

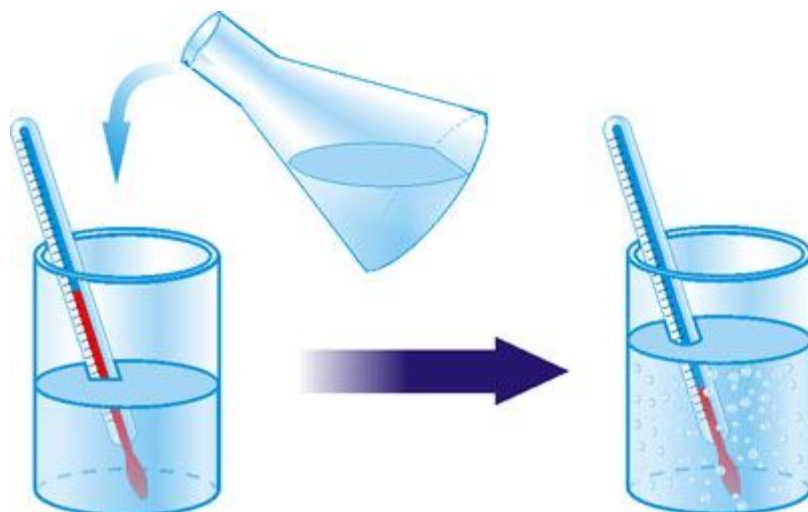
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до організації самостійної роботи, проведення лабораторних занять і
виконання контрольної роботи
з навчальної дисципліни

«ФІЗИКА ВОДИ»

*(для студентів I курсу другого (магістерського) рівня за спеціальністю
192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма
«Водопостачання та водовідведення»)*



Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2019

Методичні рекомендації до організації самостійної роботи, проведення лабораторних занять і виконання контрольної роботи з навчальної дисципліни «Фізика води» (для студентів 1 курсу другого (магістерського) рівня за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Водопостачання та водовідведення») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : М. В. Дегтяр. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 33 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. М. В. Дегтяр.

Рецензент

Г. І. Благодарна, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очищення вод, протокол № 1 від 30.08.2016

ЗМІСТ

Вступ.....	4
ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ.....	5
ЗМ 1 Загальна характеристика властивостей водних систем.....	5
Тема 1 Фізичні властивості води	
Лабораторна робота № 1 Вивчення явища поверхневого натягу.....	5
Тема 2 Загальна характеристика властивостей водних систем	
Лабораторна робота № 2 Визначення щільності та в'язкості рідин.....	10
Тема 3 Вплив різних факторів на розчинність речовин, що знаходяться у різному агрегатному стані	
Лабораторна робота № 3 Гідроліз солей.....	15
ЗМ 2 Методи очистки води з урахуванням впливу зовнішніх чинників на властивості водних систем.....	18
Тема 4 Флотація – метод очистки води від забруднюючих речовин, що знаходяться в різних фазово-дисперсних станах	
Лабораторна робота № 4 Флотаційне виділення емульгованих масел.....	18
Тема 5 Способи знезаражування води: реагентні (хімічні), безреагентні (фізичні) і комбіновані	
Лабораторна робота № 5 Окислювально-відновлювальний потенціал.....	22
Тема 6 Фізичні методи очистки води	
Лабораторна робота № 6 Визначення твердості та пом'якшення води.....	24
КОНТРОЛЬНА РОБОТА.....	29
САМОСТІЙНА РОБОТА СТУДЕНТІВ.....	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	33

ВСТУП

Предметом вивчення навчальної дисципліни «Фізика води» є фізичні властивості води як речовини й сировини, що використовується для питних, господарчих і виробничих потреб людини.

Метою викладання навчальної дисципліни «Фізика води» є підготовка фахівця, який володітиме знаннями, пов'язаними з властивостями водних систем і основними закономірностями їх зміни під впливом зовнішніх дій.

Головні завдання вивчення дисципліни «Фізика води»:

- формування діалектичного мислення та сприяння розвитку фізико-хімічного світогляду студента;
- надання уявлень про властивості води як речовини й сировини, що використовується для питних, господарчих і виробничих потреб людини;
- досягнення свідомого засвоєння фізичної сутності процесів, що відбуваються при впливі зовнішніх чинників у спорудах при підготовці природної та стічної води;
- сприяння розвитку у студентів навичок постановки фізико-хімічних експериментів.

Дані методичні рекомендації мають на меті допомогти організувати та структурувати роботу студента при вивченні курсу, зокрема програмою передбачено виконання лабораторних робіт, контрольної роботи та передбачена самостійна робота студентів згідно з темами, наведеними в програмі дисципліни.

В процесі виконання лабораторних робіт передбачається:

- закріплення теоретичних знань, отриманих студентами на лекціях і в процесі самостійної роботи;
- Придбання практичних навичок при виконанні розрахунків з реальними даними.

Тривалість лабораторних робіт залежить від обсягу поставленої задачі.

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

ЗМ 1 Загальна характеристика властивостей водних систем

Тема 1 Фізичні властивості води

Лабораторна робота № 1 - Вивчення явища поверхневого натягу

Мета роботи – вивчення явища поверхневого натягу та вимір коефіцієнта поверхневого натягу методом підняття рідини в клині.

Загальні відомості

Сили поверхневого натягу діють уздовж поверхні рідини, прагнучи скоротити її площу. Потенційна енергія взаємного притягання молекул рідини більше їхньої кінетичної енергії, це дозволяє рідині зберігати об'єм (але не форму), і цей об'єм обмежується поверхнею рідини.

Поверхня рідини це межа розподілу середовищ. У даній роботі цими середовищами є рідина та газ, а саме вода й повітря.

Сила поверхневого натягу – це сила, що діє на лінію розриву поверхні, по дотичній до поверхні розділу фаз, у напрямку скорочення площі поверхні та перпендикулярно до лінії розриву. Вона пропорційна довжині l лінії розриву поверхні:

$$F = \sigma l \quad (1.1)$$

Коефіцієнт σ називається коефіцієнтом поверхневого натягу й чисельно дорівнює силі поверхневого натягу, що діє на лінію розриву одиничної довжини.

Коефіцієнт поверхневого натягу залежить від температури (чим вище температура, тем менше коефіцієнт поверхневого натягу), від кількості домішок, що втримуються в рідині. Так поверхнево-активні речовини, далі ПАВ, що містяться у всіх пральних порошках і інших миючих рідинах, знижують поверхневий натяг води. Наявність невеликої кількості мила або клею у воді здатне знизити коефіцієнт поверхневого натягу вдвічі. Коефіцієнт поверхневого натягу також залежить від густини речовини, з яким контактує рідина. Чим вище щільність іншої речовини, тим менше коефіцієнт.

Розглянемо краплю рідини (води) на поверхні твердого тіла (скла). Є три межі розділу фаз: тверде тіло – рідина (скло – вода), тверде тіло – газ (скло – повітря), рідина – газ (вода – повітря) (рис. 1.1). Лінія перетинання всіх трьох поверхонь розділу називається лінією змочування.

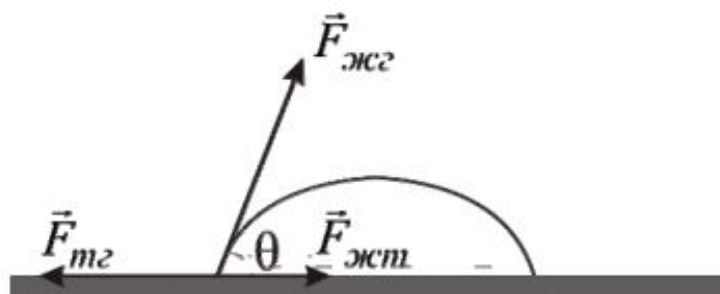


Рисунок 1.1 – Крапля рідини на поверхні твердого тіла:

F_{mg} , $F_{жт}$ і $F_{жг}$ – сили, що діють на лінію розриву по дотичній до поверхонь розділу фаз тверде тіло – газ, рідина – тверде тіло й рідина – газ відповідно

Розглянемо посудину з рідиною: вільна поверхня рідини (поверхня розділу рідина – повітря) через явище змочування не буде повністю лежати в горизонтальній площині, а буде скривлена, утворюючи так званий меніск. Меніск може бути опуклим, якщо рідина не змочує стінки посудини, або навпаки ввігнутим. Під скривленою поверхнею рідини виникає додатковий тиск, який описується формулою Лапласа:

$$\Delta P = \sigma \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (1.2)$$

де R_1 і R_2 – головні радіуси кривизни поверхні.

Методика роботи

Апаратура та обладнання: кювета з водою, дві вертикальні скляні гладкі пластинки, частково занурені в воду, мікроскоп.

У змочувальну рідину занурені дві вертикальні скляні пластинки, що утворюють між собою малий кут φ , тоді меніск рідини знаходиться в рівноважному стані, який встановиться через деякий час буде мати вигляд, зображений на рисунку 1.2.

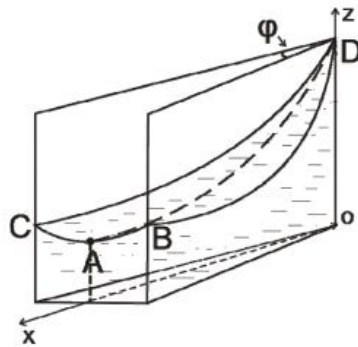


Рисунок 1.2 – Меніск у клині

За рахунок крайового ефекту поверхня рідини між пластинами викривляється. Беремо до уваги дві дуги САВ та AD, які перетинаються під прямим кутом в точці А.

При повному змочуванні можна вважати, що дуга САВ частина окружності, радіус якої дорівнює половині відстані d між пластинами, тобто:

$$R_1 = \frac{d}{2} \quad (1.3)$$

де $d = CB$

Радіус кривизни R_2 лінії AD набагато більше, ніж $d/2$.

Для того щоб пластинки утворювали малий двогранний кут φ , між ними вставлені калібровані дроти (рис. 1.3). На деяких установках вставлений тільки один дріт, у цьому разі ліві краї пластинок стикаються. Кут визначається за формулою:

$$\varphi \approx \frac{d_1}{l} \quad (1.4)$$

де d_1 – діаметр дроту;

l – відстань від вершини кута до дроту.

На поверхні однієї із пластин нанесені вертикальні мітки через кожні 5 мм. Як змочувальна рідина використовується вода, рівень води – 2–3 см від дна кювети. Пропонований метод визначення коефіцієнта поверхневого натягу є статичним, тобто коефіцієнт визначається для поверхні, що мимовільно

сформувався, рідини, що перебуває в рівновазі. меніск, що встановився, варіюється по висоті залежно від відстані між скляними площинами (рис. 1.3).

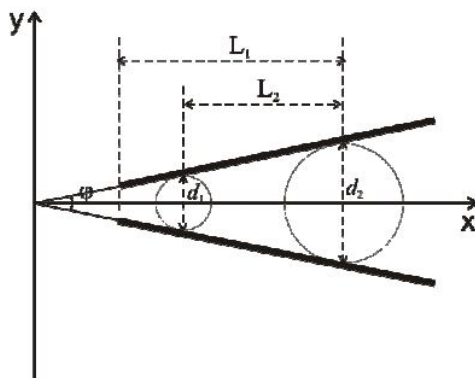


Рисунок 1.3 – Установка з двома проволоками (для розрахунку кута φ)

Чим вужче клин у розглянутому перетині, тем вище піднімається меніск. Даний метод придатний для якісного спостереження й аналізу явища поверхневого натягу, зокрема, форми меніска, що утворюється, рідини. Висота підняття меніска реєструється за допомогою мікроскопа, тубус якого може переміщатися по горизонталі й вертикалі. По вертикалі переміщення проводиться за допомогою гвинтової подачі тубуса. Висота підняття тубуса реєструється по шкалі, нанесеній на стійку мікроскопа. Точність виміру 0,5 мм.

Виміри ведуться в області, де спостерігається перетинання меніска з вертикальними мітками.

Виконання експерименту

1. Сфокусувати мікроскоп на точку перетинання меніска з першої міткою.

Виміри починаються з того краю пластини, де меніск вище, значить вставлений більш тонкий еталонний дріт.

2. Переміщати тубус мікроскопа по вертикалі за допомогою гвинтів доти, доки в полі зору не з'явиться точка перетинання меніска й мітки, сполучити її центром горизонтальної шкали окуляра мікроскопа. Записати номер мітки 1 і відлік h_1 по вертикальній шкалі мікроскопа – висоту меніска на конкретній мітці.

3. Переміщати тубус праворуч до точок перетинання з наступними мітками (можна під фокусувати мікроскоп на кожній мітці, щоб одержати досить різку картинку) і занести в таблицю вимірів пару значень номер мітки та h_i аж до другого дроту.

4. Повторити вимірювання, рухаючись у зворотному напрямку.

5. Сфокусувати мікроскоп на тонший еталонний дріт і за допомогою горизонтальної шкали окуляра виміряти товщину дроту d_1 .

Обробка результатів

Знайдемо x_i – відстань від початку координат до i -ї мітки:

Для установки з однією еталонною проволокою відстань від вершини клина дорівнює:

$$x_i = 0,005 \cdot i, \quad (1.5)$$

де i – порядковий номер мітки, $i = 1, 2, 3, \dots$

Для установки з двома проволочками розрахувати кут розходження клину φ за формулою:

$$x_i = \left(\frac{d_2}{\varphi} - L_1 + 0.005 \cdot i \right), \text{ м} \quad (1.6)$$

де i порядковий номер мітки, $i=1, 2, 3, \dots$

Побудувати методом найменших квадратів графік залежності $h_i \left(\frac{l}{x_i} \right)$. Знайти кутовий коефіцієнт K , а потім за формулою 1.7 при відомому K знайти коефіцієнт поверхневого натягу:

$$K = \frac{2\sigma}{\rho g \varphi} \quad (1.7)$$

За отриманими даними робимо висновок про виконану роботу.

Контрольні питання

1. Поняття поверхневого натягу.
2. Залежність величини від різних факторів.
3. Значення поверхневого натягу для різних рідин.
4. Визначення поверхневого натягу.

Тема 2 Загальна характеристика властивостей водних систем

Лабораторна робота № 2 – Визначення щільності та в'язкості рідин

Мета роботи – визначити фізичні характеристики рідини, зокрема, щільність та в'язкість рідин.

Загальні відомості

Густина рідини ρ (г/см³) визначається масою речовини в одиниці об'єму:

$$\rho = G \cdot v. \quad (2.1)$$

Відносна густина d становить відношення густини певної речовини до щільності іншої речовини за певних стандартних умов, зазвичай до щільності дистильованої води:

$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{в}}}. \quad (2.2)$$

За умови рівності об'ємів досліджуваної речовини та води густина дорівнює відношенню їхніх мас:

$$d = \frac{G}{G_{\text{в}}}. \quad (2.3)$$

Водночас відносну густина прийнято виражати відношенням густини речовини при нормальній температурі (20° С) до щільності дистильованої води при 4° С.

До основних методів вимірювання густини рідин відноситься – пікнометричний.

Методика роботи

Для вимірювання густини скористаємося аерометричним методом.

Прилади для вимірювання густини рідин – ареометри – за своїм призначенням поділяються на дві групи:

- 1) ареометри (денсиметри), що мають шкалу в одиницях щільності;
- 2) ареометри для вимірювання концентрації розчину, шкала яких відградує в об'ємних або масових відсотках.

До денсиметрів належать денсиметри для вимірювання густини різних рідин легших та важчих води: нафтоденсиметри, лактоденсиметри,

аккумуляторні денсиметри тощо. До ареометрів другої групи належать спиртоміри, гідрометри.

Скляний ареометр складається з порожнього корпусу циліндричної або веретеноподібної форми та припаяного до нього у верхній частині стрижня – циліндричної тонкостінної трубки із запаяним кінцем. Нижня частина ареометра заповнена баластом для забезпечення стійкості при зануренні в рідину. До внутрішньої поверхні стрижня приклеєна градуйована шкала. Деякі типи ареометрів (нафтоденсиметри та інші) виготовляються із вбудованим термометром, що дають змогу одночасно із щільністю (концентрацією) вимірювати й температуру рідини. Для визначення щільності рідини або концентрації розчину необхідно насамперед вибрати тип ареометра та його межі вимірювання.

Апаратура та обладнання

Випробувана рідина, ареометри, скляний циліндр, термометр.

Виконання експерименту

Випробувану рідину наливають у скляний циліндр, внутрішній діаметр якого перевищує діаметр корпусу ареометра не менше ніж у два рази, а висота трохи перевищує висоту ареометра. Різниця в температурі продукту й навколишнього середовища не повинна перевищувати +5 %.

Чистий сухий ареометр занурюють у циліндр із випробуваною рідиною, тримаючи його за верхній кінець. Після припинення коливань і встановлення ареометра здійснюють відлік по верхньому краю меніска. Одночасно вимірюють температуру рідини.

Відлік по шкалі ареометра відповідає щільності при температурі випробування. Для приведення цієї щільності до щільності d_{20} (при 20 °С) використовують формулу:

$$d_{420} = d_4^t + \alpha(t - 20) \quad (2.4)$$

Визначення в'язкості

В'язкістю або внутрішнім тертям називають властивість рідини пручатися взаємному переміщенню її часток (ковзанню або зрушенню) під

впливом діючих сил. В'язкість – дуже важлива властивість рідин; особливо це стосується нафтопродуктів і насамперед мастил. В'язкість характеризується коефіцієнтом в'язкості. Розрізняють динамічний, кінематичний і відносний (умовний) коефіцієнти в'язкості.

Динамічний коефіцієнт в'язкості характеризує в'язкість потоку рідини, у якій лінійна швидкість під впливом тиску зрушення 1 Па має градієнт 1 м/с на 1 м відстані ($\text{grad } u$), перпендикулярного площині зрушення. Для ламінарного потоку рідини динамічний коефіцієнт в'язкості розраховують за формулою Ньютона:

$$\mu = \frac{F}{S \cdot \text{grad} \cdot u} \quad (2.5)$$

де $\frac{F}{S} = P_c$ – напруга зрушення, Па.

Динамічний коефіцієнт в'язкості найчастіше виражають у пуазах:

$$1 \text{ Пуаз} = 1 \text{ дина} \text{ с/см}^2 = 1 \text{ г/ (см} \cdot \text{с)}.$$

Динамічний коефіцієнт в'язкості води при 4°C становить

$$1,005 \cdot 10^{-3} \text{ Па/м}^2 = 1,005 \text{ мПа/м}^2 = 1 \text{ сПз}.$$

Кінематичний коефіцієнт в'язкості дорівнює відношенню динамічного коефіцієнта в'язкості рідини або газу при даній температурі до їхньої густини при тій самій температурі:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.6)$$

Кінематичний коефіцієнт в'язкості має розмірність $\text{м}^2/\text{с}$, тобто кінематична в'язкість потоку, що має динамічну в'язкість – Па/м^2 і щільність – кг/м^3 .

У системі CGS кінематичну в'язкість виражають у стоксах (Ст). Стокс являє собою в'язкість рідини, щільність якої дорівнює 1 г/см^3 і яка чинить опір силою в 1 дину, взаємному переміщенню двох шарів рідини площею в 1 см^2 , що перебувають на відстані 1 см один від іншого, що й переміщаються один щодо іншого зі швидкістю 1 м/с.

Відносний (умовний) коефіцієнт в'язкості використовується головним чином для практичної характеристики нафтопродуктів. Серед відносних

понять найпоширеніше поняття питомої в'язкості, що показує, наскільки динамічна в'язкість даної рідини більше або менше динамічної в'язкості стандартної рідини (води) при умовно обраній температурі.

Апаратура та обладнання

Досліджувана рідина, віскозиметр ВПЖ-2, секундомір.

Виконання експерименту

Віскозиметр капілярний типу ВПЖ-2 представляє U-подібну трубку, у коліно якої впаяний капіляр.

Вимірювання в'язкості за допомогою капілярного віскозиметра засноване на визначенні часу витікання через капіляр певного об'єму рідини з вимірювального резервуара.

Перед визначенням в'язкості рідини віскозиметр повинен бути ретельно промитий і висушений.

Віскозиметр спочатку необхідно промити кілька раз бензолом, потім петролейним ефіром. Після розчинника промити водою й залити не менш ніж на 5-6 годин хромовою сумішшю. Після цього віскозиметр промивають дистильованою водою й сушать. Для швидшого сушіння віскозиметр можна промити спиртом ректифікатом або ацетоном.

Для виміру часу плину рідини на відвідну трубку (рис. 2.1) (3) надягають гумовий шланг. Далі, затиснувши пальцем коліно (2) і перевернувши віскозиметр, опускають коліно (1) у посудину з рідиною й засмоктують її до відмітки М-2, стежачи за тим, щоб у рідині не утворювалося пухирців повітря. У той момент, коли рівень рідини досягне відмітки М-2, віскозиметр виймають із посудини й швидко перевертають у нормальне положення. Знімають із зовнішньої сторони кінця коліна(1) надлишок рідини й надягають на нього гумову трубку.

Віскозиметр установлюють у водяний термостат так, щоб розширення (5) було нижче рівня рідини в термостаті.

Після витримки в термостаті не менше 15 хвилин при заданій температурі засмоктують рідину в коліно до однієї третини висоти розширення (5).

Сполучають коліно (1) з атмосферою та визначають час опускання меніска рідини від відмітки М-1 до відмітки М-2.

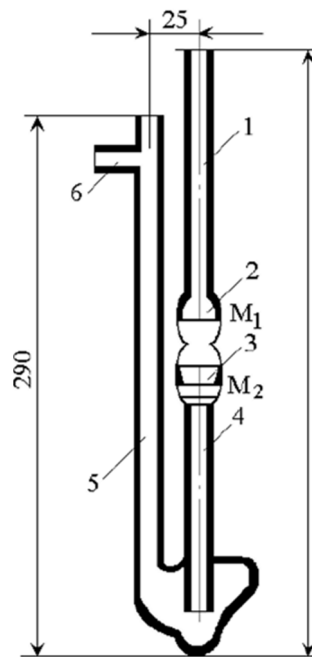


Рисунок 2.1 – Скляний віскозиметр ВПЖ 2

В'язкість обчислюють за формулою за середнім часом витікання рідини.

—

(2.9)

- де V – кінематична в'язкість рідини (сантистокс),
 τ – час витікання рідини (с.),
 g – прискорення сили ваги ($\text{см}/\text{с}^2$),
 k – розрахунковий коефіцієнт (вказується в паспорті віскозиметра).

Контрольні питання

1. Дайте визначення густини рідини.
2. Прилади для вимірювання густини.
3. Особливості визначення густини рідини.
4. Дайте визначення в'язкості рідини.
5. Динамічна в'язкість.
6. Кінематична в'язкість.
7. Відносна в'язкість.
8. Чому при різних температурах в'язкість однієї і тієї самої рідини змінюється?

Тема 3 Вплив різних факторів на розчинність речовин, що знаходяться у різному агрегатному стані

Лабораторна робота № 3 Гідроліз солей

Мета роботи: дослідження процесу гідролізу солей і встановлення факторів, що впливають на гідроліз.

Загальні відомості

У разі розчинення деяких солей у воді порушується рівновага дисоціації води. Це є результатом обмінних реакцій розчиненої речовини з розчинником, що приводять до утворення важкорозчинних, газоподібних і малодисоційованих сполук. Така обмінна взаємодія розчиненої речовини з водою називається гідролізом.

Залежно від походження розчиненої речовини, її гідроліз може відбуватися по-різному. Так якщо сіль утворена сильною кислотою та лугом рівної сили, то вона повністю розпадається у воді на свої складники, а її катіони й аніони, зустрічаючись із іонами H^+ і OH^- , практично ними не зв'язуються. Відбувається це тому, що, унаслідок такого зіткнення утворюються сильні кислоти та луги, які знову моментальне розпадаються на іони. Тому рівновага електrolітичної дисоціації води не зміщається, концентрація іонів водню та гідроксиду залишається постійною та дорівнює 10^{-7} моль/л.

Гідролізу зазнають усі інші солі:

- утворені катіоном сольного лугу та аніоном слабкої кислоти – відбувається гідроліз по аніону;
- утворені катіоном слабого лугу та аніоном сильної кислоти – відбувається гідроліз по катіону;
- утворені катіоном слабого лугу та аніоном слабкої кислоти – відбувається гідроліз і по катіону і по аніону.

Процес гідролізу кількісно характеризується ступенем гідролізу (h) і константою гідролізу (K_h). Ступенем гідролізу називається відношення числа

молекул, які піддалися гідролізу ($C_{\text{гідр.}}$), до загального числа розчинених молекул ($C_{\text{заг.}}$):

$$h = \frac{C_{\text{гідрол}}}{C_{\text{заг}}} \quad (3.1)$$

Ступінь гідролізу залежить від наступних факторів:

- природи солі;
- її концентрації;
- температури розчину.

Розведення розчину рівноцінно збільшенню концентрації однієї з реагуючих речовин (води) і приводить до посилення гідролізу. Гідроліз концентрованих розчинів відбувається слабкіше. Процес гідролізу ендотермічний, тому з підвищенням температури протікає повніше.

Отже при гідролізі дотримується принцип Ле - Шательє. Константою гідролізу ($K_{\text{Г}}$) називається – відношення добутку концентрації продуктів гідролізу до концентрації негідралізованої солі (визначається зазвичай за таблицями). Величина $K_{\text{Г}}$, на відміну від ступеня гідролізу, не залежить від концентрації розчину, тому є більш зручною характеристикою процесу. Обидві величини зв'язані між собою відношенням аналогічним закону розведення:

$$K_{\text{Г}} = \frac{Ch^2}{1-h} \quad (3.2)$$

де C – вихідна концентрація солі в розчині, (моль/л).

Якщо ступінь гідролізу малий ($h \ll 1$), то $K_{\text{Г}} = h^2 \cdot C$

$$h = \sqrt{\frac{K_{\text{Г}}}{C}} \quad (3.3)$$

Методика роботи

Експериментальна частина містить три досліди: визначення реакції середовища в розчинах різних солей, дослідження випадку повного гідролізу солей, вплив температури на ступінь гідролізу.

Реакція середовища в розчинах різних солей

Апаратура й обладнання

Пробірки (5 шт), нейтральний розчин, солі хлориду алюмінію, карбоната натрію, хлорид калію, ацетат амонію.

Виконання експерименту

У п'ять пробірок до 1/3 їхнього об'єму налити нейтральний розчин лакмусу. Одну пробірку залишити як контрольну, а в інші додати по одному мікрошпателю кристалів наступних солей: у першу – хлориду алюмінію, у другу – карбонату натрію, у третю – хлориду калію, у четверту – ацетату амонію.

По зміні фарбування лакмусу зробити висновок про реакцію середовища в розчині кожної солі. Отримані результати внести в таблицю (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Реакція середовища в розчинах солей

Номер пробірки	Формула солі	Забарвлення лакмуса	Реакція середовища	pH розчину

Випадок повного гідролізу солей

Апаратура й обладнання

Пробірки (2 шт), розчини хлорида алюмінію та сульфід натрію, карбонат натрію.

Виконання експерименту

У дві пробірки внести по 6 – 8 крапель розчину хлориду алюмінію. В одну пробірку додати такий самий об'єм розчину сульфід натрію, в іншу – розчину карбонату натрію. Відзначити виділення сірководню в першій пробірці (по запаху) і пухирців діоксида вуглецю в другий. В обох випадках в осад випадає гідроксид алюмінію.

Вплив температури на ступінь гідролізу солей

Апаратура й обладнання

Склянки (2 шт), розчин ацетату натрію, розчин фенолфталеїну.

Виконання експерименту

У дві склянки налити 1 М розчин ацетату натрію. Одну склянку нагріти майже до кипіння розчину. Потім в обидві склянки капнути по 3 – 5 крапель фенолфталеїну. Фарбування з'являється в склянці з гарячим розчином, це вказує на посилення гідролізу при нагріванні.

Контрольні питання

1. Які з досліджуваних солей піддаються гідролізу?
2. Написати іонні та молекулярні рівняння реакцій їхнього гідролізу та вказати вид гідролізу кожної солі.
3. Написати рівняння реакцій, які призвели до утворення гідроксиду алюмінію?
4. З якої причини не утворився сульфід та карбонат алюмінію?

ЗМ 2 Методи очистки води з урахуванням впливу зовнішніх чинників на властивості водних систем

Тема 4 Флотація – метод очистки води від забруднюючих речовин, що знаходяться в різних фазово-дисперсних станах

Лабораторна робота № 4 Флотаційне виділення емульгованих масел

Мета роботи: Вивчити механізм флотаційного руйнування емульсій, функції СПАР.

Загальні відомості

Виділення емульгованих органічних речовин (масел, жирів, нафтопродуктів, латексів тощо) зі стічних вод досить складне завдання. Емульсіями називаються дисперсні системи, що складаються із двох або більше рідких нерозчинних фаз, тобто з відмінною полярністю.

Існує два основні типи емульсій: дисперсія масла (будь-якої неполярної рідини) у воді, (м/в) і дисперсія води в маслі (в/м). Емульсії першого типу називаються прямими, а другого – зворотними.

Залежно від концентрації дисперсної фази емульсії підрозділяють на три класи: розведені ($C < 0,1\%$), концентровані ($C < 74\%$) і висококонцентровані ($C > 74\%$).

Стійкість емульсій обумовлюється величиною часток, температурою, наявністю емульгатора. Більшість емульсій є мікрогетерогенними $9 \cdot 10^{-5} - 10^{-3}$ см, термодинамічними нестійкими системами. При довготривалому зберіганні таких емульсій у них відбувається адгезія часток, а потім об'єднання крапель (коалесценція).

Методи механічного очищення стічних вод від емульсій дають змогу виділити частки крупніше 10 – 50 мкм. Ці методи малоефективні (відстоювання), економічно не виправдані (центрифугування). Значно більший ефект дають електрохімічні та фізико-хімічні методи, такі як фільтрація через гідрофобні осади, електрокоагуляція, флотація.

Для поліпшення показників флотації часто використовують ПАР, так звані флотореагенти – це реагенти-збирачі, реагенти-вспінювачі тощо. Реагенти – збирачі, вибірково адсорбуючись на поверхні часток, покривають їх гідрофобною плівкою, знижуючи змочуваність, після чого ці частки прилипають до пухирців повітря й виносяться з ними нагору. Як збирачі застосовують аніоноактивні та катіоноактивні ПАР.

На ефект флотації впливає розмір і кількість пухирців повітря, розподілених у воді. Ефективна флотація вимагає більш тонкого диспергування повітря. Флотаційна обробка води викликає також окиснення ряду токсичних речовин. Завдяки цьому загальний санітарно-гігієнічний ефект очищення стічних вод у флотаторах високий.

Методика роботи

Суть флотаційного методу полягає в тому, що при створенні в об'ємі розчину межі розподілу фаз рідина-газ (при диспергуванні пухирців повітря),

масляні частки закріплюються на пухирцях і виносяться на поверхню розчину. Механізм цього закріплення може бути різний і залежить від низки факторів, наприклад, дисперсності пухирців повітря, масляних часток і т.д.

При прилипанні грубодисперсних часток масла до пухирця повітря утворюється трифазний периметр змочування (зіткнення фаз: масло – вода – повітря). При крайових кутах змочування, близьких до нуля, тобто для часток, що добре змочуються водою, величина флотовності практично дорівнює нулю. Для часток, що погано змочуються водою, крайовий кут змочування прагне до 180, а величина флотовності до максимуму.

Прямі емульсії, стабілізовані іоногенними емульгаторами, можна зруйнувати: додаванням електролітів із полівалентними іонами, нейтралізацією іншим емульгатором, що сприяють утворенню емульсій зворотного типу, додаючи речовини, що мають активніші поверхнево-активні властивості, ніж емульгатор.

Апаратура та обладнання

1. Емульсія ПВА, 0,1 г/л.
2. Водяний розчин NaOH (каустична сода (луг)), 0,1 н.
3. Водяний розчин СПАР, 0,1 г/л.
4. Магнітна мішалка.
5. Фотоелектроколориметр.

Виконання експерименту

Вивчення впливу концентрації СПАР на ступінь руйнування емульсії

У п'ять склянок на 150 мл налити по 100 мл досліджуваній емульсії та додати необхідна кількість розчину СПАР ($C = 0,1$ г/л) – 2, 4, 6, 8, 10 мл. Вміст кожної склянки перемішати за допомогою магнітної мішалці (1 хв), провести флотаційну обробку емульсії на лабораторній установці протягом 3 хвилин, відібрати пробу в кювету, (не припиняючи флотацію) і визначити залишковий вміст масла за допомогою каліброваного графіка. Обчислити ступінь вилучення масла:

$$A = [(C_{\text{вих}} - C_{\text{зал}}) / C_{\text{вих}}] \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

де $C_{\text{вих}}$ – концентрація початкова, г/л;

$C_{\text{зал}}$ – концентрація залишкова, г/л

Побудова каліброваного графіка

Графік побудувати в координатах концентрація масла – оптична щільність. Концентрація масла (100, 75, 50, 25, 10 мг/л) змінюється шляхом відповідного розведення вихідної емульсії зі змістом ПАР – 100 мг/л. Оптичну щільність визначають на ФЕК: кювету = 50мм, $\lambda = 364\text{нм}$.

Вивчення впливу рН

Аналогічно першому завданню необхідно взяти п'ять склянок, налити в них по 100 мл емульсії, додати оптимальна кількість ПАР (встановлене за результатами першого дослідження) і створити рН відповідно: 2, 3, 5, 7, 9. Після флотаційної обробки визначити залишковий вміст масла та ступінь вилучення масла від рН середовища. Усі результати покласти у вигляді табличних даних і графічних залежностей.

Контрольні питання

1. Дати визначення емульсії, класифікації емульсій.
2. Охарактеризувати стійкість емульсій, назвати фактори, її що її визначають.
3. Пояснити суть і механізм флотаційного руйнування емульсій, функції ПАР.

Тема 5 Способи знезаражування води: реагентні (хімічні), безреагентні (фізичні) і комбіновані

Лабораторна робота № 5 Окислювально-відновлювальний потенціал

Мета роботи: Вивчення основ окислювально-відновлювальних процесів і окислювально-відновлювального потенціалу.

Загальні відомості

Основними процесами, що забезпечують життєдіяльність будь-якого організму, є окислювально-відновлювальні реакції, тобто реакції, пов'язані з передачею або приєднанням електронів.

Окислювально-відновлювальний потенціал є мірою хімічної активності елементів або їхніх сполук в оборотних хімічних процесах, пов'язаних зі зміною заряду іонів у розчинах.

Редокс-потенціал (від англійського Redox – Reduction/Oxidation), характеризує ступінь активності електронів в окислювально-відновлювальних реакціях, тобто реакціях, пов'язаних із приєднанням або передачею електронів. При вимірюваннях (в електрохімії) величина цієї різниці позначається як E_h і виражається в мілівольтах. Чим вище концентрація компонентів, здатних до окислення, до концентрації компонентів, що можуть відновлюватися, тем вище показник редокс-потенціалу. Такі речовини, як кисень і хлор, прагнуть до прийняття електронів і мають високий електричний потенціал, отже, окислювачем може бути не тільки кисень, але й інші речовини (зокрема хлор), а речовини типу водню, навпаки, охоче віддають електрони та мають низький електричний потенціал. Найбільшу окислювальну здатність має кисень, а відновлювальну – водень, але між ними розташовуються й інші речовини, що присутні у воді та менш інтенсивно виконуючі роль або окисників або відновників.

Окислювально-відновлювальний потенціал звичайної питної води (вода із централізованого водогону, питна вода в пляшках тощо) практично завжди більше нуля та звичайно перебуває в межах від +200 до +400 мВ.

Методика роботи

Значення окислювально-відновлювального потенціалу для кожної окислювально-відновлювальної реакції може мати як позитивне, так і негативне значення.

Вимірювання рН, та окислювально-відновлювального потенціалу здійснюємо за допомогою приладу SUBOTA SB52.

Прилад SUBOTA SB52 призначений для вимірювання рН і окислювально-відновлювального потенціалу.

В основі конструкції приладу лежить спеціальна електрична схема з адаптованою електродною системою, у якій виникає ЕРС (електро-рушійна сила) у разі потрапляння електродів у середовище з підвищеним вмістом рН-іонів, яке добре проводить електричний струм.

У результаті одержуємо вольтметр, який проградуйований не у вольтах, як це прийняте в стандартних приладах, а пропорційно в рН одиницях.

Крім активності водневих іонів, за допомогою рН-метра можливо виміряти температуру технологічного розчину природної або стічної води, а також окислювально-відновлювальний потенціал досліджуваного розчину.

Робота цього приладу заснована на двох електродах: електроді порівняння та хлорсрібному електроді.

Апаратура та обладнання

Вода з централізованого водогону, газована бутильована вода, прилад SUBOTA SB52.

Виконання експерименту

1. Налити досліджувану воду в спеціальну ємність.
2. Включити прилад, для тестування занурити електрод у розчин.
3. Акуратно перемішати для стабілізації показників, тобто поки на дисплеї не вимкнеться індикатор нестабільності. Записати показання.
4. За допомогою міксера інтенсивно перемішати воду й знову провести вимірювання. Записати показання.
5. Додати у воду мікрогидрин, провести вимірювання. Записати показання.
6. Виключити прилад.
7. Отриманні данні, занести до таблиці 5.1.
8. Зробити висновки.

Таблиця 5.1– Результати експерименту

Проби води	Показання	
	ОВП	pH
Вода		
Вода + міксер		
Вода + мікрогидрин		

Контрольні питання

1. Природа окислювально-відновлювальних реакцій.
2. Визначення ОВП (редокс потенціалу).
3. Прилади для вимірювання ОВП та pH.
4. Фактори, що впливають на зміну ОВП та pH.

Тема 6 Фізичні методи очистки води

Лабораторна робота № 6 Визначення твердості та пом'якшення води

Мета роботи: проведення аналізу води на твердість та її пом'якшення методом катіонування.

Загальні відомості

Твердість води – це сукупність властивостей, обумовлених вмістом у воді іонів. Сумарна концентрація іонів (кальцієва твердість води) і (магнієва твердість води) називається загальною твердістю. Загальна твердість включає карбонатну твердість, обумовлену вмістом у воді гідрокарбонатів кальцію та магнію, і некарбонатну, обумовлену вмістом у воді сульфатів і хлоридів кальцію та магнію. Карбонатну твердість можна знизити шляхом кип'ятіння, тому таку твердість називають тимчасовою. Некарбонатна твердість не зменшується під час кип'ятінні, тому її називають постійною.

Величину твердості природних вод виражають у міліеквівалентах на 1 л води (мекв/л). Один міліеквівалент твердості відповідає вмісту 20,40 мг/л Ca^{2+} або 12,16 мг/л Mg^{2+} .

Твердість природних вод коливається в дуже широких межах – від 0,1–0,2 мекв/л у водах рік і озер, до 80 -100 мекв/л у деяких підземних водах і водах

морів і океанів. Підвищена твердість у водах природних джерел обумовлена контактом води з гірськими породами, що містять карбонати та сульфати.

Застосування твердої води неприпустимо в деяких галузях промисловості, наприклад у теплоенергетиці, оскільки в казанах і опалювальних приладах утворюється накип, що погіршує теплообмін. Тому твердість є одним із показників якості води, який необхідно контролювати.

За необхідності використання джерела з високою твердістю води застосовують спеціальні методи пом'якшення води. Пом'якшення може бути здійснене перетворенням солей твердості у важкорозчинні або комплексні сполуки, перегонкою води, методом іонного обміну.

У разі пом'якшенні води методом осадження солі твердості переводять у такі важкорозчинні сполуки: карбонат кальцію, гідроксид магнію.

Постійна твердість вапном не видаляється – змінюється її будова: магнієва твердість переходить в еквівалентну кількість кальцієвої.

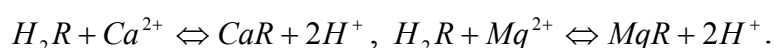
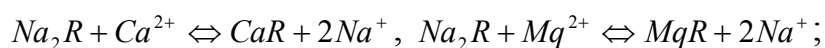
При содовапнуванні усувається як тимчасова, так і постійна твердість.

Осадження солей твердості фосфатом натрію називається фосфатуванням води. Воно застосовується і як самостійний метод пом'якшення і як метод додаткового пом'якшення води після попереднього зниження твердості іншими способами.

Найглибше пом'якшення води досягається методом іонного обміну. Іонний обмін заснований на здатності деяких високомолекулярних сполук (іонітів) вступати в оборотні реакції обміну іонами, до того ж цей обмін відбувається в суворо еквівалентних співвідношеннях. Обмінними іонами можуть бути як катіони (у цьому випадку іоніт називають катіонітом), так і аніони (у цьому випадку іоніт називають аніонітом).

При пом'якшенні води використовують катіонний обмін. Обмінними іонами зазвичай служать іони Na^+ чи іони H^+ катіоніту.

Процес пом'якшення можна представити такими рівняннями:



де Na_2R - умовне позначення катіоніта в Na -формі ;

H_2R - умовне позначення катіоніта в H – формі.

Найважливішою характеристикою іоніту є його обмінна ємність. У практиці водопідготовки іоніт характеризують по динамічній обмінній ємності, що виражається числом еквівалентів іона, що поглинається, на 1 м^3 іоніту в робочому стані.

Регенерація катіоніта заснована на оборотності процесу іонного обміну. Катіоніт після виснаження регенерується 5 – 8% розчином хлориду натрію. Після регенерації катіоніт відмивають пом'якшеною водою.

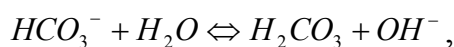
Для визначення твердості води застосовують титриметричний метод, причому для визначення загальної твердості використовують комплексометричне титрування, а карбонатну твердість визначають методом кислотно-основного титрування.

Методика роботи

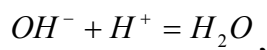
Визначення карбонатної та некарбонатної твердості води

Визначення карбонатної твердості води зводиться до вимірювання концентрації гідрокарбонат-іона HCO_3^- і еквівалентної цим іонам концентрації іонів твердості Ca^{2+} і Mg^{2+} . Для аналізу використовують метод кислотно-основного титрування, заснований на реакції нейтралізації.

Аніон HCO_3^- у воді гідролізується:



тому вода має лужну реакцію. Під час титрування відбувається реакція нейтралізації:



Як індикатори використовують речовини, що змінюють своє фарбування залежно від рН середовища. За своїм хімічним походженням індикатори становлять собою слабкі органічні кислоти або слабкі органічні луги , у яких молекулярна та іонна форми мають різне фарбування.

Згідно з іонною теорією індикаторів зміна кольору індикатора викликається зсувом рівноваги дисоціації:

У кислому середовищі індикатор перебуває в недисоційованій формі, оскільки надлишок іонів водню зв'язується з аніонами індикатора. У лужному середовищі гідроксильні іони зв'язують протони в малодисоціюючу речовину – воду. Рівновага зміщається вбік дисоціації кислоти, що приводить до зростання концентрації іонної форми.

Апаратура та обладнання

1. Мірний циліндр місткістю 100 мл – 1.
2. Бюретка місткістю 25 мл – 2.
3. Колби для титрування місткістю 200 – 250 мл – 3 шт.
4. Піпетка місткістю 5 мл – 1 шт.
5. Стовпчик, заповнений катіонітом – 1 шт.
6. 0,01 н розчин комплексона.
7. 0,1 н розчин соляної кислоти.
8. Індикатор еріохром чорний Т.
9. Індикатор метиловий жовтогарячий.
10. Аміачний буферний розчин.

Виконання експерименту

Мірним циліндром відбирають 100 мл води та переносять її в колбу для титрування. Додають до досліджуваної води дві краплі метилового жовтогарячого.

Приготовлену пробу повільно, постійно перемішуючи, відтитровують розчином соляної кислоти до переходу жовтого фарбування індикатору в жовтогаряче. Результат титрування занотують. Титрування поводять ще раз, якщо отримані дані збігаються, то знаходять середній об'єм розчину соляної кислоти, витрачений на титрування та розраховують карбонатну твердість води, а якщо ні, то відтитровують пробу ще раз.

Результати досліду записують в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Дослідні данні

Об'єм досліджуваної води, V_1 , мл	Об'єм розчину соляної кислоти, V_2 , мл	Молярна концентрація еквівалентів розчину HCl , $C_{екв}$, моль/л	Твердість води.	
			Карбонатна J_K , моль/л	Некарбонатна $J_{нк}$, моль/л
100		0,1		

Розраховуємо карбонатну твердість води за формулою 6.1:

$$J_K = \frac{V_2 \cdot C_{екв} \cdot 1000}{V_1} \quad (6.1)$$

Некарбонатну твердість води знаходять за рівнянням:

$$J_{нк} = J_0 - J_K \quad (6.2)$$

Пом'якшення води методом катіонування

Тверду воду пропускають крізь катіонообмінну смолу в Na^+ – формі, до того ж іони Ca^{2+} і Mg^{2+} еквівалентно заміщають іони Na^+ у смолі.

Виконання експерименту

Через стовпчик заповнений катіонітом пропустити 300 – 400 мл води заданої твердості. Швидкість фільтрування регулюється затиском, вона не повинна перевищувати 15 крапель на хвилину. Пом'якшену воду збирають у склянку, попередньо ополоснувши першими порціями фільтрату.

Відбирають 100 мл пом'якшеної води та визначають загальну твердість пом'якшеної води.

Результати досліду зводять у таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 – Дослідні данні

Об'єм досліджуваної води, V_1 , мл	Об'єм розчину комплексона, V_2 , мл	Молярна концентрація еквівалентів комплексона, $C_{екв}$, моль/л	Загальна твердість води після пом'якшення, J_o , моль/л
100		0,01	

Контрольні питання

- 1 Твердість води.
2. Види твердості.

3. Пом'якшення води методом катіонування.
4. Визначення карбонатної та некарбонатної твердості води.
5. Спеціальні методи пом'якшення води.

КОНТРОЛЬНА РОБОТА

У процесі вивчення дисципліни передбачено виконання контрольної роботи . «Вибір методу очищення з урахуванням особливостей водних систем»

Мета роботи: вибір ефективного методу очищення води, та оцінка його ефективності.

При виконанні контрольної роботи студент, згідно зі своїм варіантом визначає тему в межах поставленого завдання, та обґрунтовує ефективність обраного методу очищення з урахуванням особливостей водних систем.

Отже необхідно для води певної якості підібрати метод (-ди) для ефективного очищення (підготовки) води (табл.1).

Таблиця 1 – Методи підготовки води

№ п/п	Напрямок дослідження	Методи очищення / підготовки води
1	2	3
1.	Вода поверхневого джерела	Коагуляція
2.	Вода підземного джерела	Флокуляція
3.	Вода з підвищеним вмістом заліза та мінералізацією	Відстоювання
4.	Побутові стічні води	Фільтрація
5.	Стічні води олійного виробництва	Відстоювання
6.	Підготовка води для фармацевтичної галузі	Осадження
7.	Стічні води молочної промисловості	Флотація
8.	Стічні води тваринного комплексу	Гравітаційна сепарація
9.	Фільтрат полігонів ТПВ	Окислення-відновлення
10.	Стічні води гальванічного виробництва	Нейтралізація
11.	Стічні води текстильної промисловості	Знешкодження
12.	Стічні води хлібокомбінату	Знезараження
13.	Підготовка води для виробництва пива	Електрокоагуляція
14.	Стічні вод косметичної промисловості	Електрофлотація

Продовження таблиці 1

1	2	3
15.	Стічні вод м'ясної промисловості	Електродіаліз
16.	Стічні води машинобудівної промисловості	Баромембранні методи
17.	Вода поверхневого джерела з високою каламутністю	Сорбція
18.	Вода поверхневого джерела в період повені	Іонний обмін
19.	Стічні води лакофарбувального виробництва	Екстракція
20.	Підготовка води для фармацевтичної галузі	Евопарація

САМОСТІЙНА РОБОТА СТУДЕНТІВ

Самостійна робота студентів передбачає відповіді на питання після кожного заняття, згідно з програмою дисципліни та матеріалу викладеного в конспекті лекцій із певної дисципліни.

ЗМ 1 Загальна характеристика властивостей водних систем

Тема 1 Структура і властивості води. Фізичні властивості води. Аномалія води. Температури кипіння і замерзання. Будова молекули води і її структура. Діаграма стану води.

Контрольні питання

1. Основні фізичні властивості води.
2. Основні аномальні властивості води.
3. Особливості будови та структури молекули води.
4. Характеристика діаграми стану води.

Тема 2 Загальна характеристика властивостей водних систем. Метастабільний стан води. Процеси гідратації. Властивості води і розчинів солей.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте метастабільний стан води.
2. Особливоості процесів гідратації.
3. Поняття про розчин.
4. Насичений розчин.
5. Ненасичений розчин.

Тема 3 Кластероутворювання і концепція о граничних шарах кластерів.

Ізотопний склад води і її властивості.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Поняття кластеру, кванту.
2. Визначення коливань кластеру.
3. Ізотопний склад води.
4. Правило фаз Гіббса.

Тема 4 Вплив різних факторів на розчинність речовин, що знаходяться у різному агрегатному стані.

Контрольні питання

1. Поняття про розчини.
2. Рідкі, тверді розчини.
3. Аналіз фізико-хімічної теорії розчинів.
4. Насичений розчин, ненасичений, пересичений розчини.
5. Перекристалізація.

ЗМ 2 Методи очистки води з урахуванням впливу зовнішніх чинників на властивості водних систем

Тема 5 Флотація – метод очистки води від забруднюючих речовин, що знаходяться в різних фазово-дисперсних станах.

Контрольні питання

1. Особливості флотаційного методу очищення.
2. Фізико-хімічні основи пінної флотації.
3. Фізико-хімічні основи пінного фракціонування.
4. Фізико-хімічні основи електрофлотації.
5. Призначення електрофлотації, переваги та недоліки методу.

Тема 6 Способи знезаражування води: реагентні (хімічні), безреагентні (фізичні) і комбіновані.

Контрольні питання

1. Хімічні способи знезараження води.
2. Переваги та недоліки хлорування води.
3. Переваги та недоліки озонування води.
4. Суть методу олігодинамії.
5. Фізичні способи знезараження питної води.
6. Особливості ультрафіолетового випромінювання та використання ультразвукових коливань;
7. Комбіновані способи знезараження води.

Тема 7 Фізичні методи очистки води. Ультразвукова кавітація. Гідродинамічна кавітація. Електророзрядні методи.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Принцип ультразвукового очищення.
2. Граничні умови використання ультразвукового очищення.
3. Фактори, що впливають на інтенсивність кавітаційного зношування.
4. Гідродинамічна кавітація.
5. Використання електророзрядних методів.

Тема 8 Механізм впливу електромагнітного поля на властивості водних систем. Вплив магнітного поля на структуру і властивості води. Механізм впливу магнітного поля на стан водно-дисперсних систем.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Особливості впливу магнітного поля на структуру та властивості води.
2. Механізм впливу магнітного поля на стан водно-дисперсних систем.
3. Процес руйнування колоїдних частинок під дією магнітного поля.
4. Механізм зміни структури асоціатів під дією магнітного поля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Антонченко В. Я. Основы физики воды : / В. Я. Антонченко, Давыдов А. С., Ильин В. В. ; АН УССР. Институт теоретической физики. – Київ : Наукова думка, 1991. – 672 с.
2. Григорьева Л. С. Физико-химическая оценка качества и водоподготовка природных вод / Л. С. Григорьева – Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2011. – 152 с.
3. Савгіра Ю. О. Фізична та колоїдна хімія : навчальний посібник / Ю. О. Савгіра – Харків : ХДУХТ, 2006.– 162 с.
4. Скоробагатий Я. П. Фізична і колоїдна хімія та фізико-хімічні методи дослідження : навчальний посібник / Я. П. Скоробагатий, В. Ф. Федорко. – Львів : Компакт-ЛВ, 2005.– 248 с.
5. Душкин С. С. Магнитная водоподготовка на химических предприятиях / С. С. Душкин, В. Н. Евстртов. – Москва : Химия, 1986. – 144 с.
6. Science Experiments for kids / Science Kids [Electronic resource] – July 24, 2014. – Regime of access: <http://www.sciencekids.co.nz>
7. Физические свойства воды// Все о воде [Электронный ресурс]. – 2009-2010. – Режим доступа: <http://all-about-water.ru/surface-tension.php>
8. Опыты с водой / Экспериментики [Электронный ресурс]. – 2014. -- Режим доступа: <http://eksperimentiki.ru/publ/fizika/water/10-1-2>.

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації
до організації самостійної роботи, проведення лабораторних
занять і виконання контрольної роботи
з навчальної дисципліни

«ФІЗИКА ВОДИ»

*(для студентів I курсу другого (магістерського) рівня за спеціальністю
192 - Будівництво та цивільна інженерія
освітня програма «Водопостачання та водовідведення»)*

Укладач **ДЕГТЯР** Марія Володимирівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*
Редактор *В. І. Шалда*
Комп'ютерне верстання *М. В. Дегтяр*

План 2016, поз. 130 М

Підп. до друку 30.08.2019. Формат 60 × 84/16
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 2
Тираж 50 пр. Зам. №

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