

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ
РЕСУРСАМИ. ЛАБОРАТОРНИЙ
ПРАКТИКУМ. ТЕМИ ПРАКТИЧНИХ
ЗАНЯТЬ**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2019

Управління водними ресурсами. Лабораторний практикум. Теми практичних занять [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення» / М.І. Літинська, Н.М. Толстопалова, Т.І. Обушенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського – Електронні текстові дані (1 файл: 0,54 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 33 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №3 від 28.11.2019 р.)
за поданням Вченої ради хіміко-технологічного факультету (протокол №9 від 28.10.2019 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ. ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ. ТЕМИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Укладачі: *Літинська Марта Ігорівна, асистент*
Толстопалова Наталія Михайлівна, к.т.н., доцент
Обушенко Тетяна Іванівна, ст. викладач

Рецензент: *Мотронюк Т.І., к.т.н., доцент*

Відповідальний редактор: *Астрелін І.М., д.т.н., професор*

Кредитний модуль дисципліни «Управління водними ресурсами» є складовою частиною комплексної програми підготовки бакалаврів за напрямом «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення».

Дисципліна «Управління водними ресурсами» надає студентам спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» базові знання в сфері оцінювання якості водних ресурсів та визначення їх можливої області застосування.

© М.І. Літинська, Н.М. Толстопалова, Т.І. Обушенко, 2019

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	4
<i>Лабораторна робота №1. Визначення фізичних показників</i>	6
<i>Лабораторна робота №2. Визначення хімічних показників</i>	10
<i>Лабораторна робота №3. Визначення перманганатної окиснюваності</i>	13
<i>Лабораторна робота №4. Визначення розміру домішок колоїдного ступеня дисперсності</i>	15
<i>Лабораторна робота №5. Визначення концентрації розчиненого кисню</i> ...	20
Теми практичних занять	26
Додаток А – Переведення одиниць каламутності	27
Додаток Б – Переведення одиниць твердості води	28
Додаток В – Нормативні дані за ДСанПіН 2.2.4-171-10 "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною"	29
Список рекомендованої літератури	32

ВСТУП

Майже 75% земної поверхні вкрито водою, загальна кількість якої становить близько 1,4 млрд. км³, але для екосистеми людини використовується лише незначна її частина – близько 200 тис. км³, що менше 1% від всіх запасів прісної води на планеті. Хоча обсяг прісної води становить близько 35 млн. км³, але 70% цих запасів перебувають у формі льоду та постійного сніжного покриву в гірських районах, Антарктиці та Арктиці. Значна частина світових запасів прісної води зберігається у вигляді підземних вод, вологості ґрунту, боліт тощо. Лише 0,3% цих запасів припадають на прісні річки та озера.

У світі прісноводні ресурси розподілені вкрай нерівномірно. Хоча 46% поверхні земної кулі вкрито басейнами транскордонних річок, але в 60% з цих 276 басейнів річок відсутній будь-який тип сучасного спільного управління водними ресурсами.

У більшості країн світу законодавчо встановлюються два основних види нормативів, що регулюють діяльність у галузі водоспоживання, водовідведення і охорони водних ресурсів: нормативи якості води та нормативи допустимого впливу (навантаження) на водні об'єкти. Гігієнічні нормативи встановлюються для захисту від негативного впливу на людину хімічних речовин і мікроорганізмів, присутніх у воді (питна вода, вода для купання тощо). Екологічні нормативи встановлюються для захисту водних екосистем, збереження біорізноманіття та забезпечення їх сталого функціонування.

Для територій України є характерним нерівномірний розподіл водних ресурсів та зосередження великих водоспоживачів у регіонах з найменшими запасами водних ресурсів (Донбас, Кривбас, південні області). Враховуючи різні природно-кліматичні умови регіонів України, проблема їх водопостачання вирішується за рахунок міжбасейнового перерозподілу водних ресурсів з використанням унікальних водогосподарських систем –

каналів. За рахунок водних ресурсів Дніпра значно підвищено водозабезпечення в Херсонській (в 5,5 разів), Дніпропетровській (в 3 рази) та Кіровоградській (в 2,5 рази) областях.

На даний час основним напрямком поліпшення стану водного господарства є впровадження ресурсоефективних технологій у промисловості та ресурсо-економічного принципу управління водним господарством.

Дисципліна «Управління водними ресурсами» надає студентам спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» базові знання в сфері оцінювання якості водних ресурсів та визначення їх можливої області застосування.

Матеріали лабораторних робіт розроблено в рамках проєктів Water Harmony Erasmus+ (<https://www.waterh.eu/>) та Water Harmony II Eurasia (<https://www.waterh.net/>). В ході виконання лабораторних робіт використовується обладнання (турбідиметр, спектрофотометр, сушильна шафа та оксиметр), придбане на кошти проєкту Water Harmony Erasmus+.

Лабораторна робота №1

Визначення фізичних показників

Мета роботи: вивчити стандартні методи визначення колірності, каламутності та запаху.

Теоретичні відомості

До фізичних показників води відносяться температура, колір, запах, присмак та каламутність (прозорість). Ці показники називають органолептичними.

Кольоровість природних вод передусім зумовлена наявністю гумінових сполук. Підвищену колірність має вода річок з болотним типом живлення (річки північних областей України). Колірність води оцінюється в градусах платиново-кобальтової або дихромат-кобальтової шкали. Згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», колірність питної води не повинна перевищувати 20 градусів.

Запах води може бути пов'язаний з багатьма причинами, серед яких життєдіяльність водних організмів, розкладання органічних решток тощо. Сила запаху оцінюється по шкалі від 0 до 5 балів.

Температура природної води залежить від її походження. Підземні джерела характеризуються сталістю температури, до того ж, чим більша глибина залягання води, тим меншим є діапазон сезонного коливання температури. Тоді як температура води відкритих водойм (річок, озер) зазнає значних сезонних коливань.

Каламутності природних вод зумовлена наявністю завислих частинок (мул, глина, пісок, планктон тощо). Каламутність вимірюється у нефелометричних одиницях каламутності (НОК).

Матеріали та обладнання: розчини для побудови шкали колірності; 16 мірних колб об'ємом 100 см³; 6 моделей води для визначення каламутності; 6 проб для визначення колірності; 6 моделей води для визначення запаху; 6 конічних колб з притертими скляними пробками; турбідиметр; кювети для турбідиметра.

Дослід 1. Визначення каламутності води

Ввімкнути турбідиметр (під'єднати до електромережі та натиснути кнопку ON) та дати йому прогрітись не менше 30 хвилин.

Циліндричну кювету (рис. 1.1) для вимірювання каламутності декілька разів ополоснути зсередини досліджуванним зразком води. Заповнити її досліджуваною водою, закрутити кришку та ретельно протерти кювету до відсутності на її поверхні крапель вологи, розводів, пилу тощо. Помістити заповнену кювету у кюветний відсік за зчитати з дисплея значення каламутності в НОК (NTU). Після вимірювання ретельно вимити кювету та ополоснути дистильованою водою.



Рисунок 1.1 – Турбідиметр Cyberscan TB 1000.

Зробити висновки про відповідність зразку води стандартам та можливі сфери її застосування.

Дослід 2. Визначення колірності води

Приготування основного розчину. У невеликому об'ємі дистильованої води розчинити окремо у двох стаканах 0,0438 г дихромату калію та 1 г сульфату кобальту гептагідрату. Розчини солей кількісно перенести до мірної колби на 500 см³, додати 0,5 см³ концентрованої сульфатної кислоти та довести дистильованою водою до мітки.

Приготування розчину сульфатної кислоти. В колбу об'ємом 1 дм³ наполовину заповнену дистильованою водою обережно додати 1 см³ концентрованої сульфатної кислоти та довести до мітки дистильованою водою.

Приготування шкали. В мірні колби об'ємом 100 см³ помістити по 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0; 14,0; 16,0; 18,0 та 20,0 см³ основного розчину, що відповідає колірності 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 та 100 градусам колірності за дихромат-кобальтовою шкалою. Вміст колб довести до мітки розчином сульфатної кислоти та перемішати.

Зробити висновки про відповідність зразку води стандартам та можливі сфери її застосування.

Дослід 3. Визначення запаху води

У колбу з притертою пробкою налити досліджувану воду (2/3 об'єму) та сильно струшувати. Потім відкрити й одразу визначити характер та інтенсивність запаху.

Зробити висновки про відповідність зразку води стандартам та можливі сфери її застосування.

Контрольні запитання

1. Які речовини є причинами підвищеної колірності природних вод?
2. Які шкали колірності існують?
3. В яких одиницях вимірюється каламутність?
4. Опишіть принцип роботи турбідиметра.
5. Назвіть можливі причини наявності запаху у природних вод.
6. Як оцінюється запах води?
7. Що таке органолептичні показники?

Лабораторна робота №2

Визначення хімічних показників

Мета роботи: ознайомитися зі стандартними методами оцінювання лужності, загальної кислотності, загальної твердості, рН та солевмісту проб води.

Теоретичні відомості

Загальна лужність природної води характеризує сумарну концентрацію аніонів слабких кислот (переважно HCO_3^- та CO_3^{2-}) та іонів OH^- .

Кислотність природної води з $\text{pH} > 4,5$ зумовлюється вільною вуглекислою, гуміновими та іншими слабкими органічними кислотами, а з $\text{pH} < 4,5$ – сильними кислотами та солями сильних кислот і слабких основ.

Згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», придатною вважається вода з pH 6,5-8,5.

Твердість води зумовлена солями кальцію та магнію. За значенням твердості воду поділяють на дуже м'яку (до 1,5 ммоль/дм³), м'яку (1,5-3,0 ммоль/дм³), воду середньої твердості (3,0-4,5 ммоль/дм³), досить тверду (4,5-6,0 ммоль/дм³), тверду (6,0-11,0 ммоль/дм³) та дуже тверду (понад 11,0 ммоль/дм³).

Солевміст природної води характеризується концентрацією розчинених солей. Вода, яка містить до 1000 мг/дм³ розчинених солей, вважається прісною.

Матеріали та обладнання: розчини HCl , NaOH , Трилону Б та аміачної буферної суміші; 6 бюретонок для титрування зі штативами; індикатори (метилловий оранжевий, хромовий темно-синій); 6 моделей води об'ємом 1,5 дм³.

Дослід 1. Визначення загальної лужності води

Якщо в пробі є завислі речовини, то їх видаляють фільтруванням перед визначенням лужності.

100 см³ проби титрують 0,1 М розчином хлоридної кислоти за наявності метилового оранжевого до переходу забарвлення з жовтого на золотисто-рожеве.

Загальну лужність розраховують за формулою:

$$L_{\text{заг}} = \frac{C_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} \cdot 1000}{V},$$

де $L_{\text{заг}}$ – загальна лужність води, ммоль/дм³; C_{HCl} – концентрація кислоти, моль/дм³; V_{HCl} – об'єм розчину кислоти, витрачений на титрування, см³; V – об'єм проби води, см³.

При загальній лужності меншій за 0,4 ммоль/дм³ визначення слід повторити 0,05 М розчином кислоти.

Дослід 2. Визначення загальної кислотності води

100 см³ проби титрують 0,1 М розчином гідроксиду натрію за наявності 5-10 крапель фенолфталеїну до появи блідо-рожевого забарвлення.

Розраховують загальну кислотність у ммоль/дм³.

Дослід 3. Визначення загальної твердості води

Загальну твердість води визначають за допомогою комплексометричного методу.

100 см³ проби води переносять до конічної колби об'ємом 250 см³, додають 5 см³ аміачного буферного розчину та 3-5 крапель індикатора хромового темно-синього. Титрують 0,05 М розчином трилону Б до зміни забарвлення на синє.

Розраховують загальну твердість у ммоль/дм³.

Дослід 4. Визначення рН води

рН води визначають за допомогою рН-метру. Електроди рН-метру промивають дистильованою водою та протирають фільтрувальним папером. Після чого занурюють у стакан з пробою води. Електроди не повинні торкатись стінок або дна стакану. Очікують завершення вимірювання та зчитують значення.

Дослід 5. Визначення солевмісту води

Солевміст води визначають за допомогою кондуктометру. Електроди кондуктометру промивають дистильованою водою та протирають фільтрувальним папером, після чого занурюють у стакан з пробою води. Очікують завершення вимірювання та зчитують значення.

У випадку портативного кондуктометру, зразок води наливається в ковпачок, куди потім вставляється кондуктометр.

Зробити висновки про відповідність зразку води стандартам та можливі сфери її застосування.

Контрольні запитання

1. Які речовини зумовлюють лужність природної води?
2. Назвіть діапазон рН води, придатної для споживання людиною.
3. Які речовини зумовлюють загальну кислотність природної води?
4. Назвіть значення мінімального та максимального допустимих солевмісту згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною».
5. Опишіть принцип роботи кондуктометру.
6. Які речовини зумовлюють твердість води?
7. Які види твердості води розрізняють?

Лабораторна робота №3

Визначення перманганатної окиснюваності

Мета роботи: засвоїти стандартну методику оцінювання окиснюваності у пробах природної води.

Теоретичні відомості

Визначення окиснюваності слугує для оцінки вмісту органічних речовин та іонів елементів змінної валентності.

Принцип визначення перманганатної окиснюваності (метод Кубеля) ґрунтується на здатності сильного окисника (перманганату) окиснювати ряд забрудників (органічні речовини тощо) змінюючи при цьому ступінь окиснення мангану, а отже, і колір сполуки.

Матеріали та обладнання: розчини щавлевої кислоти, перманганату калію та сульфатної кислоти; 6 термостійких конічних колб; 6 скляних холодильників; кипілки; нагрівальні прилади; 4 бюретки для титрування; 6 моделей води об'ємом 1,5 дм³.

Дослід 1. Визначення перманганатної окиснюваності (метод Кубеля)

Відбирають піпеткою 100 см³ зразка води та поміщають у термостійку конічну колбу з кипілками (скляними кульками) на дні, додають 5 см³ розведеної сульфатної кислоти та 10 см³ 0,01 М розчину перманганату калію. Для запобігання випаровування рідини колбу закривають скляним холодильником, заповненим водою. Вміст колби доводять до кипіння та кип'ятять рівно 10 хвилин.

Далі в гарячу колбу з розчином додають 10 см³ 0,01 М розчину щавлевої кислоти та титрують 0,01 М розчином перманганату калію до появи блідо-рожевого забарвлення. Температура проби не повинна знижуватись

нижче 80 °С.

Потім у ту ж саму колбу до гарячої ще рідини доливають 10 см³ 0,01 М розчину щавлевої кислоти та титрують 0,01 М розчином перманганату калію до такого самого забарвлення, що не зникає протягом однієї хвилини.

Визначення необхідно повторити, якщо зразок води під час кип'ятіння стане бурим або знебарвиться.

Окиснюваність води розраховується за формулою:

$$PO = \frac{(V_1 - V_2) \cdot K \cdot 0,08 \cdot 1000}{V},$$

де PO – перманганатна окиснюваність води, мг О₂/дм³ води; V_1 – загальний об'єм витраченого на титрування 0,01 М розчину перманганату калію, см³;

V_2 – об'єм розчину перманганату, витраченого на титрування 10 см³ розчину щавлевої кислоти (друге титрування), см³; K – аліквотний коефіцієнт (число 10, розділене на об'єм розчину перманганату під час другого титрування); 0,08 – кількість кисню, що відповідає 1 см³ 0,01 М розчину перманганату калію, мг; V – об'єм зразка води, см³.

Контрольні запитання

1. Які існують методи визначення окиснюваності? Чим вони відрізняються?
2. Наявність яких домішок у воді характеризує значення перманганатної окиснюваності?
3. Навіщо нагрівати пробу при аналізі за методом Кубеля?
4. Напишіть окисно-відновні реакції перманганату калію в залежності від рН середовища.

Лабораторна робота №4

Визначення розміру домішок колоїдного ступеня дисперсності

Мета роботи: оцінювання розмірів домішок колоїдної ступені дисперсності у пробах води.

Теоретичні відомості

Дослідження світлорозсіювання є одним з найуніверсальніших методів вивчення будови і властивостей дисперсних систем та розчинів високомолекулярних сполук.

Оптичні властивості колоїдних систем визначаються взаємодією світла з частинками дисперсної фази. При проходженні світла через дисперсну систему воно може поглинатися, відбиватися або розсіюватися частинками. Наслідки впливу світла на дисперсні системи (інтерференція, дифракція, переломлення, поляризація, відбиття й ін.) визначаються законами геометричної оптики.

Відбивання світла поверхнею частинок можливе тільки в грубодисперсних системах (суспензіях, емульсіях). Розміри частинок таких систем значно більші, ніж довжина хвилі видимого світла. Відбивання світла проявляється в помутнінні дисперсних систем і спостерігається як в прямому світлі, так і при боковому освітленні.

Відбивання світла має місце, якщо довжина хвилі світла λ менша за радіус частинки r : $\lambda < r$, колір променя світла при цьому не змінюється.

Часткове поглинання світла відбувається, коли довжина хвилі значно більша за радіус частинок: $\lambda \gg r$. Поглинання світла це явище вибіркове. Одні речовини постійно поглинають світло, інші поглинають лише промені певної частини спектру. Поглинання світла властиво будь-яким дисперсним системам.

Найбільш характерною оптичною властивістю для типових колоїдних систем є розсіювання світла в усіх напрямках. Частинки колоїдної

дисперсності менші за довжину півхвилі світла і тому розсіювання світла зумовлено не відбиванням світла від поверхні частинок, а його дифракцією. Розсіювання світла спостерігається, коли довжина хвилі світла сумірна з радіусами частинок дисперсної фази: $\lambda \geq r$. Саме таке співвідношення виконується для колоїдних розчинів. При наявності у воді частинок іншої фази, показник заломлення (поляризуємість) яких відрізняється від показника заломлення води, на межі поділу фаз відбувається гасіння первинної падаючої світлової хвилі та відбувається дифракційне розсіювання світла. Таким чином, дифракційне розсіювання полягає в зміні напрямку світлової хвилі при взаємодії світла з частинками, сумірними з довжиною хвилі.

Теоретичне обґрунтування світлорозсіювання дано Релеєм, який вивів рівняння для розсіяного світла з урахуванням інтенсивності падаючого світла, показників заломлення, концентрації золю, об'єму однієї частинки та довжини хвилі. Рівняння Релея застосовують для частинок, діаметр яких не перевищує $5 \cdot 10^{-8}$ м, тобто для частинок колоїдних розмірів.

Рівняння є справедливим при виконанні наступних умов:

- частинки мають сферичну форму;
- частинки не проводять електричний струм;
- частинки не поглинають світло;
- колоїдний розчин розведений так, що відстань між частинками є більшою за довжину падаючого світла.

Для систем, до яких можна застосувати рівняння Релея, цілком еквівалентними є методи, що базуються на вимірюванні каламутності по зменшенню інтенсивності пропущеного світла (адсорбціометрія, турбідиметрія) та методи на основі визначення інтенсивності світла, розсіяного під тим чи іншим кутом (нефелометрія).

Турбідиметрія заснована на вимірюванні інтенсивності світла, що проходить через дисперсну систему. Розсіяне світло можна вважати фіктивно поглинутим, і тому є всі підстави прийняти, що закономірності розсіювання світла підкоряються рівнянню Бугера-Ламберта-Бера. Цей закон визначає

ослаблення паралельного монохроматичного світлового пучка при його поширенні в поглинаючому середовищі. Інтенсивність світла зменшується експоненційно в залежності від товщини шару поглинаючого середовища.

Зі збільшенням розмірів частинок закон Релея перестає дотримуватись і інтенсивність розсіяного світла стає обернено пропорційною довжині хвилі в степені менше чотирьох. Якщо розмір (діаметр) частинок становить $1/10\lambda < d < 1/3\lambda$ і показники заломлення частинок і середовища не сильно розрізняються, то для розсіювання світла в системі можна скористатися емпіричними рівняннями, запропонованими Геллером:

$$A = k\lambda^{-n}; \tau = k'\lambda^{-n},$$

де A – оптична густина; k і k' – константи, які не залежать від довжини хвилі; l – товщина кювети; τ – каламутність середовища.

Залежності $\lg A = f(\lg \lambda)$ і $\lg \tau = f(\lg \lambda)$ відповідно до цих рівнянь представляють собою пряму лінію:

$$\lg A = \lg k - n \lg \lambda; \lg \tau = \lg k' - n \lg \lambda,$$

де $\operatorname{tg} \alpha = -n$ – тангенс кута нахилу прямої. Значення показника ступеня n в цих рівняннях залежать від співвідношення між розміром частинки і довжиною хвилі падаючого світла, що характеризується параметром Z :

$$Z = \frac{8\pi \cdot r}{\lambda_{\text{сер}}}, \quad (4.1)$$

$$\text{де } \lambda_{\text{сер}} = \frac{\lambda_{\text{макс}} + \lambda_{\text{мін}}}{2}.$$

Матеріали та обладнання: 12 моделей води з домішками різної дисперсності; спектрофотометр або фотоелектроколориметр; скляні кювети.

Дослід 1. Турбідиметричне визначення розміру домішок

Кожен студент вимірює властивості трьох зразків води за рекомендацією викладача.

Вмикають оптичний прилад (спектрофотометр або фотоелектроколориметр) та прогрівають 30 хвилин. Досліджувану пробу

води поміщають в скляну кювету та визначають оптичну густину відносно дистильованої води з червоним та синім світлофільтрами. Розраховують каламутність за формулою:

$$\tau = \frac{2,303 \cdot \lg \frac{I_0}{I}}{l},$$

де $\lg(I_0/I) = A$ – оптична густина.

Після чого визначають k за формулою:

$$k = -\frac{\Delta \lg \tau}{\Delta \lg l}.$$

За допомогою таблиці 4.1 знаходять значення параметру Z .

Таблиця 4.1 – Взаємозв'язок значень константи k та параметру Z

k	Z
3,812	2,0
3,686	2,5
3,573	3,0
3,436	3,5
3,284	4,0
2,960	5,0
2,659	6,0
2,457	7,0
2,329	8,0

Після чого розраховується радіус частинок за допомогою формули 4.1.

Контрольні запитання

1. Назвіть основні принципи класифікації домішок води за А.Л. Кульським.
2. Як розмір частинок забрудника впливає на вибір методу очищення

води?

3. За яких умов є чинним рівняння Релея?
4. Що таке турбідиметрія?
5. Що таке нефелометрія?
6. Назвіть основні властивості колоїдних систем.

Лабораторна робота №5

Визначення концентрації розчиненого кисню

Мета роботи: визначення концентрації кисню у різних зразках води.

Теоретичні відомості

Кисень розчиняється у воді гірше ніж в органічних рідинах. На ступінь розчинення кисню впливають: температура, наявність у воді розчинених солей та різних сполук. Залежність розчинених газів у воді від тиску описуються законами Генрі- Дальтона:

- маса газу розчиненого в рідині пропорційна тиску газу над рідиною;
- об'єм газу, розчиненого в певному об'ємі рідини, не залежить від тиску;
- при розчиненні суміші газів, кожна частина суміші розчиняється у відповідності до парціальних тисків та розчинності кожного із газів.

При підвищенні температури концентрація газів зменшується, так як збільшується тиск парів над рідиною. Зміна ступеню насиченості киснем води при нормальному тиску вказана в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Залежність концентрації розчиненого кисню у воді від температури за нормального тиску

Температура води, °С	0	10	20	30	40	50	60	80	100
Концентрація кисню, мгО ₂ /дм ³	14.6	11.3	9.1	7.5	6.5	5.6	4.8	2.9	0.0

Кількість розчиненого кисню зменшується при збільшенні кількості розчинених солей у воді. Іони утворюють сильніші зв'язки з водою зменшуючи кількість «вільних» молекул води для зв'язку з газами.

Проби для визначення кисню відбирають в так звані кисневі склянки. Під час відбору проби в отвір бутля вставляють спеціальну насадку і бутель занурюють нижче рівня води, де її залишають до наповнення. Насадку треба виймати під водою. При відборі спеціальним приладом або з кранів пробу потрібно наливати через гумову трубку на дно кисневої склянки і після наповнення залишати деякий час в струмі води. негайно після відбору проби кисень фіксують.

Для визначення розчиненого кисню у воді існують три основних методи:

- титрування по Вінклеру;
- електрохімічний або полярографічний метод;
- оптичний метод.

Титрування по Вінклеру базується на реакції розчиненого кисню з гідроксидом мангану (II) та подальшому йодометричному визначенні утворених вищих за ступенем окиснення сполук мангану. Точність визначення досягає для чистих вод $0,05 \text{ мг/дм}^3$. При аналізі забруднених або стічних вод похибка аналізу іноді перевищує $0,1 \text{ мг/дм}^3$. Цим методом можна визначити кисень при концентрації $0,2-0,3 \text{ мг/дм}^3$. Для визначення більш низьких концентрацій необхідно використовувати інші методи.

Принцип дії оптичного методу ґрунтується на явищі люмінесценції. Прилад складається з синього світлодіода, який випромінює світло. Це світло потрапляє на сенсорну плівку, де поглинається люмінофором. Речовина збуджується та, при переході електрона з вищого енергетичного рівня на нижчий, випромінює червоне світло за певний проміжок часу. Також встановлений додатковий червоний порівняльний світлодіод, який вмикається по черзі з синім.

Сенсорна плівка складається з чутливої до кисню люмінесцентної речовини (люмінофору), зануреної в полімерний шар, який, в свою чергу, тонким шаром покриває поліестерову підкладку.

Розчинений кисень проникає крізь мембрану та реагує з люмінофором. Молекули газу поглинають енергію збудженого електрона, що спричиняє його перехід на нижчий рівень без випромінювання світла. Також, кисень викликає вібрації в люмінофорі, які пришвидшують процес люмінесценції. Ці два процеси зменшують час випромінювання в залежності від кількості розчиненого газу у воді. По часу випромінювання і визначається концентрація кисню.

Принцип електрохімічного методу базується на реакції відновлення кисню на платиновому електроді.



При наявності в розчині кисню його молекули дифундують крізь мембрану і через розчин. Коли вони досягають індикаторного електрода відбувається вказана реакція, внаслідок якої струм на електрохімічному елементі значно зростає.

Зазвичай пристрої, які використовують принцип дії електрода Кларка, компактні, але не дуже надійні. При використанні їх у воді забрудненої нафтопродуктами мембрана дуже швидко псується. Також, розчин хлориду кальцію має певну кількість циклів використання, після чого його потрібно змінювати на новий.

Матеріали та обладнання: 12 моделей води з різним солевмістом; оксиметр Ulab MP 516; магнітна мішалка; кондуктометр; 5 скляних стаканів; 8 конічних колб.

Дослід 1. Калібрування приладу

Перед початком вимірювання потрібно оглянути електрод, а саме

перевірити цілісність мембрани, під мембраною не повинно бути бульбашок та перевірити наявність електроліту в електроді. Наступним кроком потрібно відкалібрувати прилад (рис. 5.1) відносно умов виконання вимірів.



Рисунок 5.1 - Оксиметр Ulab MP 516 з магнітною мішалкою.

Так як кисень обмежено розчиняється у воді в залежності від температури та тиску, тому калібрування виконується перед початком кожного вимірювання. Як калібрувальна рідина використовується дистильована вода, яка була у контакті з повітрям в тих самих умовах, в яких відбуваються вимірювання.

1. У калібрувальний циліндр заливається невелика кількість дистильованої води так, щоб губка була змочена водою (надлишок води прибирається).
2. Електрод розміщується вертикально на 3-5 хвилин.
3. Для початку калібрування потрібно натиснути кнопку «CAL». На дисплеї будуть змінюватися значення концентрації кисню.

4. Коли значення перестануть змінюватися в продовж 10 секунд необхідно знову натиснути кнопку «CAL».
5. На дисплеї висвітиться надпис «100 %».
6. Калібрування завершено.

Дослід 2. Визначення впливу солемісту на вміст кисню у зразках модельних вод

Для виконання самого вимірювання потрібно помістити електрод у досліджуваний зразок. Обов'язковою умовою є створення постійної швидкості потоку води (> 5 см/с). В лабораторних умовах використовується магнітна мішалка. В умовах стоячої води потрібно швидко помішувати електродом. На дисплеї буде вказана концентрація кисню у воді (спочатку значення будуть змінюватися). Для зміни одиниць вимірювання потрібно натиснути кнопку «UNIT» ($\text{mgO}_2/\text{L ppm } \%$).

Зразок модельної води наливається у стакан, куди поміщається якір магнітної мішалки та електрод оксиметру. Стакан встановлюється на магнітну мішалку. З дисплею зчитується концентрація кисню.

Солеміст води визначають за допомогою кондуктометру. Електроди кондуктометру промивають дистильованою водою та протирають фільтрувальним папером. Після чого занурюють у стакан з пробєю води. Очікують завершення вимірювання та зчитують значення.

У випадку портативного кондуктометру, зразок води наливається в ковпачок, куди потім вставляється кондуктометр.

Дослід 2. Визначення впливу температури на вміст кисню у зразках модельних вод

По 200 см^3 модельної води поміщають у дві конічні колби та нагрівають до 40 та 60 °С. Вимірюють концентрацію кисню у ненагрітого зразка та у проб після нагрівання.

Концентрацію кисню вимірюють аналогічно попередньому дослідю.

Контрольні запитання

1. Які існують методи визначення вмісту розчиненого кисню?
2. На якому принципі ґрунтується оптичний метод?
3. Як пов'язаний солеміст з концентрацією розчиненого кисню?
4. Як впливає нагрівання на вміст розчиненого кисню у воді?
5. Яка роль розчиненого кисню у природних водоймах?
6. Які негативні явища має підвищений вміст кисню у воді, яка використовується для виробництва пари?

Теми практичних занять

На практичних заняттях студенти представляють аудиторії доповіді з презентаціями за тематикою дисципліни. Одну доповідь можуть готувати 1-3 студенти. Після завершення доповіді відбувається дискусія по цій темі.

Приблизний перелік тем доповідей:

1. Криза водних ресурсів у світі.
2. Глобальне потепління та його наслідки для водної галузі.
3. Як можна вирішити проблему нестачі прісної води у посушливих регіонах?
4. Кислотні дощі: причини і наслідки для екології та водної галузі.
5. Проблеми водокористування України.
6. Вибір джерела питного водопостачання.
7. Мінеральний склад води джерел різного походження.
8. Екологічна ситуація та стан питних вод Києва (або іншого населеного пункту чи району).
9. Чи може меліорація призвести до екологічної катастрофи? Наведіть аргументи та приклади.
10. Евтрофікація водойм: причини та наслідки.
11. Основні положення Водної Рамкової Директиви ЄС.
12. Нормативні документи України в сфері водокористування. Відмінності від схожих документів інших країн (США, ЄС тощо).
13. Стічні води як ресурс, а не відходи.
14. Роздільні системи водовідведення. Переваги та недоліки.

Тема доповіді може не входити до переліку, але в цьому випадку потребує узгодження з викладачем.

Додаток А – Переведення одиниць каламутності

Одиниці каламутності:

- FNU (Formazine Nephelometric Unit, формазиніві нефелометричні одиниці) (стандарт ISO 7027, англ. Water quality - Determination of turbidity);
- NTU (Nephelometric Turbidity Unit, нефелометричні одиниці каламутності). (використовується Агентством захисту оточуючого середовища США та ВООЗ).
- JTU (Jackson Turbidity Unit, одиниці каламутності Джексона) – величина обернена до мінімальної товщі води, скрізь яку не видно полум'я свічки.

1 FTU = 1 FNU = 1 NTU = 0.053 JTU (але це співвідношення діє не на всьому діапазоні внаслідок відмінності калібровок).

По каоліну 1 NTU = 0,58 мг/дм³.

Додаток Б – Переведення одиниць твердості води

Таблиця Б.1 – Переведення одиниць вимірювання твердості води

Одиниці вимірювання твердості	ммоль/дм ³	Градуси твердості				
		Російські, °Ж (мг-екв/дм ³)	Американські, ppm _w	Німецькі, dGH, °dH	Англійські, °e, °Clark	Французькі °fH
ммоль/дм ³	1	2	100,09	5,608	7,022	10,010
мг-екв/дм ³	0,5	1	50,045	2,804	3,511	5,005
Американські	0,0099	0,0199	1	0,0560	0,0702	0,1000
Німецькі	0,1783	0,3566	17,847	1	1,2521	1,7848
Англійські	0,1424	0,2848	14,253	0,7987	1	1,4235
Французькі	0,09991	0,1998	10,00	0,5603	0,7015	1

Американські одиниці твердості води:

gpg = Grains per Gallon: 1 гран (0.0648 г) CaCO₃ в 1 американському галоні (3.785 дм³) води;

американський градус = ppm_w = mg/L = American degree: 1 частина CaCO₃ в 1000000 частинах води, приблизно 1 мг/дм³.

Англійські одиниці твердості води:

Англійський градус твердості = °e = °Clark: 1 гран (0.0648 г) в 1 англійському галоні (4.546 дм³) води.

Французькі одиниці твердості води:

французький градус твердості (°fH або °f) (fh): 1 частина CaCO₃ в 100000 частин води.

Німецькі одиниці твердості води:

німецький градус твердості = °dH (deutsche Härte = "німецька твердість" може бути °dGH (загальна твердість) та °dKH (карбонатна твердість)): 1 частина CaO в 100000 частин води, або 0.719 частин MgO в 100000 частин води.

Російські одиниці твердості води:

Російський граду твердості °Ж = 1 мг-екв/л: відповідає концентрації лужноземельного елемента, чисельно рівній ½ його ммоль/дм³, тобто 50,05 мг/дм³ CaCO₃ або 20,04 мг/дм³ Ca²⁺.

Додаток В – Нормативні дані за ДСанПіН 2.2.4-171-10 "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною"

Таблиця В.1 - Санітарно-хімічні показники безпечності та якості питної води

№ з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи для питної води		
			водопровідної	з колодязів та каптажів джерел	фасованої, з пунктів розливу та бюветів
1	2	3	4	5	6
1. Органолептичні показники					
1	Запах: при 20 °С при 60 °С	бали	≤ 2 ≤ 2	≤ 3 ≤ 3	≤ 0 (2) ≤ 1 (2)
2	Забарвленість	градуси	≤ 20 (35)	≤ 35	≤ 10 (20)
3	Каламутність	НОК	≤ 1,0 (3,5)	≤ 3,5	≤ 0,5 (1,0)
4	Смак та присмак	бали	≤ 2	≤ 3	≤ 0 (2)
2. Фізико-хімічні показники					
а) неорганічні компоненти					
5	Водневий показник	одиниці рН	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5 (≥ 4,5)
6	Карбон діоксид	%	не визначається	не визначається	0,2-0,3 - для слабогазованої 0,31-0,4 – для середньогазованої > 0,4 – для сильногазованої
7	Ферум загальний	мг/дм ³	≤ 0,2 (1,0)	≤ 1,0	≤ 0,2
8	Загальна твердість	ммоль/дм ³	≤ 7,0 (10,0)	≤ 10,0	≤ 7,0
9	Загальна лужність	ммоль/дм ³	не визначається	не визначається	≤ 6,5
10	Йод	мкг/дм ³	не визначається	не визначається	≤ 50
11	Кальцій	мг/дм ³	не визначається	не визначається	≤ 130
12	Магній	мг/дм ³	не визначається	не визначається	≤ 80
13	Манган	мг/дм ³	≤ 0,05 (0,5)	≤ 0,5	≤ 0,05
14	Купрум	мг/дм ³	≤ 1,0	не визначається	≤ 1,0
15	Поліфосфати (за PO ₄ ³⁻)	мг/дм ³	≤ 3,5	не визначається	≤ 0,6 (3,5)
16	Сульфати	мг/дм ³	≤ 250 (500)	≤ 500	≤ 250

1	2	3	4	5	6
17	Сухий залишок	мг/дм ³	≤ 1000 (1500)	≤ 1500	≤ 1000
18	Хлор залишковий вільний	мг/дм ³	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,05
19	Хлориди	мг/дм ³	≤ 250 (350)	≤ 350	≤ 250
20	Цинк	мг/дм ³	≤ 1,0	не визначається	≤ 1,0
б) органічні компоненти					
21	Хлор залишковий зв'язаний	мг/дм ³	≤ 1,2	≤ 1,2	≤ 0,05
3. Санітарно-токсикологічні показники					
а) неорганічні компоненти					
22	Алюміній	мг/дм ³	≤ 0,2 (0,5)	не визначається	≤ 0,1
23	Амоній	мг/дм ³	≤ 0,5 (2,6)	≤ 2,6	≤ 0,1 (1,2)
24	Силіцій	мг/дм ³	≤ 10	не визначається	≤ 10
25	Арсен	мг/дм ³	≤ 0,01	не визначається	≤ 0,01
26	Нітрати (по NO ₃ ⁻)	мг/дм ³	≤ 50	≤ 50	≤ 10 (50)
28	Нітрити	мг/дм ³	≤ 0,5 (0,1)	≤ 3,3	≤ 0,5 (0,1)
29	Озон залишковий	мг/дм ³	0,1-0,3	не визначається	не визначається
30	Фториди	мг/дм ³	для кліматичних зон: IV ≤ 0,7 III ≤ 1,2 II ≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5 для кліматичних зон: IV ≤ 0,7 III ≤ 1,2 II ≤ 1,5
б) інтегральний показник					
31	Перманганатна окиснюваність	мг/дм ³	-	≤ 5,0	≤ 2,0 (5,0)

Таблиця В.2 – Показники фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води

№ з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи
1	Загальна твердість	ммоль/дм ³	1,5-7,0
2	Загальна лужність	ммоль/дм ³	0,5-6,5
3	Йод	мкг/дм ³	20-30
4	Калій	мг/дм ³	2-20
5	Кальцій	мг/дм ³	25-75
6	Магній	мг/дм ³	10-50
7	Натрій	мг/дм ³	2-20
8	Сухий залишок	мг/дм ³	200-500
9	Фториди	мг/дм ³	0,7-1,2

Список рекомендованої літератури

1. Фізико-хімічні методи очищення води. Управління водними ресурсами / Під редакцією І.М. Астреліна, Х. Ратнавіри. – К.: «Ніка-Центр», 2015. – 614 с.
2. Оптические методы исследования дисперсных систем / Составители Л.В. Кольцов, М.А. Лосева. - «Самарский государственный технический университет», 2017. – 16 с.
3. Методичні вказівки до виконання курсової, контрольної та лабораторних робіт з дисципліни «Теоретичні основи хімії та технології водопідготовки» /Уклад. І.М. Астрелін, Н.М. Толстопалова, Т.А. Каменська та ін. – К.: ІВЦ «Видавництво Політехніка», 2002. – 48 с.
4. Пінчук О.Л, Герасімов Є.Г., Куницький С.О. Директиви ЄС у сфері управління водними ресурсами. – Рівне: «Волинські обереги», 2019. – 232 с.
5. Троянський О. І. Моніторинг якості питної води : [навч. посіб.] / О.І.Троянський, Б.А. Шелудченко, О.М. Бахмат. – Кам'янець-Подільський, 2006. – 123 с.
6. Водні ресурси: використання, охорона, відтворення, управління: підручник / А.В. Яцик, Ю.М. Грищенко, Л.А. Волкова, І.А. Пашенюк; за ред. А.В. Яцика. – К. : Генеза, 2007. – 358 с.
7. ДСанПіН 2.2.4-171-10 "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною".
8. ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості.
9. ДСТУ ISO 5667-1:2003 Якість води. Відбирання проб. Частина 1. Настанови щодо проекту програм відбирання проб (ISO 5667-1:1980, IDT).
10. ДСТУ ISO.7027:2003 Якість води. Визначання каламутності (ISO 7027:1999, IDT).

11. ДСТУ ISO 7887:2003 Якість води. Визначання і дослідження забарвленості (ISO 7887:1994, IDT).
12. ДСТУ ISO 6059:2003 Якість води. Визначання сумарного вмісту кальцію та магнію. Титриметричний метод із застосуванням етилендіамінтетраоцтової кислоти (ISO 6059:1984, IDT).
13. ДСТУ ISO 9963-1:2007 Якість води. Визначення лужності. Частина 1. Визначення загальної та часткової лужності (ISO 9963-1:1994, IDT).
14. ДСТУ ISO 9963-2:2007 Якість води. Визначення лужності. Частина 2. Визначення карбонатної лужності (ISO 9963-2:1994, IDT).