загальні вказівки**

Відповідно до ДержСанПіН [1] концентрація заліза у питній воді не повинна перевищувати 0,2 мг/дм<sup>3</sup>.

У воді залізо може міститися у вигляді катіонів дво- і тривалентного заліза і колоїдів органічного і неорганічного заліза – Fe(OH)<sub>3</sub>, Fe(OH)<sub>2</sub>, FeS, тонко дисперсної суспензії – Fe(OH)<sub>3</sub>, Fe(OH)<sub>2</sub>, FeS.

Знезалізнення води досягається такими методами:

- ↗ аерацією;
- ↗ коагулюванням;
- ↗ вапнуванням;
- ↗ катіонуванням;
- ↗ комбінованими способами.

Вибір способу знезалізнення води залежить від форми, в якій залізо міститься у воді, від її рН та інших факторів і визначається спробним знезалізненням.

Спрощену аерацію застосовують для знезалізнення підземних вод, які містять двовалентного заліза більше 70%, мають рН>6,8, забарвленістю менше 15 град ПКШ, окислюваністю не більше  $0,15[\text{Fe}^{2+}] = 5$  мг/л  $\text{O}_2$ , за відсутності сульфідів, наявності солей амонію менше 5 мг/л і при перевищенні загального вмісту заліза проти іонного не більше 0,5 мг/л. Кількість кисню, необхідного для окислювання заліза, дорівнює

$$g_0 = 0,2[\text{Fe}^{2+}], \text{ мг/л,}$$

а кількість повітря, яке вводиться на  $1 \text{ м}^3$  води, складе

$$q_{\text{пов}} = 2[\text{Fe}^{2+}], \text{ л/м}^3,$$

де  $[\text{Fe}^{2+}]$  – кількість двовалентного закисного заліза, яке міститься у воді, мг/л.

Установки для знезалізнення води аерацією складаються з пристроїв для введення у воду повітря, контактного резервуара для завершення процесів окислювання і освітлювального фільтра для затримки гідроксиду заліза.

#### 4.2 Обладнання і прилади

1. Установа для знезалізнення води (рисунок 4.1);
2. Відро ємністю 6 л;
3. Циліндри Генера ємністю 100 мл;
4. Бюретка ємністю 25 мл з поділками до 0,1 мл;
5. Піпетки ємністю 20 і 10 мл;
6. Пробірки безбарвного скла з діаметром близько 1,5 см, ємністю 10 мл;
7. Паперові фільтри;
8. Скляні палички;
9. Термометр;
10. Порцелянові чашки.

### 4.3 Лабораторна установка

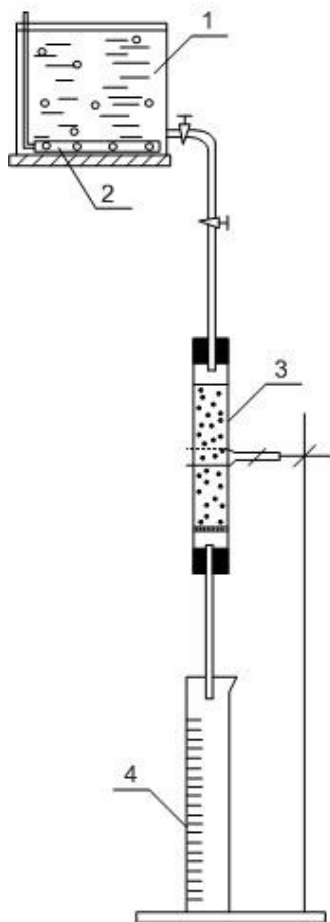


Рисунок 4.1 – Установка для дослідження процесу знезалізнення води:

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

### 4.4 Проведення роботи

Досліджувану воду наливають у ємкість для аерації. Після насичення води повітрям її витримують протягом 15-30 хв. (для окислювання закисного заліза): 15 хв. – при температурі води  $+15^{\circ}\text{C}$  и при  $\text{pH} = 7,2$ ; при більших температурах час збільшують.

Орієнтовно швидкість окислювання закисного заліза  $V_t$ , хв., можна визначити за формулою

$$V_t = 5 \cdot 2^{\frac{t^0}{10}}, \text{ хв.}, \quad (4.1)$$

де  $t^0$  – температура досліджуваної води.

При  $\text{pH} > 7,2$  швидкість окислювання збільшується. Потім воду пропускають через фільтр ( $h=500$  мм,  $d=50$  мм) із завантаженням з піску з розміром зерен 0,8-1,8 мм.

Вміст заліза і  $\text{pH}$  контролюють у фільтрованій воді через кожні 10-15 хв. (за завданням викладача залежно від швидкості фільтрування).

Отримані дані записують у вигляді таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати дослідів

Вихідні дані			Час фільтрування, год	Швидкість фільтрування, м / год	Об'єм відфільтрованої води, л	Дані після фільтрування			Примітка
Сумарний вміст Fe, мг/л	Вміст Fe (III), мг/л	Вміст Fe (II), мг/л				Сумарний вміст Fe, мг/л	Вміст Fe (III), мг/л	Вміст Fe (II), мг/л	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

#### 4.5 Визначення загального заліза

Визначення загального заліза проводять колориметрично із застосуванням роданіда.

##### 4.5.1 Реактиви, матеріали, посуд

1. Розчин 50 %-й роданіда калію чи амонію;
2. Стандартний розчин заліза, 1 мл якого містить 0,1 мг заліза (0,8634 г залізо (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;
5. Піпетки на 1 мл;
6. Піпетки з поділками на 1 і 2 мл;
7. Колба мірна на 50 мл;
8. Чашки порцелянові;
9. Фотоелектроколориметр; синій світлофільтр ( $\lambda = 490 - 508 \text{ нм}$ ); кювети з товщиною шару 1-5 см.

##### 4.5.2 Методика виконання дослідів

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 хв. 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.

Вміст заліза (мг/л) визначають за отриманою оптичною щільністю за графіком.

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

#### 4.5.3 Розрахунок

Вміст заліза  $X_{\text{Fe}}$ , мг/дм<sup>3</sup>, при візуальному визначенні в чашках обчислюють за формулою

$$X_{\text{Fe}} = \frac{V_1 \cdot C \cdot 1000}{V}, \text{ мг/дм}^3, \quad (4.2)$$

де  $V_1$  – об'єм стандартного розчину, витраченого на титрування при візуальному визначенні, мл;

$C = 0,1$  (1 мл стандартного розчину містить 0,1 мг заліза);

$V$  – об'єм проби, мл.

Для побудови калібрувального графіку із стандартного розчину готують серію розчинів вмістом 0-2,0 мг/дм<sup>3</sup> заліза й обробляють їх за методикою.

Визначення тривалентного заліза у воді виконують аналогічно визначенню загального заліза, але без добавки персульфату амонію.

Кількість двовалентного заліза знаходять, віднімаючи із загальної кількості заліза кількість тривалентного заліза.

*Примітка.* При вмісті заліза більш 3 мг/л проби розбавляють. Кратність розведення рекомендується викладачем.

#### **Контрольні питання:**

1. Назвіть форми, у яких залізо присутнє у поверхневих водах.
2. Назвіть форми, у яких залізо присутнє у підземних водах.
3. Негативні явища підвищеного вмісту заліза у воді.
4. Хімічні методи видалення заліза з води.
5. Безреагентні методи видалення заліза.
6. Суть якісного методу визначення вмісту заліза.
7. Методи кількісного визначення вмісту заліза.
8. Суть фотоелектроколориметричного методу визначення вмісту заліза.

## *Лабораторна робота № 5*

### **ФТОРУВАННЯ ВОДИ**

**Мета роботи:** дослідження методу фторування води.

#### **5.1 Загальні відомості**

Фтор є надзвичайно активним хімічним елементом, широко поширеним в природі. Він зустрічається виключно у вигляді сполук, передусім з кальцієм і алюмінієм. Основні мінерали які містять фтор – плавиковий шпат (флюорит)  $\text{CaF}_2$ , кріоліт  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ , фторапатит  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ . Сполуки фтору зустрічаються в природних водах, ґрунтах, атмосфері, рослинних організмах.

Вживання води з вмістом фтору менше рекомендованих норм, так само як і перевищення допустимих його норм, призводить до ряду специфічних захворювань. Так, недостатня кількість фтору в питній воді при тривалому її вживанні викликає карієс, його надлишок викликає флюороз – хворобу, яка відома під назвою «гіпоплазія».

Фторування проводять в тих випадках, коли в воді джерела водопостачання, міститься менше  $0,5 \text{ мг/дм}^3$  фтору. Необхідність фторування води в кожному конкретному випадку встановлюють органи санітарно-епідеміологічної служби.

Для фторування води застосовують кремнефторид натрію, кремнефторид амонію, фторид натрію, фтористоводневу кислоту, також можна використовувати мелений плавиковий шпат, який розчиняють в 5-10%-ному розчині сульфату алюмінію (в перерахунку на  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ). Розчин відстоюють і фільтрують через кварцевий пісок.

Фторвмісні реагенти вводять перед фільтрами і контактними освітлювачами або після очисних споруд перед знезараженням води.

При фторуванні води кремнефторидом натрію попередньо визначають вміст чистого  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  в технічному продукті та вміст фтору в хімічно чистій речовині. Для запобігання втрати реагенту на утворення осаду  $\text{SiF}_6$  його розчин готують на зм'якшеній  $\text{Na}$ -катіонуванням воді.

Необхідну дозу реагенту  $D_{\text{ф}}$ ,  $\text{мг/дм}^3$ , розраховують за формулою

$$D_{\text{ф}} = \left( m \cdot a - F^- \right) \frac{100}{K} \cdot \frac{100}{C_{\text{ф}}}, \quad (5.1)$$

де  $m$  – коефіцієнт, що залежить від того, куди вводять фторвмістний реагент; при введенні в очищену воду  $m=1$ , а перед фільтрами або контактними освітлювачами –  $m=1,1$ ;

$a$  – необхідний вміст фтору в оброблюваній воді, мг/дм<sup>3</sup>; приймають відповідно до [1];

$F^-$  – вміст фтору у вихідній воді, мг/дм<sup>3</sup>;

$K$  – вміст фтору в хімічно чистій речовині реагента, %;

$C_{\text{ф}}$  – вміст хімічно чистої фторвмісної речовини в технічному продукті, %.

## 5.2 Обладнання, реактиви, посуд

- 1) фотоелектроколориметр;
- 2) скляні циліндри ємністю 1 л;
- 3) конічні колби ємністю 250 мл;
- 4) піпетки на 5 та на 10 мл;
- 5) кремнефторид натрію, 0,1%-ний розчин;
- 6) хлорид цирконілу кислий розчин;

## 5.3 Проведення роботи

В шість скляних циліндрів ємністю 1 л наливають по 1 л досліджуваної води. В четвертий циліндр вводять дозу 0,1%-ного кремнефториду натрію, розраховану за формулою, в третій і в другий – відповідно на 0,5 і 1 мг/дм<sup>3</sup> менше розрахункової дози, а в п'ятий та в шостий – на 0,5 і 1 мг/дм<sup>3</sup> більше розрахункової дози. Введений розчин швидко перемішують, щоб уникнути утворення осаду в результаті реакції кремнефторид-іона з іонами кальцію і магнію, що містяться у воді.

Через 5-10 хвилин з верхньої частини кожного циліндра відбирають проби на аналіз для визначення вмісту фтору. У пробі з першого циліндра визначають вміст  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$ . Дані дослідів заносять в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати дослідів

Доза $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ мг/дм <sup>3</sup>	рН	Вміст $F^-$ в обробленій воді, мг/дм <sup>3</sup>	Вміст в воді, мг/дм <sup>3</sup>	
			$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
1	2	3	4	5

На підставі отриманих даних будують графік залежності вмісту фтору в обробленій воді від дози кремнефториду натрію і роблять висновок про ефективність взятої дози для фторування води.



#### 5.4 Визначення фтору в пробі води

У конічну колбу ємністю 250 мл відмірюють 100 мл досліджуваної води вводять 5 мл розчину хлориду цирконілу, вміст ретельно перемішують і залишають на годину в спокої при кімнатній температурі (20°C). Потім вимірюють оптичну щільність забарвленої проби по відношенню до розчину, отриманого в холостому досліді з дистильованою водою.

Вміст фтору  $X_{\text{ф}}$ , мг/дм<sup>3</sup>, розраховують за формулою

$$X_{\text{ф}} = \frac{C \cdot 100}{V}, \quad (5.2)$$

де  $C$  – концентрація фторидів, знайдена за калібровочним графіком, мг/дм<sup>3</sup>;

$V$  - об'єм досліджуваної води, мл.

#### *Контрольні питання:*

1. Які реагенти використовують для фторування води?
2. Викладіть методику визначення фтору в воді при хімічному аналізі.
3. Як впливає вміст фтору в воді на здоров'я людини?
4. Яка ситуація з фторуванням води в Україні?
5. Опишіть методику дефторування води.

#### *Лабораторна робота № 6*

### **ВИЗНАЧЕННЯ СОРБЦІЙНОЇ ЄМНОСТІ АКТИВОВАНОГО ВУГІЛЛЯ**

**Мета роботи:** визначення адсорбційної ємності вугілля за йодом.

#### **6.1 Загальні відомості**

Адсорбційну очистку активованим вугіллям застосовують для видалення з води молекулярно-дисперсних органічних речовин, що потрапляють у водойми із стічними промисловими водами.

Видалення молекулярно-дисперсних домішок звичайними методами очистки природних вод, наприклад коагулянтами, неможливо, так як ці домішки не адсорбуються на колоїдних гідроксидах алюмінію і заліза.

Сутність адсорбційного очищення води активованим вугіллям полягає в тому, що фенол, нітрофенол, анілін та інші речовини поглинаються (адсорбуються) величезною поверхнею вугілля, отриманої при його активуванні – продуванні через вугілля діоксиду вуглецю, водяної пари при

високій температурі. При цьому питома поверхня 1 г вугілля збільшується в тисячі разів.

Дози активованого вугілля, необхідні для очищення, підбирають експериментально, так як адсорбційна ємність активованого вугілля (кількість міліграмів речовини, яку адсорбує 1 г вугілля) залежить від адсорбованої речовини (адсорбтів), сировини, з якої отримане вугілля (адсорбент), і методу його активування, які обумовлюють певну марку вугілля.

Максимальну адсорбційну ємність вугілля визначають експериментально. За даними дослідів будують графіки, відкладаючи на осі ординат ємність вугілля, а на осі абсцис – концентрацію речовини, яку видаляють, після адсорбції, так звану рівноважну концентрацію.

Адсорбційні константи дозволяють кількісно охарактеризувати весь процес адсорбції досліджуваної речовини.

## 6.2 Обладнання, реактиви, посуд

1. Навішування активованого вугілля різних марок;
2. Йод 0,1 н;
3. Тіосульфат натрію  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 0,1 н.;
4. Крохмаль 1%-й;
5. Колби конічні ємністю 50 мл;
6. Мірні піпетки на 1 и 5 мл.

## 6.3 Методика виконання досліджень

Висушені до постійної температури навішування активованого вугілля (0,25 г) поміщають у колби та заливають 25 мл 0,1 н розчину йоду, зачиняють пробками, збовтують протягом 60 хв. та центрифугують або відстоюють. Після цього верхній шар зливають, відбирають піпеткою 5 мл і титрують 0,1 н розчином тіосульфату натрію в присутності 1-2 мл розчиненого крохмалю. З 0,1 н розчину йоду також відбирають 5 мл та титрують тіосульфатом натрію в присутності крохмалю.

Активність вугілля за йодом,  $X_{ав}$ , %, розраховують за формулою

$$X_{ав} = \frac{(C_0 - C_1) \cdot 100}{C_0}, \%, \quad (6.1)$$

де  $C_0$  – кількість тіосульфату натрію, який витрачений на титрування йоду;

$C_1$  – кількість тіосульфату натрію, який витрачений на титрування йоду після реакції його з активованим вугіллям.

Результати дослідів записують до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати дослідів

Марка активованого вугілля	$C_0$	$C_1$	$X_{ав}$
1	2	3	4

За результатами роблять висновки щодо активності запропонованих марок вугілля.

**Контрольні питання:**

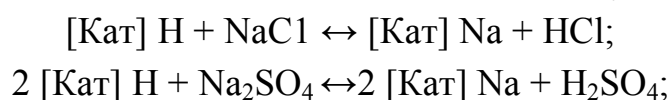
1. Яким вимогам повинне відповідати активоване вугілля?
2. Методи для визначення сорбційної ємкості активованого вугілля.
3. Суть методу адсорбційної очистки води активованим вугіллям.
4. Методи для визначення дози активованого вугілля.
5. Що називають поверхневою енергією? Які значення приймає ця величина у дисперсних системах?
6. Який процес називають адсорбцією і чому він відбувається мимовільно?
7. Які фактори впливають на величину адсорбції?
8. Яку величину називають граничною адсорбцією?
9. Які вимоги пред'являють до адсорбентів?

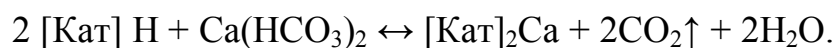
**Лабораторна робота № 7**  
**ЗНЕСОЛЕННЯ ВОДИ**

**Мета роботи:** дослідження процесу видалення розчинених у воді солей методом іонного обміну.

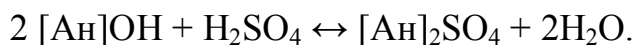
**7.1 Загальні відомості**

Знесолення води здійснюють послідовним фільтруванням її через Н-катионітові, а потім ОН-аніонітові фільтри. В Н-катионітових фільтрах катіони розчинених у воді солей обмінюються на іони Н-катионіту:





При фільтруванні води через ОН-аніонітові фільтри аніони, що містяться в Н-катионованій воді, обмінюються на іони  $\text{OH}^-$ , що містяться в аніоніті:



Вугільну кислоту, яка виділяється в процесі розкладання гідрокарбонатних солей, видаляють з Н-катионованої води аеруванням, тому що використовувати для цієї мети сильноосновні аніоніти економічно не вигідно. Видалення здійснюють у дегазаторах різних конструкцій. Однак глибокого видалення газів в дегазаторі не відбувається: залишкова концентрація вугільної кислоти при гарній роботі дегазатора становить приблизно 1,5-2,0 мг/л. Вугільну кислоту, яка залишилася у воді після керування, усувають сильноосновним аніонітом.

Катіонітові фільтри зазвичай регенерують 1-1,5% -м розчином сірчаної кислоти, аніонітові – 0,2-4%-м розчином їдкого натру (гідроксиду натрію). При більшій концентрації сірчаної кислоти з'являється небезпека обростання зерен Н-катионіту відкладеннями сульфату кальцію (загіпсування) через порівняно малу його розчинність.

Катіонітові фільтри в схемах знесолення води відключають на регенерацію при появі проскоку катіонів  $\text{Na}^+$ . Момент проскакування визначають за зниженням концентрації іонів  $\text{H}^+$  в Н-катионованій воді. Прийнято вважати за момент проскакування катіонів  $\text{Na}^+$  зниження концентрації іонів  $\text{H}^+$  до 0,15-0,20 мг-екв/л.

Застосування такого методу дає можливість отримувати воду з дуже низьким солемістом.

## 7.2 Дослідна установка

Дослідна установка (рисунок 7.1) складається з іонітових фільтрів, завантажених відповідно сильнокислотним катіонітом КУ-2 і сильноосновним аніонітом АВ-17, декарбонізатора, ємкості для катионованої води, баків для регенераційних розчинів сірчаної кислоти та їдкого натру, сполучних шлангів і затискачів.

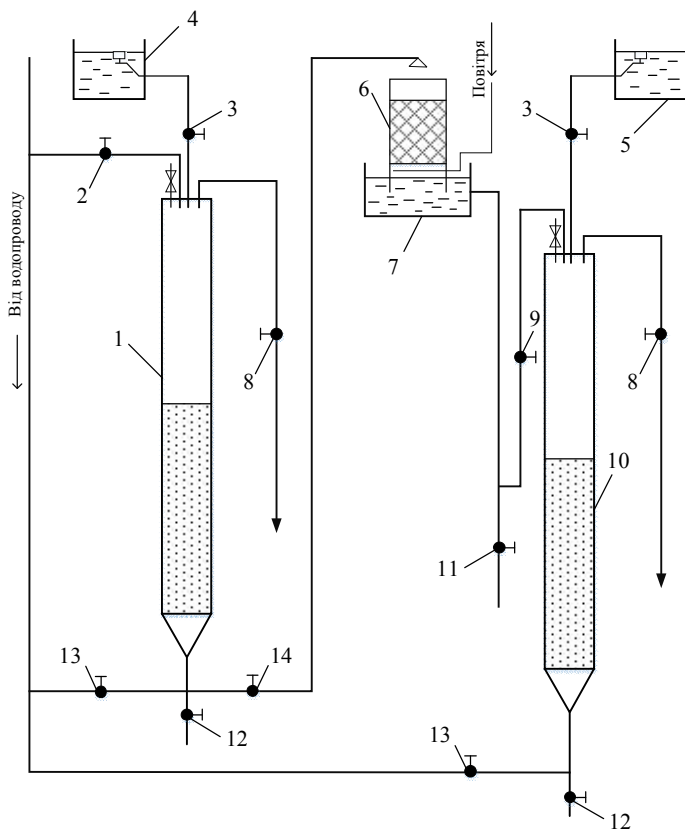


Рисунок 7.1 – Дослідна установка для знесолення води методом іонного обміну:

- 1 – катіонітовий фільтр;
- 2, 3, 8, 9, 11, 12, 13, 14 – вентилі;
- 4, 5 – баки для регенераційних розчинів сірчаної кислоти та їдконого натру;
- 6 – декарбонізатор;
- 7 – ємкість для катіонованої води;
- 10 – аніонітів фільтр

### 7.3 Обладнання, реактиви, посуд

1. Мірні циліндри;
2. Мірні піпетки на 1 і 5 мл;
3. Фотоелектроколориметр;
4. рН-метр;
5. Прилад для визначення загального солевмісту;
6. Реактиви для визначення загальної твердості;
7. Реактиви для визначення загальної лужності титруванням.

### 7.4 Хід роботи

Перед початком роботи у вихідній воді визначають твердість, лужність, солевміст.

Іонітові фільтри повинні бути відрегеновані та відмиті. Регенерацію катіонитового фільтру проводять розчином  $\text{NaCl}$ , аніонітових – розчином  $\text{NaOH}$ , відмивання – відповідно вихідною та катіонованою водою.

Пристаюючи до роботи на установці, спочатку включають подачу повітря в декарбонізатор. Потім, відкривши затискачі 2 і 14, вихідну воду подають на катіонітові фільтри і декарбонізатор. Швидкість фільтрування води через катіонітові фільтри – 10-15 м/год.

Через зажим 11, який відкривають одночасно з включенням установки в роботу, відбирають кілька проб катіонованої води і визначають в них концентрацію іонів водню, вугільну кислоту і загальну твердість.

Сталість концентрації іонів водню в декількох послідовних пробах показує, що робочий цикл катіонітового фільтру ще не закінчений (немає проскоку  $\text{Na}^+$ ). Переконавшись, що катіонітовий фільтр працює добре, включають в роботу аніонітові фільтри. Для цього закривають затискач 11 і відкривають затискачі 9 і 12. Швидкість фільтрування води через аніонітовий фільтр повинна дорівнювати швидкості її фільтрування через катіонітовий фільтр.

У воді після аніонітових фільтрів визначають солевміст, концентрацію вугільної кислоти.

Студенти відбирають проби води по 100 мл до зміни показника солевмісту.

Результати дослідів заносять в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1 – Результати дослідів

Вода	Солевміст, мг/л	Вугільна кислота, мг/л	Загальна твердість, мг- екв/л	Лужність, мг- екв/л	pH
Вихідна					
Катіонована					
Після декарбонізатора					
Знесолена					

За результатами виконаної роботи роблять висновки про ефективність знесолення води іонообмінним методом.

**Контрольні питання:**

1. Методи знесолення природних вод.
2. Кількісний метод визначення сумарного солевмісту.
3. Методи проведення знесолення іонним обміном.
4. Методи визначення вугільної кислоти.
5. Як і чим проводять регенерацію іонообмінних фільтрів?
6. Що називають іонітами і як їх класифікують?

7. Які властивості використовують для характеристики іонітів у якості сорбентів?

8. Схематично напишіть реакції, які відбуваються в процесі знесолення і зм'якшення води з використанням іонітів.

## **Лабораторна робота № 8**

### **ДЕХЛОРУВАННЯ ВОДИ ПРИ ПЕРЕХЛОРУВАННІ**

**Мета роботи:** дослідження видалення з води надлишку хлору при її перехлоруванні.

#### **8.1 Загальні відомості**

Перехлорування застосовують у тих випадках, коли нормальне хлорування недостатньо знезаражує воду або призводить до погіршення її органолептичних властивостей, а також для боротьби із заростанням труб, конденсаторів різними слизоутворюючими бактеріями. Воно завжди вимагає подальшого дехлорування – видалення надлишкового хлору.

В якості реагентів для дехлорування можна використовувати сульфід натрію та активоване вугілля, а також тіосульфат натрію і діоксид сірки. При невеликій кількості залишкового хлору видаляють аерацією.

Активоване вугілля поглинає хлор з води, адсорбуючи його на своїй поверхні, величина якої залежить від якості вугілля. При дехлоруванні води фільтруванням через шар активованого вугілля до неї не вводять ніяких сторонніх речовин. Тому застосування активованого вугілля для дехлорування води має ряд переваг перед дехлоруванням хімічними методами.

Під час дехлорування необхідно стежити за кількістю залишкового хлору у воді. Для цього попередньо встановлюють дозу речовини для дехлорування, при якій в воді зберігається 0,5 мг/л залишкового хлору.

#### **8.2 Обладнання, реактиви, посуд**

1. Колби конічні ємністю 500 мл;
2. Мірні піпетки на 1 и 5 мл;
3. Вугілля активоване БАУ;
4. Хлорна вода;
5. Тіосульфат натрію  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 0,1 н;
6. Буферна суміш з  $\text{pH}=4,5$ ;

7. Йодид калію, 10%-й;
8. Крохмаль 1%-й.

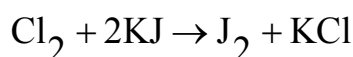
### 8.3 Методика виконання досліду

Спочатку проводять перехлорування води. У конічну колбу наливають 2 л досліджуваної води, доливають до неї піпеткою 200 мл хлорної води, що відповідає 10 мг/л хлору. Вміст колби струшують і залишають на 30 хв. Потім починають дехлорування. Перехлоровану воду в кількості 500 мл розливають в три плоскодонні колби. Дехлорування проводять фільтруванням через шар активованого вугілля.

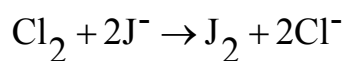
Першу пробу фільтрують один раз (висота шару вугілля 500 мм), другу – два (висота шару вугілля 250 мм), третю – три (висота шару вугілля 125 мм). Потім у фільтраті визначають залишкову дозу хлору. За отриманими даними будують графік: залишковий хлор – висота шару вугілля. На підставі графічних даних визначають висоту шару активованого вугілля при вмісті залишкового хлору 0,5 мг/л.

### 8.4 Визначення залишкового хлору

Щоб встановити кількість залишкового хлору у воді, до 100 мл досліджуваної води додають 5 мл 10%-го розчину йодиду калію, 5 мл буферної суміші з рН=4,5 і 1 мл 1%-го розчину крохмалю. При наявності активного хлору розчин забарвлюється в синій колір, так як хлор витісняє вільний йод з йодиду калію

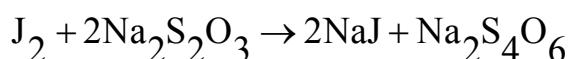


або

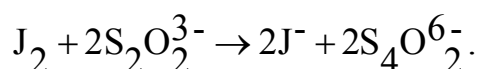


(йод, який виділився, забарвлює крохмаль у синій колір).

Потім до розчину додають по краплях з бюретки 0,005 н розчин тіосульфату натрію до знебарвлення розчину. При цьому протікає наступна реакція:



або



Розчин знебарвлюється, коли весь йод зв'язується тіосульфатом натрію. Йодид натрію і тетратіонат натрію, які утворюються в результаті реакції, крохмаль не забарвлюють.



Вміст активного хлору  $X_{Cl}$  визначають за формулою

$$X_{Cl} = \frac{V_1 \cdot N \cdot 35,5 \cdot 1000}{V_2}, \text{ мг/л,} \quad (8.1)$$

де  $V_1$  – об'єм розчину тіосульфату натрію, який витрачають на титрування досліджуваної води, мл;

$N$  – коефіцієнт нормальності розчину тіосульфату натрію;

$V_2$  – об'єм досліджуваної води, який взяли для титрування, мл;

35,5 – міліграм-еквівалент хлору.

### ***Контрольні питання:***

1. Для чого і як виконують хлорування води?
2. Розкрийте поняття «хлорпоглинальність», «активний хлор»?
3. Від яких факторів і як залежить ефект хлорування?
4. Чому доза хлору повинна бути більшою за величину хлорпоглинальності?
5. Як впливає температура на розчинність хлору у воді?
6. Методи визначення залишкового хлору у воді, їх характеристика?
7. Які реагенти необхідно використовувати при дехлоруванні води?
8. В яких випадках необхідно проводити перехлорування води?
9. Безреагентні методи дехлорування.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». – Затверджено МОЗ України 12.05.2010. – Київ, 2010. – 25 с.
2. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5 – 74:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2013. – 287 с.
3. Алемасова А. С. Экологическая аналитическая химия : учебн. пособие / А. С. Алемасова, К. С. Луговой. – Донецк : ДонНУ, 2010. – 271 с.
4. Зарубина Р.Ф. Анализ и улучшение качества природных вод: в 2-х ч. Часть 1. Анализ и оценка качества природных вод : учебн. пособие / Р. Ф. Зарубина, Ю. Г. Копылова. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 168 с.
5. Шуваева О. В. Современное состояние и проблемы элементного анализа вод различной природы = Modern State and Problems of Natural Waters Elemental Analysis : Аналит. обзор / О. В. Шуваева; СО РАН, ГПНТБ, ИНХ. – Новосибирск, 1996. – 48 с. – (Сер. Экология, вып. 41).
6. ГОСТ 4011-72. Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://standartgost.ru/g/ГОСТ\\_4011-72](http://standartgost.ru/g/ГОСТ_4011-72).
7. ГОСТ 4151-72. Вода питьевая. Метод определения общей жесткости [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.watermark.com.ua/ntd/GOST-4151-720.pdf>.
8. ДСТУ 4077-2001. Якість води. Визначення рН (ISO 10523:1994, MOD). – Київ : Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2003. — 16 с.
9. ДСанПіН 2.2.4.005-98. ДСанПіН 2.2.4.005-98 Фторування води на водопроводах централізованого господарсько-питного водопостачання [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2206>.
10. ДСТУ EN 1420-1:2004. Якість води. Визначання впливу органічних речовин на якість води, призначеної для споживання людиною. Оцінювання води в трубопровідних системах на запах. – Частина 1. Метод випробування (EN 1420-1:1999, IDT) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.standards.in.ua/?crd=1&d=7265&c=198&g=0>.

*Навчальне видання*

Методичні вказівки  
до виконання лабораторних робіт  
із навчальної дисципліни

**«СПЕЦКУРС З ОЧИСТКИ ПРИРОДНИХ ВОД»**

*(для студентів 5 курсу денної і заочної форм навчання  
освітнього рівня «магістр»  
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія,  
спеціалізації (освітні програми) «Водопостачання та водовідведення» та  
«Раціональне використання і охорона водних ресурсів»)*

Укладачі: **БЄЛЯЄВА** Валентина Михайлівна  
**СОРОКІНА** Катерина Борисівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *К. Б. Сорокіна*

План 2016, поз. 115М

---

Підп. до друку 21.06.2016

Формат 60×84 /16

Друк на ризографі.

Ум. друк. арк. 1,6

Зам. №

Тираж 50 прим.

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 4705 від 28.03.2014 р.