

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

К.Б.Сорокіна, В.О.Тихонюк-Сидорчук

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни

“ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИСТКИ ВОДИ ВІД РОЗЧИНЕНИХ ДОМІШОК”

(для студентів 5 курсу денної форми навчання
спеціальності 7.092601 – «Водопостачання і водовідведення»)



Харків – ХНАМГ – 2009

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Технологія очистки води від розчинених домішок” (для студентів 5 курсу денної форми навчання спеціальності 7.092601 – «Водопостачання і водовідведення») / Укл.: Сорокіна К.Б., Тихонюк-Сидорчук В.О. – Х.: ХНАМГ, 2009. – 32 с.

Укладачі: К.Б.Сорокіна,
В.О.Тихонюк-Сидорчук

Рецензент: доц., канд. техн. наук В.О.Ткачов

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очистки вод, протокол № 1 від 31.08.2009 р.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	4
1. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ І ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ В ЛАБОРАТОРІЇ	5
2. ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	7
ЗМ 1.1. Зм'якшення. Іонний обмін. Дезодорація. Фторування. Дефторування	7
<i>Лабораторна робота № 1. Визначення карбонатної і загальної жорсткості води</i>	7
<i>Лабораторна робота № 2. Зм'якшення води вапняно-содовим методом</i>	12
<i>Лабораторна робота № 3. Натрій-катіонітовий метод зм'якшення води</i>	15
<i>Лабораторна робота № 4. Видалення органічних домішок із забрудненої води методом фільтрування крізь шар активованого вугілля в динамічних умовах</i>	18
<i>Лабораторна робота № 5. Побудова ізотерми адсорбції домішок органічної речовини із води</i>	22
ЗМ 1.2. Знезалізнення. Опріснення і знесолення	24
<i>Лабораторна робота № 6. Видалення заліза з води коагуляцією</i>	24
<i>Лабораторна робота № 7. Видалення заліза з води аеруванням та фільтруванням</i>	26
ЗМ 1.3. Дегазація. Електрохімічна обробка. Спеціальні методи	28
<i>Лабораторна робота № 8. Видалення з води розчинених газів</i>	28
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	31

ВСТУП

Природна вода є багатокомпонентною 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 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} і аніонами HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- . Катіони H^+ , NH_4^+ , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} та ін. і аніони OH^- , CO_3^{2-} , NO_2^- , NO_3^- , F^- , I^- , HPO_4^{2-} , HSO_4^- , HSiO_3^- , HS^- 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.

Предметом вивчення дисципліни «Технологія очистки води від розчинених домішок» є методи, способи, технологічне оформлення та конструктивні особливості апаратів для видалення з природних та стічних вод речовин, які знаходяться у розчиненому стані.

Метою вивчення дисципліни є формування у майбутніх фахівців знань, пов'язаних з вирішенням питань очищення води від розчинених в ній домішок для доведення якості природної води до показників питної, підготовки глибокоочищеної води, а також обробки стічних вод з метою виділення з них цінних речовин, організації безстічного водопостачання та зменшення шкідливого впливу стічних вод на навколишнє середовище.

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. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ І ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ В ЛАБОРАТОРІЇ

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 %-ним розчином двовуглекислої соди. При опіку лугами також рекомендується обмити уражене місце водою, а потім 2 %-ним 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 му- сить бути тим більше, чим сильніше опік. Можна використовувати і мазі від опіків. При опіках другого ступеня (міхури) обпалене місце обробляють розчи- ном марганцевокислого калію чи 5%-ним розчином танина. При опіках третьо- го ступеня (руйнування тканин) рану слід покрити стерильною пов'язкою і ви- кликати 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 озна- йомитися з положеннями «Інструкції з техніки безпеки для працюючих у хімі- чних лабораторіях».

Лабораторний журнал студентом оформляє заздалегідь, напередодні виконання лабораторної роботи відповідно до графіка. Результати досліджень повинні відразу фіксуватися 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

ЗМ 1.1. Зм'якшення. Іонний обмін. Дезодорація. Фторування. Дефторування.

Лабораторна робота № 1. Визначення карбонатної і загальної жорсткості води

Мета роботи: Ознайомитися з методиками визначення карбонатної і загальної жорсткості води. Визначити карбонатну й загальну жорсткість у пробах питної води.

Обладнання: колби конічні місткістю 250 см³; піпетки різної місткості; бюретки місткістю 25 см³, штатив для бюреток.

Реактиви: 0,1 н розчин соляної кислоти, 0,5% розчин фенолфталеїну, 0,05% розчин метилового оранжевого, 0,1 н розчин трилону Б, аміачний буферний розчин (рН = 10), індикатор еріохром чорний Т, розчин сульфиду натрію, розчин солянокислого гідроксиламіну, 0,1 н розчин сірчаноокислого магнію.

Загальні відомості

Жорсткість води обумовлена наявністю в ній розчинних кальцієвих і магнієвих солей різних кислот (вугільної, сірчаної, соляної, азотної, фосфорної, кремнієвої). За вмістом солей жорсткості вода поділяється на: дуже м'яку, жорсткість від 0 до 1,5 мг-екв/л; м'яку-1,5-3 мг-екв/л; середньої жорсткості - 3-4,5 мг-екв/л, доволі жорстку – 4,5-6,5 мг-екв/л; жорстку – 6,5-11 мг-екв/л; дуже жорстку - жорсткість більше 11 мг-екв/л.

Розрізняють загальну, карбонатну й некарбонатну жорсткість води. Під *загальною жорсткістю* розуміється сума катіонів Ca²⁺ та Mg²⁺, які утримуються у воді в розчиненому вигляді або це сума карбонатної та некарбонатної жорсткостей. *Карбонатна жорсткість* обумовлена наявністю у воді гідрокарбонату кальцію Ca(HCO₃)₂ і магнію Mg(HCO₃)₂; і називається *тимчасовою*, оскільки вона практично повністю видаляється при кип'ятінні води (порушується карбонатна рівновага, зменшується вміст CO₂). Гідрокарбонати при цьому піддаються розкладанню з утворенням вуглекислоти і карбонатів, які випадають в осад:



Розчинність карбонату кальцію і гідроксиду магнію значно менша, ніж гідрокарбонатів, тому при нагріванні жорсткість води знижується. Жорсткість води, обумовлена гідрокарбонатом кальцію і гідроксидом магнію, називається *усуненою жорсткістю*.

Різниця між загальною і усуненою жорсткістю називається *постійною*. Карбонатну жорсткість не можна ототожнювати із усуненою жорсткістю, тому що карбонати, хоч і в незначній кількості, але розчинні у воді. Різницею між карбонатною і усуненою жорсткістю є *залишкова жорсткість*, обумовлена карбонатами, що залишилися в розчині. Сульфати, хлориди, гідросилікати кальцію і магнію визначають *некарбонатну жорсткість*. У ряді випадків жорсткість, обумовлену солями кальцію, називають кальцієвою, а солями

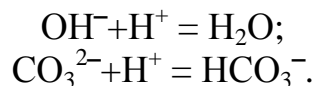
магнію - магнієвою.

Співвідношення між видами жорсткості залежить від типу природних вод. У більшості вод вміст $\text{HCO}_3^- < (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ і відповідає усуненій жорсткості. У лужних водах $\text{HCO}_3^- > (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ і загальну жорсткість умовно приймають за карбонатну.

Солі, які обумовлюють жорсткість, не є шкідливими для організму, але присутність їх у воді у великій кількості небажана, бо вони роблять воду непридатною для господарсько-питних потреб. Вода, яка містить такі солі, зовсім непридатна для живлення парових котлів через утворення щільних шарів накипу, а це призводить до перегріву котлів і сприяє швидкому їх руйнуванню. Тому воду, яку використовують для живлення паросилових установок, а також ТЕЦ, піддають спеціальному пом'якшенню. Загальна жорсткість живильної води для парових газотурбінних котлів повинна бути 0,03-0,1 мг-екв/л, залежно від виду палива, на якому вони працюють, для котлів утилізаторів 0,005-0,04 мг-екв/л, для барабанних котлів жорсткість води не повинна перевищувати 0,015-0,005 мг-екв/л (із збільшенням тиску від 4,5 мПа до 100 мПа зменшується), для прямоточних – 0,001 мг-екв/л. Вода з підвищеною жорсткістю не придатна для охолодження, карбонатна жорсткість має бути не більше ніж 5 мг-екв/л. Для охолодження двигунів внутрішнього згорання і заправки радіаторів автомобілів карбонатна жорсткість допускається 2-7 мг-екв/л. При охолодженні теплообмінної апаратури вода нагрівається. При цьому відбувається розкладання гідрокарбонатів кальцію і випадання карбонатів, осади яких забивають теплообмінник. Присутність солей некарбонатної жорсткості у воді, яка використовується для охолодження, не являє такої небезпеки. Загальна жорсткість води на господарсько-питні потреби повинна бути не більше 7 мг-екв/л.

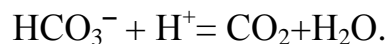
Визначення загальної лужності ґрунтується на реакції утворення нейтральних солей при титруванні води соляною кислотою. Загальна лужність води обумовлена присутністю аніонів OH^- , CO_3^{2-} та HCO_3^- .

Аніони OH^- та CO_3^{2-} титрують соляною кислотою у присутності індикатора фенолфталеїна (при $\text{pH}=8,3$) і обумовлюють лужність води по фенолфталеїну. При титруванні води соляною кислотою у присутності фенолфталеїну протікають наступні реакції:



На присутність у воді аніонів OH^- та CO_3^{2-} указує фарбування її у рожевий колір при додаванні до проби води індикатора фенолфталеїна. Лужність води, обумовлена цими аніонами, представляється кількістю кислоти, яка була витрачена на титрування води до знебарвлення.

Аніони HCO_3^- титруються соляною кислотою у присутності індикатора метилового оранжевого (при $\text{pH}=3,6$). Реакцію, що протікає, можна виразити рівнянням



Якщо лужність по фенолфталеїну дорівнює нулю, то загальна лужність обумовлена присутністю тільки гідрокарбонатів (HCO_3^-).

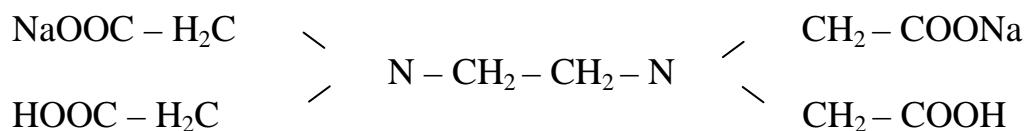
Для більшості природних вод аніони HCO_3^- пов'язані тільки з іонами Ca^{2+}

та Mg^{2+} . Тому в тих випадках, коли лужність по фенолфталеїну дорівнює нулю, можна вважати, що загальна лужність води дорівнює її карбонатній жорсткості.

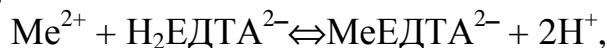
При визначенні загальної лужності слід враховувати можливість присутності у воді аніонів слабких кислот (фосфорної, кремнієвої тощо), які титруються разом з аніонами OH^- та CO_3^{2-} . Ці аніони при значній кількості заважають визначенню лужності. У зв'язку з цим необхідно враховувати їх концентрацію, якщо за загальною лужністю знаходиться карбонатна жорсткість води. Визначенню заважають також висока каламутність і кольоровість води, вільний хлор і вуглекислий газ.

Загальну жорсткість природних вод визначають комплексометричним методом (за допомогою трилона Б). Цей метод визначення загальної жорсткості заснований на тому, що іони кальцію і магнію зв'язуються трилоном Б у комплексні сполуки.

Формула трилону Б (H_2EDTA^{2-})



Протікає реакція



де $Me^{2+} = Ca^{2+}$ або Mg^{2+} , EDTA – етилендіамінтетраоцетова кислота.

Оскільки іони Ca^{2+} та Mg^{2+} утворюють з трилоном Б малостійкі комплекси, то титрування їх ведуть у лужному середовищі (рН=10), використовуючи для цього індикатор еріохром чорний Т, який утворює з іонами магнію вишнево-комплексну сполуку. При подальшому титруванні трилон Б з'єднується спочатку з іонами кальцію, а потім з іонами магнію, витискаючи індикатор. При цьому забарвлення індикатора переходить в синє. Лужне середовище утворюється додаванням до пробі буферного розчину, приготовленого з суміші гідроксиду й хлориду амонію ($NH_4OH + NH_4Cl$).

Точність визначення становить 0,05 мг-екв/л.

Визначенню жорсткості заважають висока каламутність і лужність води, іони важких металів, марганець.

Експериментальна частина

1. Визначення загальної лужності й карбонатної жорсткості

Якщо в досліджуваній пробі є завислі речовини, то їх видаляють фільтруванням через паперовий фільтр. Воду, яка має високе забарвлення, пропускають крізь активоване вугілля. Вільний хлор видаляють фільтруванням через шар активованого вугілля або додають до води тіосульфат натрію.

З конічної колби місткістю 250 мл відбирають піпеткою 100 мл досліджуваної води. До пробі додають 2-3 краплі фенолфталеїну (перемішати коловими рухами).

При появі рожевого відтінку воду титрують розчином соляної кислоти до знебарвлення. *Витрачена кількість кислоти на титрування відповідає лужності води по фенолфталеїну (а)*. Результати занести в табл. 1.1;

Потім в ту ж пробу слід додати 2-3 краплі розчину метилового оранжевого і продовжити титрування 0,1 н розчином соляної кислоти до переходу забарвлення з жовтого в рожеве. Для видалення вуглекислого газу, який утворився при підкисленні води, відтитровану пробу кип'ятять протягом 10 хв. При зміні забарвлення пробу дотитровують розчином соляної кислоти до рожевого відтінку. *Витрачена кількість кислоти на титрування відповідає лужності води по метиловому оранжевому (б).* Результати занести в табл. 1.1.

Загальну лужність води, мг-екв/л, визначають за формулою

$$L_{\text{заг}} = \frac{(a + б) \cdot N \cdot 1000}{V}, \quad (1.1)$$

де a – об'єм розчину кислоти, який був витрачений при титруванні з фенофталеїном, мл;

$б$ – об'єм розчину кислоти, який був витрачений при титруванні з метиловим оранжевим, мл;

N – нормальність розчину соляної кислоти, 0,1 мг-екв/л;

V – об'єм проби, $V=100$ мл.

Лужність води по фенолфталеїну, мг-екв/л, визначають за формулою

$$L_{\text{ф}} = \frac{a \cdot N \cdot 1000}{V} \quad (1.2)$$

Якщо лужність по фенолфталеїну дорівнює нулю або набагато менше загальної лужності, то карбонатну жорсткість приймають рівною загальній лужності води.

2. Визначення загальної жорсткості води

У конічну колбу треба налити 100 мл відфільтрованої досліджуваної води. Додати 5 мл буферного розчину. Додати 5-7 крапель індикатора еріохром чорного Т (колір води – червоно-малиновий).

Сильно збовтуючи, титрують 0,1 н розчином трилону Б до переходу забарвлення до синьо-сірого кольору. Витрачену кількість трилону Б на титрування записати в табл. 1.1.

Якщо на титрування було витрачено більше 10 мл 0,1 н розчину трилону Б, то це вказує, що в об'ємі води, який відміряли, сумарний вміст іонів кальцію і магнію більше 0,5 мг-екв. У таких випадках слід визначення повторити для меншого об'єму води, яку слід проаналізувати, розбавивши її до 100 мл дистильованою водою.

Нечітка зміна забарвлення при титруванні свідчить про наявність у воді міді й цинку, які усувають додаванням до проби 1-2 краплі розчину сульфідру натрію.

Якщо після додавання у пробу буферного розчину й індикатора проба поступово знебарвлюється з переходом забарвлення в сіре, то це вказує на наявність у пробі марганцю. У цьому випадку до проби (до внесення реактивів) слід додати 5 крапель 1%-ного розчину солянокислого гідроксиліміна і далі визначати жорсткість, як сказано вище.

Якщо лужність дуже висока, проведення досліду затягується в часі, для цього необхідно зменшити лужність додаванням до проби, яка аналізується, 0,1 н розчину соляної кислоти з наступним кип'ятінням 5 хв. Далі до проби дода-

ють буферний розчин, індикатор і дослід проводять по вище наведеній методиці.

Загальну жорсткість води, мг-екв/л, визначають за формулою

$$J_{\text{заг}} = \frac{V \cdot 0,1 \cdot K \cdot 1000}{V}, \quad (1.3)$$

де V – кількість розчину трилону Б, який був витрачений на титрування, мл;

K – поправочний коефіцієнт до нормальності розчину трилону Б,

V – об'єм води, взятий для визначення, мл.

Некарбонатну жорсткість, мг-екв/л, визначають за формулою

$$J_{\text{некарб}} = J_{\text{заг}} - J_{\text{карб}}. \quad (1.4)$$

Таблиця 1.1 - Результати визначення жорсткості води

№ проб	Об'єм проби для аналізу, мл	Об'єм 0,1 н НСІ на титрування з фенолфталеїном, мл (а)	Об'єм 0,1 н НСІ на титрування з метилом оранжевим, мл (б)	Об'єм 0,1 н трилону Б, мл	Лужність за фенолфталеїном, мг-екв/л ($J_{\text{ф}}$)	Лужність загальна, мг-екв/л ($J_{\text{заг}}$)	Жорсткість карбонатна, мг-екв/л ($J_{\text{карб}}$)	Жорсткість загальна, мг-екв/л ($J_{\text{заг}}$)	Жорсткість некарбонатна, мг-екв/л ($J_{\text{некарб}}$)

У кінці роботи зробити висновки про наявність жорсткості води й відповідність її нормам до питної та технічної води.

Питання на захист:

1. Чим обумовлюється наявність жорсткості у воді?
2. Класифікація вод за жорсткістю.
3. Поняття “загальна жорсткість”, “карбонатна жорсткість”, “усунена жорсткість”, “постійна жорсткість”, “некарбонатна жорсткість”, “залишкова жорсткість”.
4. Як впливає наявність іонів Ca^{2+} та Mg^{2+} у воді для різних споживачів (населення, котли, турбіни)?
5. Як визначити лужність, обумовлену аніонами OH^- та CO_3^{2-} ?
6. Як визначити лужність, обумовлену аніонами HCO_3^- ?
7. Методи усунення жорсткості води. Їх характеристика.
8. Як визначити загальну лужність, карбонатну жорсткість, загальну жорсткість?

Лабораторна робота № 2. Зм'якшення води вапняно-содовим методом

Мета роботи: Практично ознайомитись зі зм'якшенням води з використанням реагентів - вапна й соди.

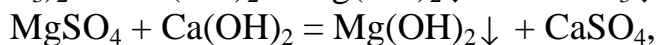
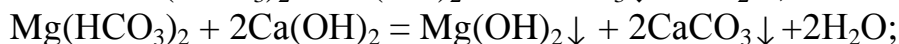
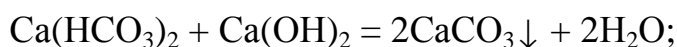
Обладнання: водяна баня, мірна колба на 200 мл; плоскодонні колби на 300 мл та 500 мл; конічна колба на 250 мл; піпетки на 50 мл; фільтр, циліндр.

Реактиви: вапняний розчин із вмістом СаО 1 мг/л; 5%-ний розчин соли; фенолфталеїн; бюретки з 1 н розчином НСІ, метиловий оранжевий.

Загальні відомості

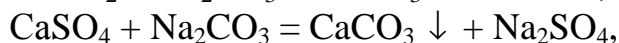
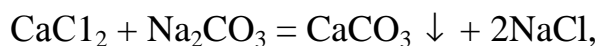
Вапняно-содовий метод пом'якшення води є найбільш поширеним. Вапно усуває карбонатну жорсткість, обумовлену наявністю у воді бікарбонатів кальцію і магнію за рахунок утворення гідроксиду магнію і карбонату кальцію, а магнієву жорсткість (частину некарбонатної жорсткості, обумовленої наявністю солей магнію) переводить в кальцієву жорсткість.

Реакції, що відбуваються при обробці води вапном, можна записати рівняннями:



або у йонному вигляді: $\text{Mg}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Mg}(\text{OH})_2\downarrow$.

Сода усуває некарбонатну кальцієву жорсткість води завдяки утворенню осаду карбонату кальцію:



або у йонному вигляді: $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} = \text{CaCO}_3\downarrow$.

При пом'якшенні води вапняно-содовим методом важливо встановити необхідні дози вапна й соди.

Експериментальна частина

1. Визначення дози вапна

У мірну колбу на 200 мл наливають піпеткою 100 мл вапняного розчину, що містить 1 мг/мл СаО, доливають до мітки досліджуваною водою і вміст колби збовтують. Потім розчин переливають у плоскодонну колбу місткістю 300 мл, закривають її скляною лійкою і переносять її на 5 хв. в киплячу водяну баню (для укрупнення кристалів утвореного осаду).

Далі розчин охолоджують до 20⁰С і фільтрують через щільний фільтр в конічну колбу місткістю 250 мл. Першими порціями фільтрату споліскують колбу. Фільтрат виливають. У конічну колбу на 250 мл відбирають піпеткою 50 мл профільтрованої рідини, додають 2-3 краплі фенолфталеїну (розчин повинен набути рожевий колір) і додають краплями з бюретки 0,1 н розчин хлоридної кислоти до знебарвлення розчину.

Об'єм вапняного розчину $V_{\text{СаО}}$, необхідний для пом'якшення 150 мл досліджуваної води, визначають за формулою

$$V_{\text{СаО}} = V_1 - \frac{4 \cdot V_2 \cdot N \cdot E_{\text{СаО}}}{C_{\text{СаО}}}, \quad (2.1)$$

де V_1 – об'єм взятого для визначення вапняного розчину, мл (100 мл);

V_2 – об'єм розчину хлоридної кислоти, витраченої на титрування 50 мл фільтрату, мл;

N – нормальність розчину хлоридної кислоти (молярна концентрація);

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

E_{CaO} – міліграм-еквівалент CaO (28);

4 – коефіцієнт розведення вапняного розчину досліджуваною водою.

Дозу оксиду кальцію D_{CaO} для пом'якшення 1 л досліджуваної води визначають за формулою

$$D_{CaO} = \frac{V_{CaO} \cdot C_{CaO} \cdot 1000}{200 - V_1}, \text{ мг/л}, \quad (2.2)$$

де 200 – об'єм суміші досліджуваної води і вапняного розчину, мл.

2. Визначення дози соди

У мірну колбу на 200 мл наливають піпеткою 100 мл досліджуваної води і визначений об'єм вапняного розчину (необхідний об'єм його V_{CaO} встановили в попередньому досліді). Збовтують вміст колби протягом 1-2 хв., додають 3 мл 5%-го розчину Na_2CO_3 і доливають досліджуваною водою до мітки.

Після повторного збовтування вміст мірної колби виливають в колбу з плоским дном місткістю 500 мл і переносять її на 5 хв. в киплячу водяну баню. Охолоджують розчин до $20^{\circ}C$ і фільтрують.

Потім відбирають піпеткою 100 мл фільтрату в конічну колбу місткістю 250 мл й визначають кількість залишкової соди у фільтраті титруванням 0,1 н розчином хлоридної кислоти в присутності метилового оранжевого.

Об'єм розчину $V_{Na_2CO_3}$, необхідний для пом'якшення 100 мл досліджуваної води, знаходять за формулою

$$V_{Na_2CO_3} = V_3 - \frac{2 \cdot V_4 \cdot N \cdot E_{Na_2CO_3}}{C_{Na_2CO_3}}, \quad (2.3)$$

де V_3 – об'єм взятого для визначення розчину соди, мл (3 мл);

V_4 – об'єм 0,1 н розчину хлоридної кислоти, витрачений на титрування 100 мл фільтрату, мл;

N – нормальність розчину хлоридної кислоти (молярна концентрація);

$E_{Na_2CO_3}$ – міліграм-еквівалент соди (53);

$C_{Na_2CO_3}$ – концентрація соди, мг/мл.

Дозу соди $D_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$ для пом'якшення 1 л досліджуваної води знаходять за формулою

$$D_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{V_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \cdot C_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \cdot 1000}{200 - (V_{\text{CaO}} + V_3)}, \text{ мг/л.} \quad (3.4)$$

3. Визначення кінцевої жорсткості

У мірну колбу на 250 мл наливають 200 мл досліджуваної води і визначені в попередніх дослідах об'єми вапняного розчину $\left(\frac{V_{\text{CaO}} \cdot 200}{200 - V_1}, \text{ мл} \right)$ і розчину соди $\left(\frac{V_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \cdot 200}{200 - (V_{\text{CaO}} + V_3)}, \text{ мл} \right)$, доводять до мітки дистильованою во-

дою, занурюють колбу на 5 хв. в киплячу водяну баню, охолоджують розчин до 20°C і фільтрують через щільний складчастий фільтр.

Відбирають 100 мл фільтрату і визначають загальну жорсткість його комплексометричним методом (див. Лаб. роб. № 1). При визначенні загальної жорсткості пом'якшеної води слід врахувати, що об'єм досліджуваної води рівний 200 мл, а витрата розчину трилону Б в 2,5 раза більша витраченого на титрування 100 мл фільтрату.

Результати дослідів записують у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати визначення доз реагентів

Жорсткість води до пом'якшення, мг-екв/л		Доза вапна, мг/л	Доза соди, мг/л	Жорсткість пом'якшеної води, мг-екв/л	Примітки
карбонатна (тимчасова)	некарбонатна (постійна)				

У кінці роботи зробити висновки про особливості вапняно-содового методу зм'якшення води.

Питання на захист:

1. Як відбувається зниження кальцієвої карбонатної жорсткості за допомогою вапна?
2. Як відбувається зниження магнієвої карбонатної жорсткості за допомогою вапна?
3. Як відбувається зниження кальцієвої некарбонатної жорсткості за допомогою вапна?
4. Методи усунення жорсткості води. Їх характеристика.
5. Як визначити дозу вапна для вапняно-содового методу зм'якшення води?

6. Як визначити дозу соди для вапняно-содового методу зм'якшення води?
7. Як визначити загальну жорсткість води?

Лабораторна робота № 3. Натрій-катіонітовий метод зм'якшення води

Мета роботи: Практично ознайомитись з способом зм'якшення води методом йонного обміну.

Обладнання: катіоніт КУ-2, скляний стакан, скляна колонка, конічна колба на 250 мл.

Реактиви: 4% розчин NaCl та HCl, аміачна буферна суміш, еріохром чорний, 0,05 н розчин трилону Б.

Загальні відомості

Зм'якшення води методом йонного обміну засноване на застосуванні іонітів – твердих нерозчинних матеріалів, здатних обмінювати йони, що входять до їх складу, на йони, що містяться в розчині. Матеріали, які обмінюють катіони, називаються катіонітами, а ті, що обмінюють аніони, – аніонітами.

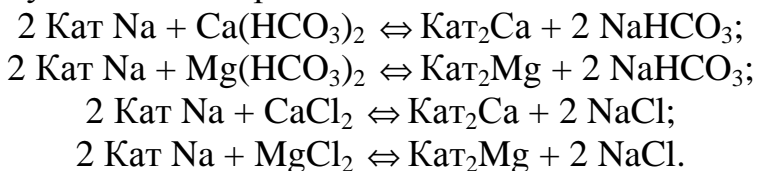
Обмін іонів протікає в строго еквівалентних кількостях. Стан рівноваги встановлюється дуже швидко. Ступінь іонного обміну протягом перших декількох секунд досягає 90-95%.

Основною технологічною характеристикою іонітів є їх обмінна ємність, яка визначається кількістю міліграм-еквівалентів іонів, вилучених з води 1 г повітряно-сухого іоніта. У практиці водообробки обмінну ємність іонітів виражають кількістю грам-еквівалентів іонів, поглинених 1 м³ іоніту в робочому стані.

Для зм'якшення води застосовують катіоніти в натрієвій формі, які здатні обмінювати йони Na⁺, на йони Ca²⁺ і Mg²⁺, що обумовлюють жорсткість води.

У даний час велике поширення отримав синтетичний катіоніт КУ-2, отриманий сополімеризацією стиролу й дивінілбензола. Це сульфокатіоніт з активною групою – SO₃H, що являє собою жовтуваті прозорі шарики діаметром 0,25–1 мм. Статична обмінна ємність катіоніту КУ-2 за іонами Ca²⁺, яка визначена за 0,1 н розчином CaCl₂, складає 4,3-4,9 мг-екв/г.

В основу катіонного методу зм'якшення води покладено процес фільтрування її через шар катіоніта. У цьому випадку, наприклад при Na-катіонуванні, відбуваються такі реакції:



Регенерують катіоніт КУ-2 12%-м розчином NaCl з наступним промиванням його дистильованою водою. Об'єм регенераційного розчину зазвичай вдвоє перевищує об'єм смоли.

Схема установки

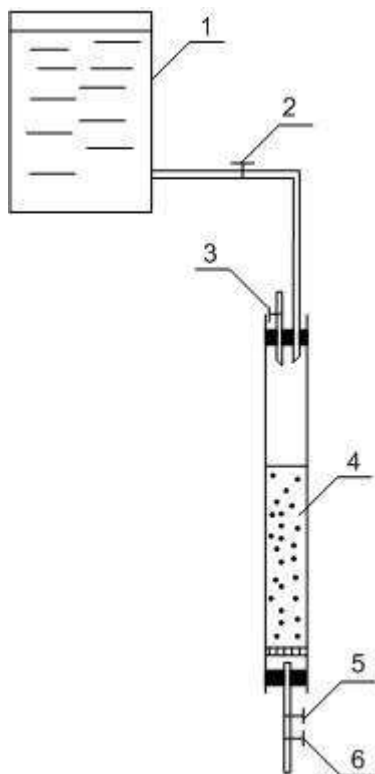


Рис. 3.1 - Лабораторна установка для дослідження іонообмінного зм'якшення води

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;

Для регулювання швидкості фільтрування води, яка повинна бути під час досліду постійною, відкривають повністю вентилі 2 і 6, а вентилем 5 регулюють швидкість фільтрування.

Швидкість визначають об'ємним способом. Вимірюють секундоміром час наповнення склянки визначеної ємкості, знаючи витрату й площу перетину 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.

При проведенні дослідження повністю відкривають вентилі 2 і 6. Через 15 хв. від початку досліду і далі, через кожні 15 хв. відбирають у колби проби зм'якшеної води для визначення жорсткості. За годинником відзначають час початку і кінця досліду. Початком вважається час подачі перших порцій вихідної води в катіонітовий фільтр. Кінцем досліду - момент проскоку, тобто досягнення жорсткості фільтрату визначеного викладачем значення.

Експериментальна частина

Визначають жорсткість досліджуваної води. До 100 мл досліджуваної води, відміряної мірною колбою в конічну колбу на 250 мл, приливають 5 мл аміачного буферного розчину та 6-7 крапель розчину індикатора еріохром чорного Т, який з йонами Ca^{2+} та Mg^{2+} утворює комплекси вишнево-червоного забарвлення. Цей розчин повільно титрують 0,05 н розчином трилону Б до зміни забарвлення на синє. Це свідчить про те, що всі йони Ca^{2+} та Mg^{2+} зв'язані трилоном Б.

Розраховують загальну жорсткість розчину (див. Лаб. роб. № 1).

Зачасно треба підготувати катіоніт до роботи. Катіоніт масою 20 г вміщують у скляний стакан, заливають сумішшю 4%-них розчинів NaCl і HCl і залишають на 2 год. Потім набухлий катіоніт переносять в колонку і відмивають його від іонів заліза фільтруванням через шар катіоніта соляною кислотою. Контролюють їх наявність роданідом калію. Для переводу в Na -форму через катіоніт пропускають 12%-ний розчин NaCl до тих пір, поки концентрації цієї солі на вході й виході стануть однаковими.

Набухлий катіоніт КУ-2 в Na -формі масою 20 г (в перерахунку на повітряно-суху речовину) вміщують у скляну колонку і фільтрують через катіоніт

жорстку воду з швидкістю $5 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год.}$ або $10 \text{ м}/\text{год.}$ (за вказівкою викладача). Об'ємну швидкість фільтрування V розраховують за формулою

$$V = 5 \cdot s \cdot 1,66, \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год.}, \quad (3.1)$$

де s – площа поперечного перерізу колонки, см^2 .

Відбирають проби фільтрату по 100 мл. У кожній пробі визначають жорсткість трилонометричним методом (див. Лаб. роб. № 1). Фільтрування проводять до тих пір, поки концентрація іонів жорсткості у фільтраті досягає $0,5 \text{ мг-екв/л.}$ Визначають об'єм фільтрату $V_{\text{ПР}}$, мл.

За отриманими даними розраховують обмінну ємкість катіоніта $E_{\text{ПР}}$ до проскоку іонів жорсткості за формулою

$$E_{\text{ПР}} = \frac{V_{\text{ПР}} \cdot Ж_{\text{ВИХ}}}{m}, \text{ г-екв/м}^3, \quad (3.2)$$

де $Ж_{\text{ВИХ}}$ – вихідна жорсткість досліджуваної води мг-екв/л. ;

m – вага катіоніту в перерахунку на повітряно-суху речовину, г.

Отримані результати записують у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати визначення обмінної ємкості катіоніту

Тривалість фільтроциклу, t, год.	Об'єм фільтрату, $V_{\text{ПР}}$, мл	Швидкість фільтрування, м/год	Об'єм (вага) катіоніту у фільтрі, м^3 (г)	Жорсткість вихідної води, мг-екв/л	Жорсткість зм'якшеної води, мг-екв/л			Робоча обмінна ємкість катіоніту, $E_{\text{ПР}}$, г-екв/м^3	Паспортна обмінна ємкість катіоніту, г-екв/м^3
					через 15 хв. після поча- тку філь- тру- вання	через 30 хв. після поча- тку філь- тру- вання	через 45 хв. після поча- тку філь- тру- вання		

У кінці роботи зробити висновки про особливості іонообмінного методу зм'якшення води.

Питання на захист:

1. Іонообмінний метод зм'якшення води.
2. Яка різниця між катіонітами й аніонітами? Які іоніти застосовують для зм'якшення води?
3. Регенерація іонітів?
4. Методи усунення жорсткості води. Їх характеристика.
5. Обмінна ємкість іонітів.
6. Як визначити робочу обмінну ємкість катіоніту?
7. Як визначити загальну жорсткість води?

Лабораторна робота № 4. Видалення органічних домішок із забрудненої води методом фільтрування крізь шар активованого вугілля в динамічних умовах

Мета роботи: Практично ознайомитися з особливостями процесу видалення органічних домішок методом адсорбції.

Обладнання: лабораторна установка, секундомір, 8-10 мірних циліндрів на 0,5 л, промивач, фотоелектроколориметр, зелений світлофільтр, кювети з товщиною шару 10 мм, піпетки на 1 і 2 мл, мірні колби ємкістю 100 мл.

Реактиви: розчин забрудненої води, буферний розчин, дистильована вода, розчин 4-аміноантипіріна, розчин заліzosинеродистого калія.

Загальні положення

Адсорбція розчинених речовин – це процес переходу молекул розчиненої речовини з об'єму 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 речовини, що адсорбується, з атомами поверхні твердого тіла. Різниця енергій цих двох процесів і є та енергія, з якою витягнута з розчину речовина утримується на поверхні адсорбенту.

Як адсорбенти застосовують різні марки активованого вугілля, силікагель, кокс, торф і такі відходи як зола і шлак. Найбільш поширеними адсорбентами є активовані вугілля. Вони мають сильно розвинену поверхню: питома поверхня (поверхня 1см³) складає до 1000 м².

При динамічній адсорбції очищувану воду фільтрують через шар адсорбенту. В цьому випадку частинка рідини переміщується щодо частинки адсорбенту. Розподіл домішок між адсорбентом і стічною водою може бути виражений співвідношенням

$$K_{\text{адс}} = \frac{a}{C}, \quad (4.1)$$

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

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

C – концентрація адсорбованої речовини за шаром адсорбенту, мг/л.

Ефективність видалення домішок з води визначається рівнянням

$$\Xi = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100, \%, \quad (4.2)$$

де C_0 - початкова концентрація домішок в очищуваній воді, мг/л.

Схема установки

Випробовувану стічну воду заливають в напірну ємність 1 при закритому крані дозатора 2. Після заповнення ємності 1 її закривають пробкою, крізь яку протягнута відкрита з обох кінців скляна трубка. У вугільний фільтр 3 завантажують наперед зважене на технічних вагах активоване вугілля марки КАД-йодний в кількості 25 г.

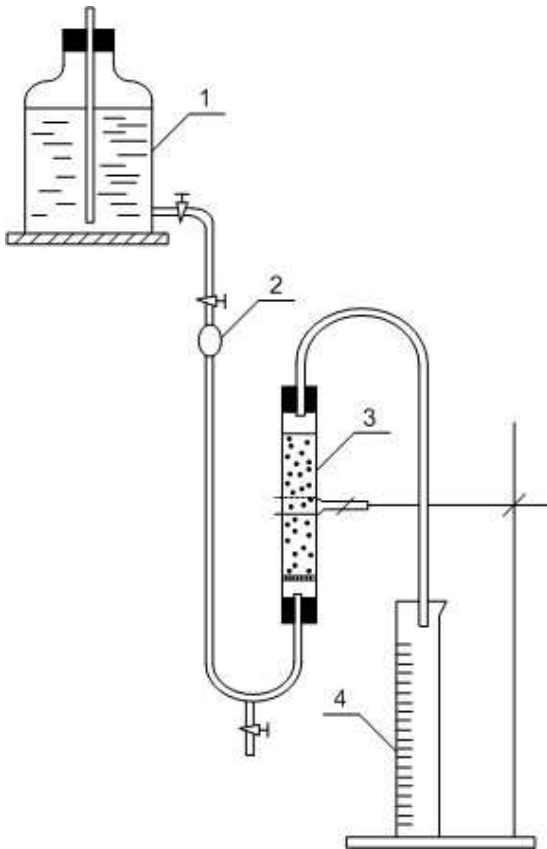


Рис. 1.1 – Схема установки для дослідження адсорбції в динамічних умовах:

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

Експериментальна частина

Встановлюють приймач 4. Відкривають кран дозатора 2, одночасно регулюючи надходження у фільтр 3 води за допомогою відліку крапель за певний інтервал часу за секундоміром. Фіксують час початку і закінчення дослідження. Спочатку встановлюють потік крапель з розрахунку ~10 крапель за 5 секунд (або ~20 крапель за 10 сек.). Після того, як почнеться надходження води в приймач, регулюють відкриття крана таким чином, щоб швидкість подачі води складала близько 0,8-1,0 л/год. (звіряючи за діленнями циліндра за час, відлічуваний за секундоміром). Відбирають 6-8 порцій по 0,5 л

очищеної води і визначають в них вміст фенолів фотоколориметричним методом. Визначають початкову концентрацію фенолів у вихідній воді. У кінці дослідження заміряють внутрішній діаметр трубки вугільного фільтру (в см).

1. Фотоколориметричний метод визначення фенолу в стічній воді

Піпеткою відбирають таку кількість забрудненої води, щоб після розбавлення в мірній колбі ємкістю 100 мл концентрація фенолу в розчині знаходилася в межах 1-5 мг/л (якщо необхідно стічну воду заздалегідь розбавляють). Пробу забрудненої води (або її розбавленого розчину) відбирають піпеткою і вміщують в мірну колбу ємкістю 100 мл, туди ж додають 1 мл буферного розчину, ретельно перемішують, додають дистильовану воду, приблизно до половини ємкості колби, знову перемішують, підливають 2 мл розчину 4-аміноантипіріну і після перемішування вводять розчин заліzosинеродистого калія (2 мл). Розчин доводять до мітки водою і перемішують.

Після 5-хвилинної витримки забарвлений розчин наливають в кювету з відстанню між гранями 10 мм і вміщують у фотоколориметр. Колориметрування проводять із зеленим світлофільтром, фотоколориметр включають в мережу за 20 хв. до початку визначення.

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

Установку стрілки гальванометра на нуль починають при включенні гальванометра на малу чутливість (положення "0" означає, що гальванометр вимкнений, "I" – включений на малу чутливість, "2" – включений на велику чутливість. При включенні рукоятку грубої настройки встановлюють в положення "I", потім переключають гальванометр в положення "2" і остаточно встановлюють

ють гальванометр рукояткою точної настройки. Після установки гальванометр вимикають (встановлюють в положення "0"). Наступний етап полягає у визначенні оптичної щільності вживаних розчинів реагентів ("глухий дослід"). Для цього в мірну колбу на 100 мл до дистильованої води додають всі реагенти (без аналізованої проби води).

Одержаний для "глухого досліду" розчин заливають в дві кювети, які встановлюють в праве і ліве плече фотоколориметра, відкривають шторки світлофільтра, включають гальванометр на чутливість "1", а потім на чутливість "2" і за допомогою відповідних рукояток встановлюють його стрілку на нуль. Після цього закривають шторки світлофільтра і в праве плече фотоколориметра замість встановленої кювети вміщують 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 відлічують за поділками правого барабана.

Концентрацію фенолу в розбавленому розчині C_1 , мг/л, визначають за калібрувальною кривою. C_n розраховують з урахуванням проведеного розбавлення:

$$C_n = C_1 \cdot n, \text{ мг/л,}$$

де n – кратність розбавлення.

Бажано, щоб визначувана за калібрувальною кривою концентрація C_1 знаходилася в її середній частині, цього добиваються регулюванням кратності розбавлення n .

2. Обробка результатів спостережень

Результати досліду записують за наступною формою:

Час початку досліду

Час закінчення досліду

Тривалість фільтрування t , час.

Кількість завантаженого сухого вугілля 25 г.

Початкова концентрація фенолів у воді C_0 , мг/л.

Дані, одержані при проведенні експерименту, зводять в таблицю за формою табл. 4.1.

На підставі одержаних даних обчислюють:

1. Середньогодинну кількість води, що поступила на фільтрування

$$W_{\text{ср}} = \frac{W}{t}, \text{ л/год.} \quad (4.3)$$

Таблиця 4.1 – Результати дослідження адсорбційного очищення води

Номер проби очищеної води від початку досліду (по 0,5 л)	Концентрація фенолу в пробі, мг/л
1	$C_1=$
2	$C_2=$
3	$C_3=$

Номер проби очищеної води від початку досліду (по 0,5 л)	Концентрація фенолу в пробі, мг/л
4	$C_4 =$
...	...
n	$C_n =$
Всього W = л	Середня концентрація фенолів $C = \frac{C_1 + C_2 + \dots + C_n}{n}, \text{ мг/л}$

2. Середню фіктивну швидкість фільтрування

$$V = 10 \cdot \frac{W_{\text{ср}}}{f}, \text{ м/год}, \quad (4.4)$$

де f – площа поперечного перетину фільтру, см^2 ;

10 – коефіцієнт переведення в м/год.

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

3. Кількість витягнутих фенолів

$$m = W \cdot (C_0 - C), \text{ мг}. \quad (4.5)$$

4. Величину адсорбції фенолів

$$a = \frac{m}{25}, \text{ мг/г}, \quad (4.6)$$

де 25 – завантаження активованого вугілля у фільтр в сухій вазі, г.

5. Ефективність витягання фенолів:

$$\Xi = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100, \%. \quad (4.7)$$

6. Адсорбційну константу розподілу

$$K_{\text{адс}} = \frac{a}{c}. \quad (4.8)$$

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

У кінці роботи зробити висновки про особливості адсорбційного вилучення органічних речовин (фенолу) із забрудненої води.

Питання на захист:

1. Як органічні речовини впливають на якість води?
2. Особливості адсорбційного очищення води.
3. Методи видалення органічних забруднень з води.
4. Методика дослідження адсорбційного очищення води
5. Як визначити вміст фенолів у воді?

Лабораторна робота № 5. Побудова ізотерми адсорбції домішок органічної речовини з води

Мета роботи: Практично ознайомитися з принципами побудови ізотерми адсорбції домішок органічної речовини із води.

Обладнання: 8 плоскодонних колб Ерленмеєра на 250 мл з пробками, мірний циліндр на 100 мл, 4 бюкси для зважування активованого вугілля, 4 воронки для фільтрування, фільтрувальний папір фотоелектроколориметр, зелений світлофільтр, кювети з товщиною шару 10 мм, піпетки на 1 і 2 мл, мірні колби ємкістю 100 мл.

Реактиви: розчин забрудненої води, буферний розчин, дистильована вода, розчин 4-аміноантипірину, розчин заліzosинеродистого калія.

Загальні положення

Органічні домішки можуть бути витягнуті з водного розчину за допомогою адсорбентів, до яких відносяться активоване вугілля, зола, шлак та інші тверді матеріали. Ефективність адсорбенту по відношенню до даної домішки оцінюється показником, що називають *величиною адсорбції*. Цей показник звичайно виражають в ммоль/г або мг/г (г/кг) адсорбенту і, оскільки його відносять до одиниці ваги адсорбенту, називають *питомою адсорбцією*. Величину адсорбції можна виражати у вагових відсотках. Порівнюючи значення питомої адсорбції якої-небудь домішки на різних адсорбентах, можна встановити, який з них придатніший для видалення цієї домішки з водного розчину.

При збільшенні концентрації розчиненої речовини величина адсорбції зростає.

Зв'язок між величиною адсорбції і рівноважною концентрацією домішки в розчині характеризується ізотермою адсорбції, яка описується

$$\text{рівнянням Фрейндліха } a = K \cdot C^n,$$

$$\text{рівнянням Лангмюра } a = a_0 \cdot \frac{C}{B+C},$$

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

a_0 – гранична величина адсорбції для даного адсорбенту, виражається в тих же одиницях;

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

a_0 , K , n , B – константи, визначувані експериментально.

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

Початкова ділянка ізотерми точніше описується рівнянням Фрейндліха, а подальша, пологіша ділянка – рівнянням Лангмюра.

Для знаходження значень постійних n і a_0 в рівнянні Фрейндліха його логарифмують і воно набуває вигляду

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

За дослідною кривою, підрахувавши ряд значень $\lg a$ і $\lg c$, відкладаючи

їх на координатних осях, одержують пряму лінію. Тангенс кута нахилу прямої дає постійну n , а відрізок, що відсікається нею на осі ординат – постійну K .

Для визначення постійних рівняння Лангмюра його зручно перетворити таким чином:

$$\frac{C}{a} = \frac{V}{a_0} + \frac{C}{a_0}$$

З дослідної кривої обчислюють значення $\frac{C}{a}$. Потім, зображаючи графічно, у функції від $\frac{C}{a}$ одержують пряму, нахил якої визначає постійну a_0 , а відрізок на осі ординат постійну V .

Визначивши вигляд рівняння ізотерми адсорбції та його константи, можна обчислити величину питомої адсорбції при будь-якій рівноважній концентрації розчину, а також необхідну дозу адсорбенту для досягнення заданого ефекту витягання домішки із стічної води.

Схема установки

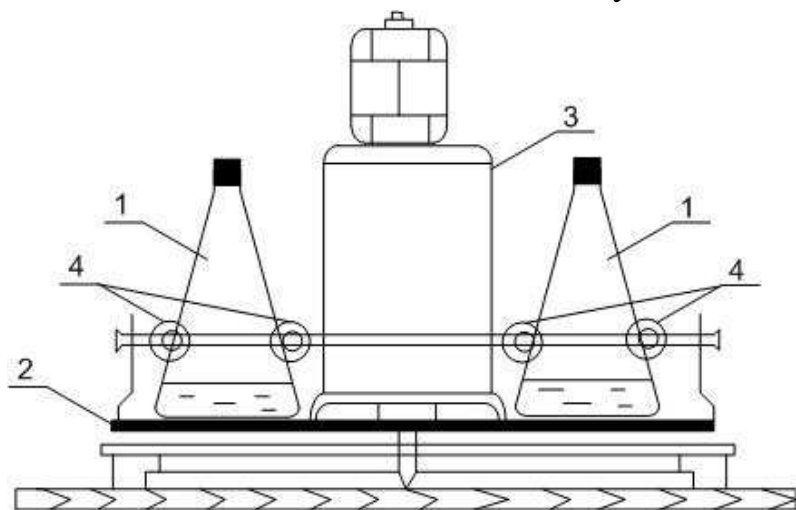


Рис. 5.1 - Схема установки:
1 – колба; 2 – платформа;
3 – електродвигун; 4 – затиск

Колби 1 з випробовуваним водним розчином і доданим до нього адсорбентом встановлюють на платформу 2 апарату для струшування, який приводиться в рух за допомогою електродвигуна 3. Колби фіксують на платформі апарату за допомогою затисків 4. Перед включенням апарату в мережу змінного струму його заземляють. Включення апарату проводять за допомогою тумблера, розташованого на електродвигуні.

Експериментальна частина

Побудову ізотерми проводять на прикладі адсорбції фенолів з водного розчину.

У вихідній забрудненій воді визначають вміст фенолу (див. Лаб. роб. №4).

У колбу Ерленмейєра (4 шт.) заливають мірним циліндром по 100 мл випробовуваного розчину. Потім додають наперед зважені на аналітичних вагах навішування активованого вугілля. У першу колбу 3,0 г, в другу – 2,5 г, в третю – 2,0 г, в четверту – 1,5 г. Колби закривають пробками, встановлюють в апарат для струшування і після його включення вміст колб перемішується протягом 60 хв. Фіксують час початку досліду і температуру в приміщенні. Після включення апарату водний розчин відстоюється від частинок вугілля протягом 15 хв., потім розчини фільтрують через паперовий фільтр, відкидаючи перші порції (10-

15 мл). Фільтрати збирають в підготовлені колби. У кожному фільтраті визначають вміст фенолів фотоколориметричним методом (див. Л.р. №4).

У журналі спостережень фіксують час початку і кінця досліду, температуру, концентрацію фенолу у вихідному розчині C_0 г/л, об'єм вихідного розчину V мл, тип застосованого адсорбенту.

Результати досліду зводять в таблицю за формою табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати дослідження адсорбційного очищення води

Навішування адсорбенту, м, г	Рівноважна концентрація фенолу в розчині, С, г/л	Адсорбція, а, % вага

Величину адсорбції визначають за формулою

$$a = \frac{(C_0 - C) \cdot V \cdot 100}{100 \cdot m}, \% \quad (5.1)$$

За даними досліду будують ізотерму, відкладаючи значення a у відсотках по осі ординат, а по осі абсцис значення C в мг/л, а потім знаходять постійні рівнянь ізотерми адсорбції.

У кінці роботи зробити висновки щодо побудованої ізотерми адсорбції домішок органічної речовини з води і отриманих дослідних даних.

Питання на захист:

1. Як органічні речовини впливають на якість води?
2. Особливості адсорбційного очищення води.
3. Методи видалення органічних забруднень з води.
4. Методика дослідження адсорбційного очищення води
5. Як визначити вміст фенолів у воді?
6. Методика будування ізотерми адсорбції домішок органічної речовини із води.

ЗМ 1.2. Знезалізнення. Опріснення і знесолення

Лабораторна робота № 6. Видалення заліза з води коагуляцією

Мета роботи: Практично ознайомитися з особливостями протікання процесу видалення заліза з води коагуляцією.

Обладнання: циліндри ємкістю 500 мл, колби місткістю 50-100 мл, піпетка на 1, 2 і 10 мл, скляні палички, колби місткістю 500 мл, порцелянові чашки, паперові фільтри, лійки, колба мірна на 50 мл, фотоелектроколориметр; синій світлофільтр ($\lambda=490-508$ нм); кювети з товщиною шару 10 мм.

Реактиви: розчин сульфату алюмінію 1%-ний, розчин 50%-ний роданіда калію чи амонію, стандартний розчин заліза (1 мл містить 0,1 мг заліза -

0,8634 г заліза (III) - амоній сульфату $\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2 \times 12\text{H}_2\text{O}$ розчиняють у дистильованій воді, додають 10 мл концентрованої сірчаної кислоти і доводять обсяг до 1 л), розведена соляна кислота (1:1), персульфат амонію.

Загальні відомості

Відповідно до ДСанПіН концентрація заліза у воді не повинна перевищувати 0,3 мг/л. Максимально припустима концентрація заліза у воді нормується і для деяких видів промисловості.

У воді залізо може міститися у вигляді катіонів двох- і тривалентного заліза і колоїдів органічного і неорганічного заліза - $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, FeS , тонкодисперсній суспензії - $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, FeS . Знезалізнення води досягається: аерацією; коагулюванням; вапнуванням; катіонуванням і 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.

При обробці поверхневих вод коагулянтами відбувається соосадження гідроксидів солей коагулянтів, які утворюються при гідролізі, й гідроліз солей заліза, які знаходяться у природній воді у вигляді колоїдів.

Експериментальна частина

1. Визначення вмісту заліза у воді

Визначають попередньо вміст заліза і рН досліджуваної води. Визначення загального заліза роблять колориметрично із застосуванням роданіду калія чи амонію.

Пробу наливають до мітки в колбу місткістю 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. Холостий дослід виконують з тими ж реактивами, тільки замість досліджуваної води наливають дистильовану.

Вміст заліза (мг/л) визначають за отриманою оптичною щільністю за графіком. Для побудови калібрувального графіка зі стандартного розчину готують серію розчинів з вмістом 0-2,0 мг/л заліза й обробляють їх за стандартною 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 більше 3 мг/л проби розбавляють. Кратність розведення рекомендується викладачем.

2. Визначення дози коагулянту для знезалізнення води

Досліджувану воду наливають до мітки в 7 циліндрів ємкістю 500 мл кожний, доливають градуйованою мірною піпеткою визначену кількість сульфату алюмінію відповідно до табл. 6.1.

Вміст циліндрів змішують швидким (5-20 с.), а потім повільним (5 хв.) обертанням скляної палички і залишають на 30 хв. Потім з верхнього шару во-

ди піпеткою чи сифоном відбирають по 100 мл води, яку фільтрують через щільні паперові фільтри. У фільтраті визначають загальний вміст заліза.

Найменша доза сульфату алюмінію, яка знизилася вміст заліза в досліджуваній воді до 0,3 мг/л, характеризує знезалізнення води коагулюванням. Результати визначення записують у таблицю за формою табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Результати дослідження знезалізнення води коагулюванням

Показники	Номери циліндрів						
	1	2	3	4	5	6	7
Доза $Al_2(SO_4)_3$, мг/л	10	30	50	100	150	200	300
Кількість 1% $Al_2(SO_4)_3$, мг/л	0,5	1,5	2,5	5	7,5	10	15
Вміст заліза у фільтраті, мг/л							
Вміст заліза у вихідній воді, мг/л							

В кінці роботи зробити висновки щодо протікання процесу видалення заліза з води за допомогою коагуляції.

Питання на захист:

1. Як вміст заліза у воді впливає на її показники?
2. Методи знезалізнення води.
3. Як визначають вміст загального заліза у воді?
4. Як визначають вміст тривалентного й двовалентного заліза у воді?
5. Як протікає процес коагулювання?

Лабораторна робота № 7. Видалення заліза з води аеруванням і фільтруванням

Мета роботи: Практично ознайомитися з особливостями протікання процесу знезалізнення за допомогою аерування та фільтрування.

Обладнання: установка для знезалізнення води, ємкість об'ємом 6 л, циліндри Генера місткістю 100 мл, бюретка місткістю 25 мл з розподілами до 0,1 мл, піпетки місткістю 20 і 10 мл, пробірки безбарвного скла з діаметром близько 1,5 см, місткістю 10 мл, паперові фільтри, скляні палички, термометр, порцелянові чашки, фотоелектроколориметр; синій світлофільтр ($\lambda=490-508$ нм); кювети з товщиною шару 10 мм.

Реактиви: розчин сульфату алюмінію 1%-ний, розчин 50%-ний роданіда калію чи амонію, стандартний розчин заліза (1 мл містить 0,1 мг заліза - 0,8634 г заліза (III) - амоній сульфату $Fe(NH_4)(SO_4)_2 \times 12H_2O$ розчиняють у дистильованій воді, додають 10 мл концентрованої сірчаної кислоти і доводять об'єм до 1 л), розведена соляна кислота (1:1), персульфат амонію.

Загальні відомості

Спрощену аерацію застосовують для знезалізнення підземних вод, які містять ≥ 70 % двовалентного заліза, із рН > 6,8, кольоровістю менше 15 град.,

окислюваністю не більше $0,15 [\text{Fe}^{2+}] + 5 \text{ мг/л } \text{O}_2$, за відсутності сульфідів, за наявності солей амонію $< 5 \text{ мг/л}$ і при перевищенні загального вмісту заліза проти іонного не більше ніж на $0,5 \text{ мг/л}$. Кількість кисню, необхідного для окислювання заліза, дорівнює (мг/л):

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

а кількість повітря, яке вводиться на 1 м^3 води, складе (л/м³)

$$q_{\text{пов}} = 2 [\text{Fe}^{2+}],$$

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.

Схема установки

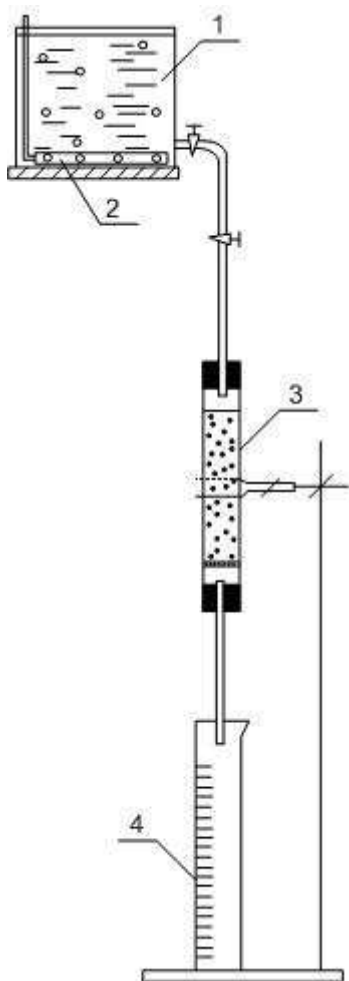


Рис. 7.1 - Установка для дослідження процесу знезалізнення води:

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

Експериментальна частина

1. Визначення вмісту заліза у воді

Визначення загального заліза виконують колориметрично із застосуванням роданіду калію чи амонію (див. Л.р. №6).

2. Дослідження знезалізнення води

Досліджувану воду повільно наливають у пристрій, де відбувається її аерація. У посудині воду 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 великих температурах час збільшують). Орієнтовно його швидкість V_t , хв., можна визначити за формулою

$$V_t = 5 \cdot 2^{t^0}, \quad (7.1)$$

де t^0 - температура досліджуваної води.

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

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

Отримані дані записують у вигляді таблиці за формою табл. 7.1.

У кінці роботи зробити висновки щодо протікання процесу видалення заліза з води за допомогою аерації та фільтрування.

Таблиця 7.1 – Результати дослідження процесу знезалізнення води

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	

Питання на захист:

1. Як вміст заліза у воді впливає на її показники?
2. Методи знезалізнення води.
3. Як визначають вміст загального заліза у воді?
4. Як визначають вміст тривалентного та дивалентного заліза у воді?
5. Як досліджують процес видалення заліза з води за допомогою аерації та фільтрування?

ЗМ 1.3. Дегазація. Електрохімічна обробка. Спеціальні методи

Лабораторна робота № 8. Видалення з води розчинених газів

Мета роботи: Придбання практичних навиків визначення наявності у воді розчинених газів.

Обладнання: рН-метр, піпетки з відтягнутими кінцями нестандартні, бюретки, штатив, конічна колба ємкістю 250 мл, плоскодонна колба ємкістю 200 мл; кисневі склянки з притертими пробками ємкістю 100, 200, 250, 300 мл нестандартні, піпетки з відтягнутими кінцями нестандартні, бюретки, штатив, термометр ртутний.

Реактиви: 0,1 н розчин NaOH, вапняний розчин, фенолфталеїн (0,1%-ний розчин); марганець хлористий MnCl₂, лужний розчин йодистого калію NaOH, KI), розчин сірчаної кислоти H₂SO₄ (розбавленої 1:4), натрій сірчановатистоокислий (тіосульфат натрію 0,025 н), крохмаль розчинний (0,5% розчин).

Загальні відомості:

Розчинені у воді гази – діоксид вуглецю, кисень, сірководень, азот, метан – можуть бути видалені з води фізичними методами (аерація, кип'ячення, вакуумування), хімічними методами і їх комбінацією. (видаленням більшої частини розчиненого газу фізичними методами з глибоким видаленням частини, що залишилася, хімічними методами). Зазвичай діоксид вуглецю і метан видаляють з води аерацією, кисень – вакуумуванням або хімічним методом. Азот є інертним

газом, і звичано не виникає необхідності в його видаленні.

З розчинених у воді газів найбільше значення мають кисень і діоксид вуглецю. За наявності у воді гнильних процесів, що протікають у водоймищах при обмеженому доступі повітря, можлива поява в природних водах сірководня і метану.

Розчинність газу у воді залежить від його природи, температури і парціального тиску. Для даної температури розчинність газу C , мг/л, може бути визначена за законом Генрі

$$C = K \cdot P, \quad (8.1)$$

де C – коефіцієнт пропорційності, рівний розчинності газу при даній температурі та тиску 1 атм.;

P – парціальний тиск газу, атм.

Концентрація будь-якого газу у воді прагне прийти до рівноваги з парціальним тиском цього газу над водою, тому безперервно відбуваються оборотні процеси сорбції і десорбції.

Експериментальна частина:

1. Видалення вуглекислоти

Заздалегідь готують стандартний розчин. У плоскодонну колбу або склянку з пробкою наливають 200 мл дистильованої води та додають 0,5 мл 10%-ного розчину їдкого натра, збовтують і додають 0,2 мл розбавленого (0,1%-ного) розчину фенолфталеїну.

Визначають вміст вуглекислого газу CO_2 у вихідній воді. До 100 мл досліджуваної води, відміряною піпеткою в конічну колбу ємкістю 250 мл, додають 2-3 краплі фенолфталеїну і титрують 0,1 н розчином $NaOH$ до появи рожевого забарвлення розчину, який відповідає за інтенсивністю забарвленню стандартного розчину, рН якого за фенолфталеїном дорівнює 8,4. У міру титрування вуглекислий газ повітря розчиняється в титрованому розчині. Тому результати першого титрування завищені. Друге титрування проводять швидше.

Далі видаляють вуглекислоту з води одним з методів – фізичним (аерація) або хімічним (обробка вапном або їдким натром) – за вказівкою викладача.

Визначають вміст вуглекислоти в обробленій воді.

Кількість розчиненого вуглекислого газу CO_2 розраховують за формулою

$$CO_2 = \frac{V_1 \cdot N \cdot E \cdot 1000}{V_2}, \text{ мг/л}, \quad (8.2)$$

де V_1 – об'єм розчину $NaOH$, витрачений на титрування, мг/л;

N – нормальність розчину $NaOH$;

E – мг-екв/л CO_2 (22);

V_2 – об'єм досліджуваної води, взятий для титрування, мл.

Результати вимірювань і підрахунків записують в табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Результати вимірювань і підрахунків

Номер проби	Вміст CO_2 , мг/л		Ефективність методу	Характеристика води
	до видалення	після видалення		

2. Визначення вмісту розчиненого у воді O₂ йодометричним методом Вінклера

Після отримання кисневих склянок і досліджуваної води необхідно:

1) за допомогою термометра в склянці визначити температуру аналізованої води;

2) прокалібрувати кисневі склянки. Точну ємкість кисневих склянок знаходять зважуванням. Визначають вагу ретельно висушеної порожньої склянки разом з пробкою і вагу після наповнення дистильованою водою при 20°C і закритій пробці так, щоб в ній не залишалось бульбашок повітря. Різниця у вазі між порожньою і заповненою склянками чисельно дорівнює точній вазі рідини в склянці, а при щільності рідини $\rho=1$ г/мл – об'єму склянки в мл;

3) 2-3 рази обполоснути кисневу склянку досліджуваною водою.

У кисневу склянку, заповнену доверху пробкою досліджуваної води, вводять піпеткою 2 мл MnCl₂. Наповнену цим розчином піпетку треба занурити до самого дна кисневої склянки, відкрити верхній її кінець і поволі вийняти піпетку. Потім іншою піпеткою налити 2 мл лужного розчину КІ (розчин NaOH з КІ). У цьому випадку кінець піпетки підводять тільки під рівень проби в шийці кисневої склянки. Потім склянку обережно закривають пробкою так, щоб під пробкою не залишалось бульбашок повітря. При цьому з склянки виливається 4 мл аналізованої води, тобто стільки, скільки налили реактивів. На цю втрату вносять при розрахунку відповідну поправку. Закрити пробкою склянку кілька разів перевертають вверх дном і назад для перемішування її вмісту. Про вміст кисню судять за забарвленням: чим темніше забарвлення, тим більше кисню.

Дають осаду відстоятися (не менше 10 хв.), відкривають склянку і наливають в неї піпеткою 10 мл розчину H₂SO₄ розбавленою 1:4. Кисневу склянку знову закривають пробкою (на рідину, що виділяється при цьому не зважають) і, перевертаючи, перемішують її вміст. При цьому відбувається розчинення осаду і окислення іодистого калію гідроксидом марганцю з виділенням йоду. Розчин забарвлюється в ясно-бурий колір. Потім переливають вміст склянки в колбу для титрування і обполіскують склянку дистильованою водою, зливаючи її в ту ж колбу. Через 5 хв. титрують йод, що виділився, розчином тіосульфату натрію до ясно-жовтого забарвлення. Титрування кожної проби проводять не менше 2 разів, причому результати окремих титрувань не повинні відрізнятися один від одного більш ніж на 0,2 мл. За остаточний результат беруть середнє значення двох титрувань. Потім додають 1-2 мл розчину крохмалю і продовжують титрування до зникнення синьої забарвлення.

Вміст розчиненого кисню O₂, мг/л, визначають за формулою

$$O_2 = \frac{a \cdot N \cdot 8 \cdot 1000}{V_1 - V_2}, \text{ мг/л}, \quad (8.3)$$

де a – об'єм розчину тіосульфату, витрачений на титрування, мл;

N – нормальність розчину тіосульфату;

8 – мг-екв O₂, мг;

V_1 – ємкість кисневої склянки, мл;

V_2 – загальний об'єм реактивів, доданих до кисневої склянки при фіксації кисню, мл.

Аналогічно визначають вміст кисню при іншій температурі.

Результати досліджень заносять до табл. 8.2.

Таблиця 8.2 – Результати визначення вмісту розчиненого кисню

Номер проби	Об'єм розчину тіосульфату, витраченого на титрування, а, мл	Вміст розчиненого кисню O_2 , мг/л		
		$T_1=10^{\circ}C$	$T_2=20^{\circ}C$	$T_3=30^{\circ}C$

У кінці роботи зробити висновки щодо особливостей дегазації води.

Питання на захист:

1. Яким чином парціальний тиск впливає на розчинність газу?
2. Яким чином вміст вуглекислоти впливає на стабільність води?
3. Поясніть сутність фізичних методів видалення вуглекислоти з води.
4. Як температура впливає на розчинність кисню у воді?
5. Сутність фізичного методу видалення з води розчиненого кисню?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води. - К.: Вища школа, 2005. – 671 с.
2. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А. та ін. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.
3. Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. – М.: Стройиздат, 1975. – 176 с.
4. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды: В 2-х ч. / Кульский Л.А., Гороновский И.Т., Когановский А.М., Шевченко М.А. – К.: Наукова думка, 1980. – Ч. 1-2.
5. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. - М.: Стройиздат, 1986.
6. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. - М.: Стройиздат, 1986.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт з дисципліни
“Технологія очистки води від розчинених домішок”
(для студентів 5 курсу денної форми навчання спеціальності
7.092601 – «Водопостачання і водовідведення»)

Укладачі: Катерина Борисівна Сорокіна,
Вікторія Олегівна Тихонюк-Сидорчук

Редактор: М.З.Аляб'єв

План 2009, поз. 157М		
Підп. до друку 07.09.09	Формат 60x84 /1/16	Бумага офісна
Друк на ризографі	Умовн.-друк. арк. 1,8	Обл.-вид. арк. 2,2
Тираж 50 прим.	Зам. № _____	
61002, Харків, ХНАМГ, вул. Революції, 12		
Сектор оперативної поліграфії ЦНІТ ХНАМГ		
61002, Харків, вул. Революції, 12		