

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

для виконання лабораторних робіт
із навчальної дисципліни

«ОЧИСНІ СПОРУДИ ВОДОПОСТАЧАННЯ»

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)



**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024**

Методичні рекомендації для виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Очисні споруди водопостачання» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : В. М. Беляєва, К. Б. Сорокіна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 39 с.

Укладачі: В. М. Беляєва,
канд. техн. наук К. Б. Сорокіна

Рецензент

М. В. Дегтяр, кандидат технічних наук, доцент, 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 29.08.2023

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	4
1 ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	5
2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА. ВИДИ АНАЛІЗУ ВОДИ.....	7
2.1 Хімічний аналіз води.....	7
2.2 Технологічний аналіз води.....	12
2.3 Бактеріологічний аналіз води.....	12
3 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ....	13
Лабораторна робота № 1 Визначення показників осаджуваності завислих речовин у воді та технічних параметрів горизонтальних відстійників.....	13
Лабораторна робота № 2 Визначення перманганатного окиснення в кислому середовищі.....	17
Лабораторна робота № 3 Визначення оптимальної дози коагулянту.....	21
Лабораторна робота № 4 Порівняння ефективності очищення води різними коагулянтами.....	24
Лабораторна робота № 5 Визначення оптимальної дози активного хлору та його стабільності у воді при нормальному та комбінованому хлоруванні.....	26
Лабораторна робота № 6 Стабільність природних вод.....	31
Лабораторна робота № 7 Визначення грязеємності фільтрів.....	34
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	37
ДОДАТОК А Послідовність оформлення лабораторного журналу	38

ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Здобувачі освіти виконують лабораторні роботи відповідно до навчального плану та робочої програми навчальної дисципліни.

Тривалість виконання однієї роботи – 2 години.

Для проведення лабораторних занять академічна група здобувачів розділяється на підгрупи, які займаються кожна своєю лабораторною роботою. Заняття проводять два викладачі.

Перед початком лабораторних робіт викладач проводить інструктаж з техніки безпеки проведення лабораторних робіт і пожежної безпеки з оформленням у відповідних журналах та з підписами здобувачів. Здобувачів, які не пройшли інструктаж з техніки безпеки, до виконання робіт не допускають.

Перед лабораторними заняттями здобувачі проробляють теоретичну і практичну частини майбутньої лабораторної роботи, оформляють лабораторний журнал, доповідають викладачеві порядок її проведення, після чого і одержують допуск до виконання роботи.

З усіма питаннями, що виникають у процесі виконання лабораторної роботи, здобувачі звертаються до викладача.

Результати лабораторних робіт заносять у лабораторний журнал (дод. А).

Оформлену роботу здобувач захищає і здає викладачеві.

1 ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Під час роботи в лабораторії здобувачі освіти особливу увагу мають звертати на техніку безпеки і дотримуватися правил безпечної роботи: вміти користуватися хімічним посудом, реактивами, розчинами і нагрівальними приладами.

Застосовуваний у лабораторії хімічний посуд у більшості випадків скляний, тонкостінний і тендітний, тому вимагає дбайливого користування, тому що за умови недбалого поводження з ним можливі поранення (порізи рук склом). Під час роботи хімічний посуд слід тримати в руках обережно (не стискати сильно пальцями). Під час його миття треба стежити за тим, щоб не пробити стінки чи дно.

У випадку невеликого порізу слід видалити скалки, змити кров навколо рани ватним тампоном, змоченим розчином марганцевокислого калію, змазати йодом і зав'язати бинтом чи заліпити лейкопластиром. При невеликих порізах рани можна покрити клеєм БФ-6 (для обробки мікротравм). При глибоких артеріальних ранах після видалення скла руку слід міцно перев'язати джгутом вище порізу, видалити кров навколо рани, накласти кілька шарів стерильної марлі, потім товстий шар гігроскопічної вати і звернутися до лікаря.

Дуже велике значення мають відомості про сполуки, з якими здобувачам доводиться працювати в лабораторії. Багато з них можуть бути хімічними отрутами і при необережному поводженні слугувати причиною хімічних опіків і отруєнь. До таких речовин відносять, насамперед, рідкі кислоти й луги.

Усі реактиви й розчини, які використовують в лабораторії, повинні знаходитися в закритому посуді з чітким написом, який вказує назву і концентрацію реагенту. При потраплянні сильних кислот на шкіру слід негайно змити облите місце водою, а потім 5 %-м розчином двовуглекислої соди. При опіку лугами також рекомендується обмити уражене місце водою, а потім – 2 %-м розчином оцтової кислоти.

Якщо кислота пролилася на підлогу, її треба засипати піском, потім зібрати його і винести з приміщення, а облите місце промити розчином соди.

При роботі з реактивами варто завжди пам'ятати, що наповнення піпеток для виміру малих об'ємів кислот, лугів та інших речовин виконують тільки за допомогою поршневих насосів. **Засмоктування ротом категорично забороняється!** Усю роботу зі шкідливими й отруйними речовинами необхідно проводити у витяжних шафах.

Нагрівальні прилади потрібно встановлювати на теплоізоляційні підставки. При необережній роботі можливі теплові опіки від самого приладу або нагрітого хімічного посуду. Не рекомендується брати гарячий посуд руками. Нагріті предмети беруть щипцями, колботримачами, джгутом з рушника.

Необхідно уважно стежити за роботою нагрівальних приладів і не залишати їх без догляду.

У випадку опіків першого ступеня (червоність) на обпалене місце необхідно накласти вату, змочену розчином марганцевокислого калію, концентрація якого мусить бути тим більше, чим сильніше опік. Можна використовувати й мазі від опіків. При опіках другого ступеня (міхури) обпалене місце обробляють розчином марганцевокислого калію чи 5%-м розчином таніну. При опіках третього ступеня (руйнування тканин) рану покривають стерильною пов'язкою і викликають лікаря.

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

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

2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА. ВИДИ АНАЛІЗУ ВОДИ

Під час виконання аналізу води можна виділити наступні етапи: постановка задачі, вибір методу і схеми аналізу, відбір проби, підготовка проби до аналізу, вимірювання аналітичного сигналу, обробка результатів виміру. Цей поділ умовний, бо кожний етап може бути доволі складним і включати багато окремих стадій (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Класифікація методів аналізу вод

Класи методів аналізу	Підкласи методів аналізу	Методи аналізу	
Хімічний		Об'ємний (титриметричний)	
Фізико-хімічні	Оптичні, спектрометричні	Молекулярний абсорбційний аналіз	
		Фотометрія полум'я	
		Атомно-абсорбційна спектрометрія	
		Атомно-емісійна спектрометрія	
		Нейтронноактиваційний аналіз	
	Електрохімічні	Потенціометрія	
		Кондуктометрія	
		Полярографія, інверсійна вольт- амперометрія	
		Хроматографічні	Газова хроматографія
			Іонообмінна хроматографія
Хромато-мас- спектрометрія			
Фізичні	Гравіметрія	Ваговий	
	Радіометрія	Вимірювання α -, β -, γ - випромінювання	
	Мас-спектрометрія	Хромато-мас- спектрометрія; ICP-MS	
Мікробіологічні			

2.1 Хімічний аналіз води

Хімічний аналіз поділяють на якісний і кількісний.

Завдання якісного аналізу води – встановлення якісного складу її домішок. Кількісний аналіз дозволяє оцінити кількісний вміст домішок у воді.

Якісний аналіз дає відповідь типу «так», «ні». Його здійснюють доданням до досліджуваної проби води реактиву (реагенту), що вступає з визначеними сполуками у реакцію, яка супроводжується характерною зміною системи (поява чи зміна фарбування, помутніння).

У деяких випадках якісного аналізу буває достатньо, щоб установити придатність води для тієї чи іншої мети. Наприклад, у воді, яку використовують для виробництва кіноплівки, повинне бути відсутнє залізо. Якщо аналіз показує наявність у воді заліза, то це є однозначною відповіддю про непридатність такої води для вказаної мети.

Якісний аналіз надає також велику допомогу у виборі правильного методу кількісного аналізу. Більшість кількісних методів визначення призводять до помилкових результатів у присутності інших «елементів, що заважають». Якісний аналіз, виявляючи «елементи, що заважають», допомагає відповідним чином змінити основний хід роботи так, щоб перебороти цей негативний вплив.

Найбільш розповсюдженими методами кількісного аналізу є гравіметричний, об'ємний і фізико-хімічний.

Гравіметричний аналіз здійснюють шляхом додавання в пробу води надлишку реактиву, що утворює з умовною речовиною малорозчинну сполуку, яка випадає в осад. Осад відфільтровують, висушують, визначають його масу.

Характерна риса гравіметричного аналізу – додавання до проби води надлишку реактиву для забезпечення повноти його реакції з обумовленим компонентом. Реактив повинен реагувати тільки з обумовленим компонентом.

Гравіметричний аналіз досить громіздкий і вимагає значних витрат часу для одержання результату.

Принцип *об'ємного аналізу* полягає в тому, що умовна речовина вступає в хімічну взаємодію з реактивом, яку додають у пробу у вигляді розчину точно відомої концентрації (титрований розчин) і в кількості, строго еквівалентній кількості умовної речовини. Процес доливання реактиву до води називають *титруванням*. Наприкінці реакції між титрованим розчином реактиву і умовною речовиною судять за зміною фарбування індикатора, який вводять у пробу води як допоміжний реактив.

Для обчислення результату аналізу треба знати точні об'єми розчинів речовин, які беруть участь у реакції (титрованого розчину і проб води).

Формула для розрахунку має такий вигляд:

$$X = \frac{1000 \cdot V_1 \cdot N \cdot E}{V}$$

де X – кількість умовної речовини, мг/дм³;

V_1 – об'єм титрованого розчину, який витрачено на титрування проби досліджуваної води, см^3 ;

N – нормальність титрованого розчину;

E – міліграм-еквівалент умовної речовини;

V – об'єм досліджуваної води, яку взяли для титрування, см^3 .

У тих випадках, коли умовна речовина міститься у воді в малих кількостях, найбільш придатними є методи *фізико-хімічного аналізу*. Найбільше поширені методи колориметрії та нефелометрії.

У методах колориметрії концентрацію умовної речовини, якщо вона забарвлена, можна встановити безпосереднім порівнянням інтенсивності забарвлення зі стандартом (тобто розчином з відомою концентрацією умовної речовини). В інших випадках у досліджувану воду додають реактив, який, вступаючи в реакцію з умовною речовиною, утворює забарвлену сполуку. Порівнюючи забарвлення досліджуваної води зі стандартом (у який доданий той же реактив,) встановлюють концентрацію умовної речовини, абсолютне значення якої знаходять за допомогою градуовального графіка.

При порівнянні інтенсивності забарвлення використовують такі методи: метод колірної шкали, метод порівняння фарбувань, фотоколориметричний.

У *методі колірної шкали* забарвлення досліджуваної проби води порівнюють із забарвленням серії стандартних розчинів, виготовлених тим самим способом. Аналіз проводять у скляних посудинах, які заповнені досліджуваною водою і стандартними розчинами. Концентрація умовної речовини у воді буде дорівнювати концентрації стандартного розчину, з кольором якого збігається колір проби води.

У *методі порівняння фарбувань* порівнюють інтенсивності забарвлення проби води і стандартного розчину, що можуть значно розрізнятися. Порівняння виконують у спеціальних колориметричних циліндрах (циліндри Генера) із краниками, розташованими в нижній частині циліндра. Висоту стовпчика рідини в кожному циліндрі шляхом відливання регулюють таким чином, щоб інтенсивності забарвлення в обох циліндрах при розгляданні рідин зверху зрівнялися.

При досягненні однакової інтенсивності забарвлення наявне співвідношення

$$C_{\text{cm}} \cdot h_{\text{cm}} = C_{\text{b}} \cdot h_{\text{b}},$$
$$C_{\text{b}} = \frac{C_{\text{cm}} \cdot h_{\text{cm}}}{h_{\text{b}}}$$

де C_{cm} і C_{b} – концентрації відповідно стандартного розчину і досліджуваної води;

h_{cm} і h_b – висота стовпчика відповідно стандартного розчину і води.

Фотоколориметричний метод визначення концентрації речовини заснований на вимірі інтенсивності світлового потоку (коефіцієнта пропускання), що пройшло через забарвлений розчин.

Для виміру коефіцієнта світлопропускання використовують фотоколориметри різних моделей (ФЕК, КФК-2, КФО та ін.).

Проведення фотоколориметричних вимірів на *колориметрі фотоелектричному* полягає у вимірі відношення двох світлових потоків – повного і того, що пройшов через вимірюване середовище.

На фотоприймач по черзі направляють світлові потоки: повний Φ_0 і той, що пропущений через досліджувану пробу води Φ .

Коефіцієнт світлопропускання τ досліджуваної води, що являє собою відношення цих потоків, визначають у вигляді відношення відповідних фотострумів I безпосередньо за шкалою мікроамперметра (рис. 2.1), тобто

$$\tau = \frac{I}{I_0} \cdot 100\%,$$

де I – фотострум, що відповідає світловому потоку Φ , який пройшов через досліджувану воду;

I_0 – фотострум, що відповідає повному світловому потоку Φ_0 .

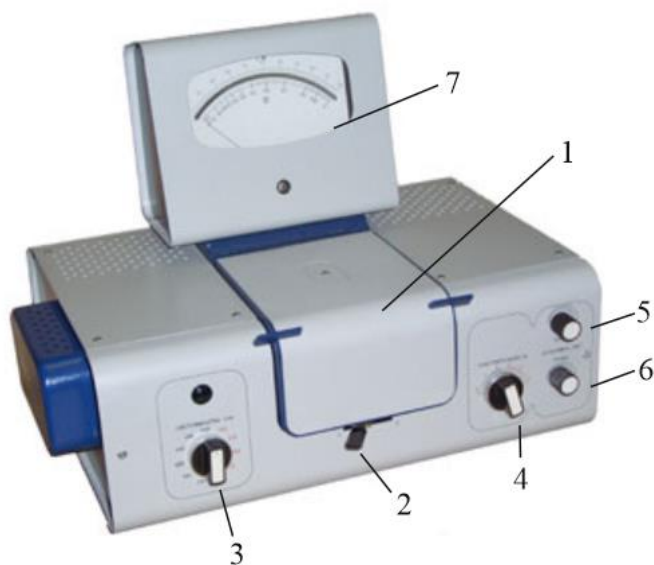


Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд фотоелектроколориметр КФК-2:

- 1 – кюветний відсік;
- 2 – важіль перемикавання кювет;
- 3 – світлофільтр; 4 – рукоятка «Чутливість»;
- 5 – рукоятка «Установка 100» «Точно»;
- 6 – рукоятка «Установка 100» «Грубо»;
- 7 – шкала оптичної щільності (A(D)) фотоелектроколориметра

 [Принцип роботи КФК-2](#)

Проведенню вимірів передуює підбір поглиначів (світлофільтрів) і вимірювальних кювет. Наявність комплекту поглиначів і кювет дозволяє підібрати такі умови для вимірів, коли похибка у визначенні концентрації буде найменшою.

Вимір коефіцієнта пропускання (рис. 2.1). Рукояткою «Поглиначі» **3** вводять попередньо підібраний поглинач, потім рукояткою «Чутливість» **4** на

шкалі мікроамперметра встановлюють нуль при відкритій кришці кюветного відділення **1**. У кюветне відділення встановлюють підбрану кювету з дистильованою водою, в яку додані всі необхідні для аналізу реактиви. Кришку кюветного відділення закривають і за допомогою рукояток «Установка 100» **5** та **6** виставляють відлік 100 на шкалі приладу.

Потім у кюветне відділення встановлюють кювету з досліджуваною водою, в яку додані всі необхідні реактиви. Переключення кювет у світловому пучку виконують поворотом рукоятки «Кювети» **2** до упора. Кришку **1** закривають і фіксують значення μ за шкалою. Значення μ відповідає коефіцієнту світлопропускання τ вимірюваного зразка води, вираженому в %.

Попередньо будують градувальну криву. Для цього готують ряд розчинів умовної речовини з відомими концентраціями. Потім вимірюють коефіцієнти світлопропускання τ і за ними з використанням даних таблиці 2, визначають оптичну щільність D усіх розчинів. Відкладаючи по горизонтальній осі відомі концентрації розчинів, а по вертикальній – відповідні їм значення оптичної щільності, будують градувальну криву.

Градувальну криву потім використовують для визначення невідомої концентрації речовини в досліджуваній воді. Для цього досліджувану воду з доданими реактивами наливають у ту ж кювету, для якої побудована градувальна крива, використовують той же поглинач (світлофільтр), вимірюють коефіцієнт світлопропускання і визначають оптичну щільність за таблицею 2.2. Потім за градувальною кривою знаходять концентрацію шуканої речовини, що відповідає отриманому значенню оптичної щільності.

Таблиця 2.2 – Переведення значень коефіцієнту світлопропускання τ в значення оптичної щільності D

D	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	100	97,7	95,5	93,3	91,2	89,1	87,1	85,1	83,2	81,3
0,1	79,4	77,6	75,9	74,1	72,4	70,8	69,2	67,6	66,1	64,6
0,2	63,1	61,7	60,3	58,9	57,5	56,2	54,9	53,7	52,5	51,3
0,3	50,1	49,0	47,9	46,8	45,7	44,7	43,7	42,7	41,7	40,7
0,4	39,8	38,9	38,0	37,1	36,3	35,5	34,7	33,9	33,1	32,4
0,5	31,6	30,9	30,2	29,5	28,8	28,2	27,5	26,9	26,3	25,7
0,6	25,1	24,5	24,0	23,4	22,9	22,4	21,9	21,4	20,9	20,4
0,7	19,9	19,5	19,1	18,6	18,2	17,8	17,4	17,0	16,6	16,2
0,8	15,8	15,5	15,1	14,8	14,5	14,1	13,8	13,5	13,2	12,9
0,9	12,6	12,3	12,0	11,7	11,5	11,2	11,0	10,7	10,5	10,2
1,0	10,0	9,8	9,5	9,3	9,1	8,9	8,7	8,5	8,3	8,1

Примітка. У першому стовпчику таблиці подані значення оптичної щільності D через 0,1, а у верхньому рядку вміщені її соті частки. На перетині рядка із стовпцем наведені відповідні значення коефіцієнта пропускання τ в %.

2.2 Технологічний аналіз води

У сучасних умовах одержання води заданої якості здійснюють за складною хімічною технологією, яка використовує безліч різних реагентів, матеріалів, фізичних агентів і різноманітних споруд. У результаті цих впливів властивості води зазнають значних змін, які треба враховувати, щоб забезпечити необхідний ефект очищення. Ці так звані технологічні властивості води визначають *методами технологічного аналізу*.

За допомогою технологічного аналізу з декількох можливих методів коригування того чи іншого показника якості води вибирають найбільш ефективний і економічний, установлюють необхідну дозу реагенту, визначають кінетику осадження суспензій, швидкості протікання води в різних спорудах, динаміку росту втрат напору у фільтрувальних спорудженнях та ін.

Незнання технологічних властивостей води може призвести до серйозних помилок при проектуванні водопідготовчих станцій.

Крім ознайомлення з фізичними і хімічними показниками якості води та засвоєнням методів їхнього визначення, студенти повинні вміти визначати склад домішок води та їхню концентрацію. Однак цих даних недостатньо, щоб кваліфіковано запроектувати технологічну схему обробки води з метою поліпшення її якості, підібрати й розрахувати споруди, в яких ця технологія буде здійснюватися. Дані про фізичні й хімічні показники якості води повинні бути доповнені технологічними показниками, які встановлюють за допомогою технологічного аналізу.

Технологічний аналіз проводять:

- для визначення властивостей води при вишукуванні джерела водопостачання і проектування споруд для коригування якості води;
- з метою контролю показників якості води в процесі її обробки.

Технологічний аналіз проводять при температурі, при якій передбачається вести процес обробки води у виробничих умовах.

2.3 Бактеріологічний аналіз води

На водопідготовчих станціях у лабораторних умовах обов'язково проводять різноманітні бактеріологічні аналізи води. Як правило, визначають в них наявність збудників хвороб, колі-індекс, колі-титр. Вміст і результати аналізів відображають у журналах.

Людина, яка здійснює подібний аналіз повинна мати фахову освіту, володіти хімічними й бактеріологічними знаннями в межах роботи, що виконується; знати порядок відбору зразків і правила їх підготовки до випробувань; основні властивості матеріалів, що аналізуються; лабораторне обладнання; методи обробки отриманих даних.

3 РЕКОМЕНДАЦІ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторна робота № 1

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ОСАДЖУВАНOSTІ ЗАВИСЛИХ РЕЧОВИН У ВОДІ ТА ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ВІДСТІЙНИКІВ

Мета роботи – визначення показників осаджуваності для некоагульованої суспензії, побудова графіка осаджуваності суспензії у воді та розрахунок за дослідними даними розрахункової швидкості осадження суспензії і часу перебування води в горизонтальному відстійнику.

1.1 Теоретична частина

Для визначення відносного фракційного складу частинок різного розміру в суспензіях використовують седиментаційний аналіз, заснований на законі Стоксу.

Принцип седиментаційного аналізу полягає у вимірюванні швидкості осідання частинок дисперсної фази у в'язкому дисперсному середовищі.

На швидкість руху частинок суспензії, що осідають в нерухомій рідині під дією сили тяжіння, впливають форми і розміри частинок. Залежність швидкості осідання частинок U , м/с, від їх радіусу r , м, визначають за формулою:

$$U = \frac{2}{9} \cdot g \cdot r^2 \frac{\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{р}}}{\eta}, \quad r = \sqrt{\frac{9 \cdot U \cdot \eta}{2(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{р}})g}}, \quad (1.1)$$

де g – прискорення сили тяжіння, м/с²;

η – в'язкість рідини, Н·с/м²;

$\rho_{\text{ч}}$, $\rho_{\text{р}}$ – щільність частинки і рідини, кг/см³.

Для монодисперсної системи, яка складається з частинок однакових за розміром, швидкість осідання також однакова. Всі частинки зміщуються на деяку висоту H за час t . Гідравлічна крупність суспензії U дорівнює $U = H/t$, а радіус частинки обчислюють за рівнянням

$$r = K \sqrt{\frac{H}{t}}, \quad (1.2)$$

де $K = \sqrt{\frac{9 \cdot \eta}{2(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{р}})g}}$ – постійна величина для даного дисперсного середовища і дисперсної фази.

Залежність (1.2) застосовують для частинок з радіусом від 1 мкм до 100 мкм (10^{-6} м). При меншому і більшому розмірах стають помітними відхилення від цієї залежності. Частинки з $r \leq 1$ мкм утворюють кінетично стійкі системи – не осідають, а частинки з $r \geq 1$ мкм осідають рівномірно пришвидшено.

Осідання полідисперсних систем, що складаються з частинок різних за розміром, відбувається складніше.

У загальному випадку для монодисперсної системи графік залежності маси осаду P , %, від часу осадження t , с, виражають прямою лінією, а для полідисперсних систем графік осадження виражають плавною кривою, близькою до параболи.

Для розрахунку і проектування відстійників головне знати гідравлічну крупність, а не розмір домішок.

Випадання суспензії з річкових вод заздалегідь коагульованих і некоагульованих, за припущенням А. А. Кастальського, можна характеризувати величиною показника осаджуваності суспензії. За **показник осаджуваності** беруть випадіння кількості суспензії A_0 , %, яка випала зі швидкістю 1,2 мм/с, до кількості суспензії B , %, яка випала зі швидкістю 0,2 мм/с.

За допомогою графіка показника осаджуваності суспензії у воді, рисунок 1.1, визначають розрахункову швидкість осадження суспензії у відстійнику U_0 , мм/с, залежно від заданого відсотка освітлення води P , %.

З графіка виходить:

$$U = \frac{0,2}{1,2 - 0,2} = \frac{B - P}{B - A},$$

звідки

$$U_p = \frac{1,2B - 0,2A - P_p}{B - A}. \quad (1.3)$$

Показники осаджуваності суспензії коливаються в таких межах:

– для малокаламутних річкових вод – $\frac{A}{B} = \frac{10}{20} - \frac{20}{60}$;

– для вод, оброблених коагулянтом, – $\frac{A}{B} = \frac{65}{98} - \frac{75}{85}$.

Заданий процент затримання відстійником суспензії P , %, визначають за формулою

$$P = \frac{\mu_{\text{вих}} - \mu_i}{\mu_{\text{вих}}} \cdot 100, \quad (1.4)$$

де $\mu_{\text{вих}}$ – вміст завислих речовин у вихідній воді;

μ_i – вміст завислих речовин у відстояній воді, мг/л, після закінчення часу t_i , с.

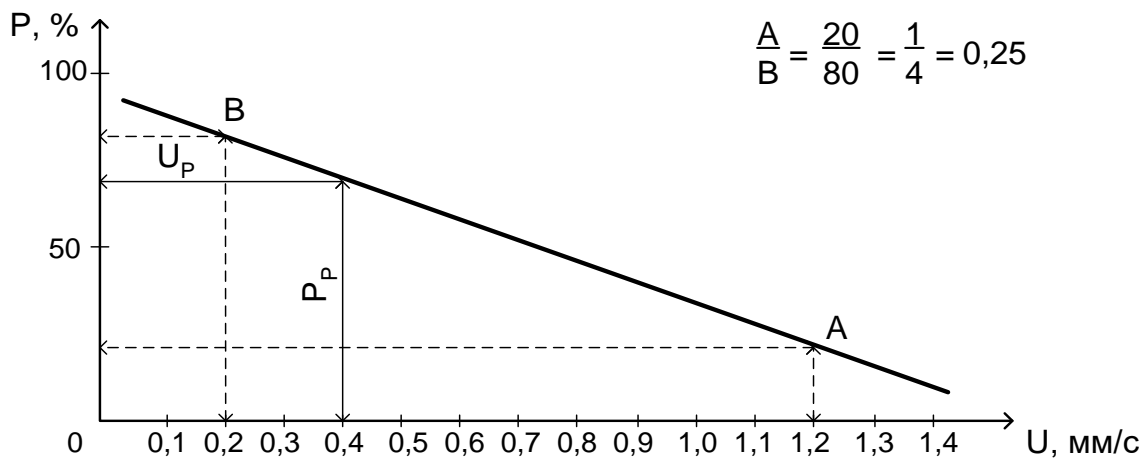


Рисунок 1.1 – Графік показника осаджуваності суспензії у воді

На підставі дослідів встановлено, що для досягнення однакового ефекту відстоювання в циліндрах різної висоти необхідно, щоб між тривалістю відстоювання і висотою циліндрів було витримано таке співвідношення:

$$P = \frac{t_1}{t_2} = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^n = \text{const}, \quad (1.5)$$

де t_1 і t_2 – час відстоювання в першому і другому циліндрах;

h_1 і h_2 – висота циліндра;

$n = 0,2-0,5$ для коагульованої суспензії.

Таким чином, дотримуючи умови подібності, отримані значення з лабораторного графіка можна використати для розрахунку відстійника, який проектується за формулою ефекту осадження:

$$U_p = \frac{h_{\text{лаб}}}{t_{\text{лаб}}} = \frac{H_{\text{відст}}}{t_{\text{відст}}}, \quad (1.6)$$

де $t_{\text{лаб}}$, $h_{\text{лаб}}$ – параметри лабораторного дослідження;

$t_{\text{відст}}$, $H_{\text{відст}}$ – параметри відстійника, який проектується.

Час перебування води у відстійнику $t_{\text{відст}}$ знаходять зі співвідношення (1.6):

$$t_{\text{отс}} = \frac{H_{\text{відст}} \cdot t_{\text{лаб}}}{h_{\text{лаб}}} = \frac{H_{\text{відст}}}{U_p}, \quad (1.7)$$

де $H_{\text{відст}}$ – прийнята в розрахунках висота зони відстоювання, м ($H_{\text{відст}} = 3,0-3,5$ м);

$h_{\text{лаб}}$ – час осадження в дослідному циліндрі, що відповідає U_p .

1.2 Прилади, посуд

1. Циліндри ємкістю 0,5 – 1,0 л – 6 шт.
2. Колби конічні ємкістю 100 мл – 7 шт.

3. Секундомір.
4. Фотоелектроколориметр.

1.3 Експериментальна частина

Воду об'ємом 5 л ретельно перемішують, потім відливають від неї по 500 мл в шість пронумерованих циліндрів та 100 мл досліджуваної води в колбу.

Час відстоювання для всіх циліндрів різний, його приймають за збільшенням від першого до останнього відповідно 10, 20, 30, 40, 50, 60 хвилин.

Після закінчення заданого часу відстоювання верхній шар води на глибині 15 см об'ємом 100 мл зливають в пронумеровані відповідно конічні колби ємністю 100 мл.

Вміст завислих речовин μ_i , мг/дм³, в пробах визначають на фотоелектроколориметрі з використанням градуовальної кривої.

Для визначення оптичної щільності отриманої шкали каламутності в діапазоні від 1 до 100 мг/дм³ використовують кювети ємністю 10 мл і світлофільтри № 4.

Осаджуваність суспензії Р для кожного циліндра розраховують за формулою (1.4), а гідравлічну крупність – за формулою

$$U_p = \frac{h_i}{t_i}. \quad (1.8)$$

Результати дослідів записують в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Дослідні дані для побудови графіка показника осаджуваності

Номер колби	Каламутність досліджуваної води μ , мг/дм ³	Час відстоювання, t_i , хв	Каламутність після відстоювання μ_i , мг/дм ³	Осаджуваність Р %	Гідравлічна крупність, U_p , мм/с
1	2	3	4	5	6

За даними таблиці 1.1 будують графік випадання суспензії і графік залежності кількості суспензії від гідравлічної крупності (різновид кривих показаний на рис. 1.2 і 1.3).

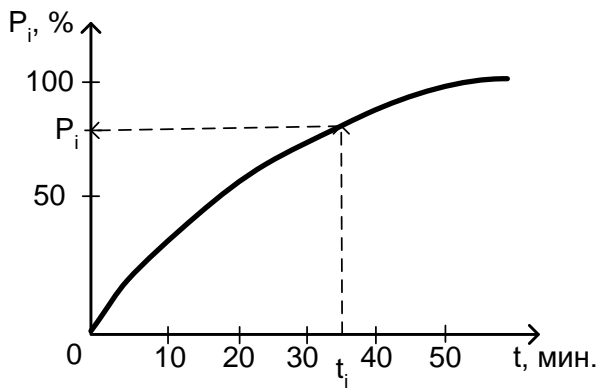


Рисунок 1.2 – Графік випадання суспензії

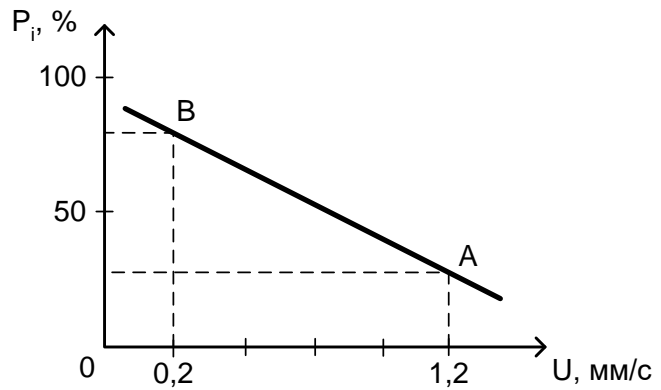


Рисунок 1.3 – Графік залежності кількості суспензії від гідравлічної крупності

Використовуючи рисунок 1.3 і наведені вище формули, визначають технологічні параметри U_p , $P_{\text{відст}}$, $t_{\text{відст}}$.

Контрольні запитання

1. Вільне осадження частинок в ламінарному режимі.
2. Вплив фізико-хімічних факторів на осадження частинок у воді.
3. Графіки показників осаджуваності суспензії для різних вод.
4. Методи побудови кривих осадження.
5. Технологічне моделювання процесу осадження у відстійнику.
6. Методика розрахунку і проектування відстійників.

Лабораторна робота № 2 ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРМАНГАНАТНОГО ОКИСНЕННЯ В КИСЛОМУ СЕРЕДОВИЩІ

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

2.1 Теоретична частина

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

для окиснення домішок у даному об'ємі води, є одним з непрямих методів визначення вмісту органічних речовин у воді.

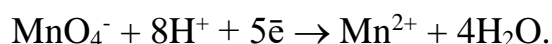
Окисність природних, особливо поверхневих вод, не є постійною величиною. Зміна хімічної характеристики речовин, що надходять до води, змінює величину її окисності. Підвищена окисність води свідчить про забруднення джерела і вимагає застосування відповідних заходів щодо його охорони під час використання для водопостачання. Раптове підвищення окисності води є ознакою забруднення її стічними водами, тому величина окисності – важлива гігієнічна характеристика води.

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

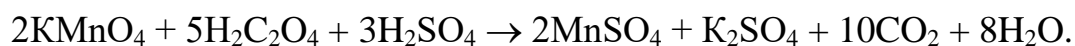
Перманганатну окисність визначають у поверхневих малозабруднених водах, джерела якої частіше за все служать для питних цілей. Цей метод не дозволяє визначити вміст усіх органічних речовин, які присутні у воді, оскільки перманганат калію звичайно окиснює тільки приблизно 50 % усіх органічних сполук. Метод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

Окисність визначають окисненням домішок досліджуваної води перманганатом калію.

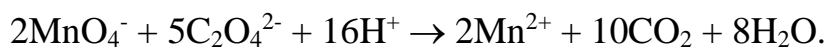
Перманганат калію, який є сильним окисником, реагує з відновниками, які присутні у воді. Марганець змінює при цьому свою ступінь окиснення з +7 до +2 (відновлюється). Реакція проходить у кислому середовищі:



Надлишок перманганату калію реагує з розчином щавлевої кислоти:



або



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

Окисність можна визначити під час нагрівання.

2.2 Реактиви, прилади, посуд

1. Перманганат калію $KMnO_4$, 0.01 н. розчин.
2. Щавлева кислота $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$, 0.01 н.
3. Сірчана кислота (1:3).
4. Плитка електрична.
5. Колба мірна місткістю 100 мл (4 шт.).

6. Бюретка місткістю 50 мл (2 шт.).
7. Піпетки місткістю 5 і 10 мл (по 2 шт.).
8. Лійка.
9. Колба плоскодонна комічна ємністю 250 мл (4 шт.).
10. Колба мірна місткістю 1 л (1 шт.).

2.3 Експериментальна частина

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

Хід визначення. 100 мл досліджуваної води піпеткою наливають в конічну колбу ємністю 250 мл, додають 5 мл розчину сірчаної кислоти (1:3), доливають точно 10 мл приблизно 0,01 н. розчину перманганату калію, накривають колбу лійкою та нагрівають рідину до кипіння; кип'ятять протягом 10 хв. Час кип'ятіння необхідно дотримувати точно, так як тривалість нагріву води з перманганатом калію дуже позначається на його окисній дії.

Частина доданого перманганату калію витрачається під час кип'ятіння на окиснення органічних домішок води, тому колір розчину стає світлішим. Потім знімають колбу з нагрівального приладу, вносять в неї точно 10 мл 0,01 н. розчину щавлевої кислоти і добре збовтують. Розчин знебарвлюється за рахунок того, що щавлева кислота вступає в реакцію з надлишком перманганату калію, який залишився після окиснення органічних домішок води. Знебарвлений гарячий розчин титрують приблизно 0,01 н. розчином перманганату калію до появи світло-рожевого забарвлення.

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

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

Проведене визначення дає можливість перевірити нормальність розчину перманганату калію. Необхідність такої перевірки під час кожного визначення окисності пояснюється тим, що 0,01 н. розчин перманганату калію нестійкий, і концентрація його змінюється.

Під час розрахунку нормальності розчину виходять з таких міркувань. Якщо нормальність N – кількість міліграм-еквівалентів речовини в 1 мл і V – об'єм розчину в мілілітрах, то добуток $V \times N$ це кількість міліграм-еквівалентів речовини в n мілілітрах об'єму.

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

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

звідки

$$N_{\text{KMnO}_4} = \frac{V_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4} \cdot N_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4}}{V_{\text{KMnO}_4}} = \frac{10 \cdot 0,01}{V}, \quad (2.2)$$

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

Перманганатну окисність води x (мг $\text{O}_2/\text{дм}^3$) визначають за формулою

$$X_{\text{O}_2} = \frac{(V_1 - V_2) \cdot N \cdot 8 \cdot 1000}{V_3}, \quad (2.3)$$

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

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

N – нормальність розчину перманганату калію;

8 – міліграм-еквівалент кисню;

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

Контрольні запитання

1. Що розуміють під окисністю води? Що таке часткова і повна окисність?
2. В яких одиницях вимірюється окисність води?
3. Яка окисність джерельної, артезіанської і річкової води? Яка окисність питної води?
4. Чому перманганатом калію неможна визначити повну окисність води?

5. Які типи окисності ви знаєте? Порівняйте за яким з методів отримують більш повну характеристику вмісту органічної складової у воді?

6. Які органічні сполуки у воді належать до легкоокиснюваних, важкоокиснюваних та тих, що не піддаються окисненню взагалі?

7. Поясніть поняття біологічне споживання кисню, колі-індекс та колі-титр.

8. Напишіть реакції які перебігають під час окиснення органічної складової перманганатом калію?

Лабораторна робота № 3 **ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ДОЗИ КОАГУЛЯНТУ**

Мета роботи – ознайомитися з методикою визначення дози коагулянту.

3.1 Теоретична частина

Для очищення природних і стічних вод від колоїдних забруднень у водопостачанні використовують коагулянти – солі алюмінію і заліза, які легко гідролізують: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ – вісімнадцятиводний сірчаноокислий глинозем; $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ – хлорне залізо; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – сульфат заліза (II); $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$ – гідрохлорид алюмінію; $NaAlO_2$ – алюмінат натрію; $Fe_2(SO_4)_3$ – сульфат заліза (III). Застосовують також змішаний коагулянт, що є сумішшю розчинів сульфату алюмінію і хлориду заліза (III) в співвідношенні 1:1 моль.

Дозу коагулянту D_K безводного сульфату алюмінію для кольорових вод розраховують за емпіричною формулою:

$$D_K = 4\sqrt{Z}, \text{ мг/дм}^3, \quad (3.1)$$

де Z – забарвленість води, градуси платиново-кобальтової шкали.

Для мутних вод дозу коагулянту розраховують за величиною каламутності M за формулою:

$$D_K = 3,5\sqrt{M}, \text{ мг/дм}^3. \quad (3.2)$$

Для практичних цілей дозу коагулянту для мутних вод приймають за таблицею 17 ДБН В.2.5 – 74:2013 [3].

Розрахункова доза коагулянту не завжди дає необхідний ефект – швидке утворення і осадження пластівців осаду, достатньо добре очищення води (пониження окисності й забарвленості води), підвищення прозорості та ін., тому *оптимальну дозу коагулянту* (мінімальну його дозу, яка викликає після закінчення 10–15 хвилин ефективну коагуляцію – утворення крупних, швидко

осідаючих пластівців осаду, досягнення необхідного очищення) часто визначають експериментально.

Якщо лужність води недостатня для нейтралізації кислот, які утворюються при гідролізі коагулянту, то воду підлужують. Дозу лугу розраховують за формулою

$$D_{\text{л}} = 0,075 D_{\text{к}} - L_0 + 1, \text{ мг-екв/дм}^3, \quad (3.3)$$

де $D_{\text{л}}$ – доза лугу, що забезпечує нормальне протікання гідролізу, мг-екв/дм³;

$D_{\text{к}}$ – доза коагулянту, мг/дм³;

L_0 – загальна лужність вихідної води, мг-екв/дм³;

1 – резервна залишкова лужність води, мг-екв/дм³.

Для переведення дози лугу в мг/дм³ її множать на величину еквівалента тієї речовини, якою здійснюють підлужування.

Процес коагуляції характеризують декількома стадіями. Після змішування розчину коагулянту з водою, яку очищають, спочатку жодних змін не відбувається. Потім з'являється опалесценція, після чого вода мутніє від утворення великої кількості найдрібніших пластівців (до 5 000 в 1 мл), які агрегуються в більші. При цьому кількість їх в одиниці об'єму зменшується, а після того, як вона досягає 5–10 одиниць в 1 мл (кінець утворення пластівців), починається їх осадження. Перемішування води викликає прискорення зростання частинок.

3.2 Реактиви, прилади, посуд

1. Циліндри ємкістю 0,5 л – 10 шт.
2. Колби конічні ємкістю 100 мл – 5 шт.
3. Секундомір
4. Фотоелектроколориметр
5. Сульфат алюмінію
6. Вапняна вода.

3.3 Експериментальна частина

Взяти у викладача пробу досліджуваної води. Визначити її каламутність. Розрахувати теоретично необхідну дозу коагулянту за каламутністю вихідної води.

У 10 циліндрів наливають по 250 мл досліджуваної води. У 5 циліндрів додають градуйованою мірною піпеткою розчин сульфату алюмінію концентрацією 25 мг/мл в кількостях, вказаних у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Кількість сульфату алюмінію, яку необхідно додати в циліндри

Номер циліндра	1	2	3	4	5
Кількість розчину коагулянту, введеного в циліндр, мл	0,25	0,5	1	1,5	2
Доза коагулянту, відповідна введеного об'єму розчину, мг/дм ³	25	50	100	150	200

В інші 5 циліндрів одночасно з розчином коагулянту (табл. 3.1) вводять вапняну воду (1 мг/мл СаО) в кількостях, необхідних для нейтралізації кислоти, яка утворюється при гідролізі коагулянту (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Кількість вапняної води, що вводиться спільно з Al(SO₄)₃

Номер циліндра	1	2	3	4	5
Кількість вапняної води, що вводиться спільно з Al(SO ₄) ₃ , мл	1	2	4	6	8
Доза вапна СаО, мг/дм ³	3,75	7,5	15	22,5	30

Після додавання коагулянту воду перемішують триразовим перекиданням закритих пробкою циліндрів. Відмічають час введення коагулянту в воду.

При відстоюванні води в циліндрах відзначають початок утворення пластівців, початок і кінець їх осадження, а також вид пластівців (рихлі, великі, дрібні). Відбір проб і спостереження проводять через кожні 15 хвилин. Результати дослідів записують в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати дослідів

Номер проби	Кількість введеного коагулянту, мл	Доза коагулян-ту, мг/дм ³	Розмір пластівців	Час початку утворення пластівців хв.	Час початку осадження пластівців, хв	Оптична щільність води після дослідів
1	2	3	4	5	6	7

Далі необхідно порівняти експериментально знайдену дозу коагулянту з теоретично обчисленою.

За даними дослідів будують два графіки:

- доза коагулянту в мг/дм³ – оптична щільність води (проба № 1 - № 5);
- доза коагулянту в мг/дм³ – оптична щільність води (проба № 6 - № 10).

За результатами проведеної роботи необхідно зробити висновок про оптимальну дозу коагулянту.

Контрольні запитання

1. Написати рівняння гідролізу сірчаноокислого алюмінію в природній воді.
2. У яких випадках проводять підлюговування води при очищенні її коагуляцією?
3. Чому рН води при її вапнування мало змінюється?
4. Визначення оптимальних доз коагулянту.
5. Як впливає температура і рН природної води на процес коагуляції?

Лабораторна робота № 4

ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ РІЗНИМИ КОАГУЛЯНТАМИ

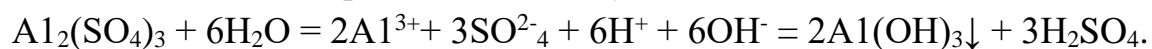
Мета роботи – виконати порівняльний аналіз ефективності процесу коагуляції різними коагулянтами.

4.1 Теоретична частина

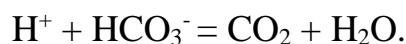
Коагуляція домішок води – це процес укрупнення колоїдних і завислих частинок дисперсної системи за рахунок їх взаємодії і об'єднання в агрегати. Завершується цей процес відділенням агрегатів злиплих частинок від рідкої фази і осадженням.

Дисперговані, колоїдні та завислі частинки домішок природних вод в більшості випадків несуть однаковий заряд, що зумовлює виникнення міжмолекулярних сил відштовхування і агрегативну стійкість. У технології очищення води передбачають часткове або повне видалення домішок, тому агрегативну стійкість частинок прагнуть порушити, а заряд їх понизити до нуля або близьких до нього величин. Для цього додають до води сульфат алюмінію, сульфат заліза (II) і сульфат заліза (III), хлорид алюмінію, хлорид заліза (III), оксіхлорид алюмінію та інші речовини, що порушують агрегативну стійкість системи і утворюють пластівці гідроксидів, які сорбують частинки домішок.

При введенні, наприклад, в оброблювану воду сульфату алюмінію, відбувається дисоціація і гідроліз його молекул:



Завершення гідролізу здійснюється нейтралізацією кислотності природною лужністю води:



Якщо лужність води недостатня, то до води додають вапно або соду.

Процес коагуляції залежить від ряду фізико-хімічних факторів: виду і дози реагентів, що вводяться, активної реакції середовища, її температури, лужності води, швидкості змішення і умов перемішування коагулянту з водою, сольового складу води, вмісту у воді вапна та ін. Вивчення впливу цих факторів необхідне при виборі раціональних методів підготовки питної і технічної води

4.2 Реактиви, прилади, посуд

1. Циліндри ємкістю 0,5-1,0 л – 4 шт.
2. Колби конічні ємкістю 100 мл – 5 шт.
3. Секундомір.
4. Фотоелектроколориметр.
5. Сульфат алюмінію.
6. Сульфат заліза (III).
7. Хлорид заліза (III).
8. АКВА-АУРАТ™ – 30.

4.3 Експериментальна частина

У 4 циліндри наливають по 250 мл досліджуваної води. Потім в пронумеровані циліндри додають градуйованою мірною піпеткою розчини запропонованих викладачем коагулянтів однакової концентрації (25 мг/мл) в кількості 0,5 мл, що відповідає дозі коагулянту 50 мг/дм³.

Після додавання коагулянту воду перемішують. Відмічають час введення коагулянту у воду.

Через 40 хвилин з кожного циліндра відбирають розчин, який відстоявся, та визначають оптичну щільність.

При відстоюванні води в циліндрах відзначають початок утворення пластівців, початок і кінець їх осадження, а також вид пластівців (рихлі, великі, дрібні). Результати записують в таблицю 4.1.

На підставі проведених дослідів визначають оптимальний коагулянт.

Таблиця 4.1 – Результати дослідів

Найменування коагулянту	Доза коагулянту, мг/дм ³	Розміри пластівців	Час початку утворення пластівців, хв	Час початку осадження пластівців, хв	Оптична щільність води
1	2	3	4	5	6

Контрольні запитання

1. Привести класифікацію завислих речовин, присутніх в природних водах.
2. Назвати реагенти – коагулянти, використовувані для поліпшення якості природних вод для різного водокористування.
 2. Будова колоїдної міцели.
 3. Суть процесу коагуляції. Намалювати схему коагуляції.
 4. Приклад процесу взаємної коагуляції при водопідготовці.
 5. Призначення методу коагуляції при поліпшенні складу природних вод.

Лабораторна робота № 5 ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ДОЗИ АКТИВНОГО ХЛОРА ТА ЙОГО СТАБІЛЬНОСТІ У ВОДІ ПРИ НОРМАЛЬНОМУ ТА КОМБІНОВАНОМУ ХЛОРУВАННІ

Мета роботи – ознайомитися з методом визначення оптимальної дози хлору для знезараження природних вод.

5.1 Теоретична частина

У природній воді серед різних мікроорганізмів можуть знаходитися і патогенні (хвороботворні), тому воду відкритих водоймищ перед вживанням для господарчо-побутових потреб необхідно знезаразити. *Знезараження* може бути здійснене різними методами: фізичними, фізико-хімічними і хімічними.

Процеси знезараження природних вод хімічними методами зводяться до окислення складових частин цитоплазми патогенних мікроорганізмів різними реагентами.

Існування в природних водах аеробних патогенних мікроорганізмів показує, що окислювально-відновний потенціал кисню в нейтральному середовищі ($\varphi = 0,82$ В) недостатній для їх окислення, тому для знезараження води треба застосовувати окислювачі з вищим потенціалом, який може служити критерієм для вибору знезаражувальних речовин і оцінки сили їх дії. Ґрунтуючись на цьому, як хімічні реагенти можуть бути запропоновані такі способи хімічного знезараження, як озонування і хлорування.

Озонування – дуже перспективний метод, та найбільш розповсюдженим методом знезараження води залишається хлорування. Воно може здійснюватися різними реагентами: вільним рідким і газоподібним хлором,

хлорнуватистою кислотою, гіпохлоритами (солями хлорнуватистої кислоти), білильним вапном та ін.

У всіх цих сполуках окислювальні властивості має так званий **активний хлор**. Під активним хлором розуміють ту кількість вільного молекулярного хлору, яка відповідає окислювальній здатності даної сполуки.

Кількість хлору, що йде на окислення органічних і неорганічних домішок, визначає величину **хлорпоглинальності води**.

Дозу знезаражувального реагенту вибирають так, щоб після окислення всіх домішок залишалася деяка надлишкова кількість хлору – *залишковий хлор*. Ця доза є оптимальною і достатньою. Згідно ДержСанПіН [1] після 30-хвилинного контакту хлору з водою залишкового хлору має бути не більше $0,5 \text{ мг/дм}^3$ при виході з очисних споруд і не менше $0,1 \text{ мг/дм}^3$ в найбільш віддалених точках водозабору.

Залишковий хлор в питній воді при попередньому освітленні визначають через кожну годину. Оптимальну дозу знезаражувального реагенту визначають пробним хлоруванням.

У процесі транспортування і зберігання гіпохлорит натрію, як і інші реагенти, зазнає впливу світла, вологи, вугільної кислоти, повітря та інших факторів. Крім того, вживаний реагент може бути приготований з сировини найрізноманітнішого складу, внаслідок чого вміст активної речовини в нім не постійний, тому перед приготуванням розчинів реагенту або використанням його в сухому вигляді кожна партія реагенту, що прибуває, має бути ретельно проаналізована.

Гіпохлорит натрію NaOCl , що поставляється на водоочисні станції, є сироподібним розчином, що містить 185 гр/л активного хлору і $10\text{--}20 \text{ гр/л}$ лугу в перерахунку на NaOH . На водоочисних станціях невеликої продуктивності його отримують шляхом електролізу розчинів куховарської солі. Застосовують для знезараження води.

5.2 Реактиви, прилади, посуд

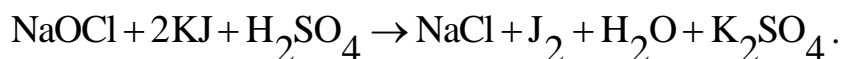
1. Мішалка електрична.
2. Колба конічна ємкістю 250 мл .
3. Колба мірна ємкістю 250 мл (8 шт.).
4. Бюретка на 50 мл (1 шт.).
5. Циліндр на 50 мл (1 шт.).
6. Піпетка на 10 мл (2 шт.).
7. Піпетка на 1 мл (1 шт.).

8. Тіосульфат натрію $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0,005 н. розчин.
9. Буферна суміш з рН 4,6.
10. Йодид калію, 10 %-й розчин.
11. Крохмаль розчинний, 1 %-й розчин.
12. Вода дистильована.
13. Хлорна вода із вмістом 0,1 мг/мл активного хлору.
14. Аміачна вода із вмістом 0,24 мг/мл аміаку.
15. Сірчана кислота 0,1 н.

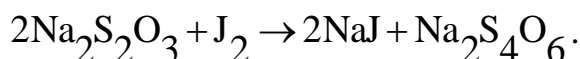
5.3 Експериментальна частина

5.3.1 Визначення концентрації активного хлору в гіпохлориті натрію

У мірну колбу відміряють піпеткою 10 мл гіпохлориту натрію, вводять 10 мл 10 %-го розчину йодиду калію і 40 мл 0,1 н розчину сірчаної кислоти. При цьому в розчині відбувається окислювально-відновний процес, що описується таким рівнянням:



Йод, що виділився, інтенсивно перемішуючи, титрують 0,1 н розчином тіосульфату натрію до солом'яно-жовтого кольору. Після цього додають 1-2 мл 1 %-го розчину крохмалю і титрують до знебарвлення розчину. При цьому відбувається окислювально-відновний процес за таким рівнянням:



Далі необхідно розрахувати концентрацію активного хлору в досліджуваному розчині за формулою:

$$[\text{Cl}_2] = \frac{V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} \cdot 0,003546 \cdot 250}{10 \cdot 10}, \text{ мг/мл}, \quad (4.1)$$

де 35,5 – еквівалентна маса хлору.

5.3.2 Визначення оптимальної дози хлору для знезараження природної води

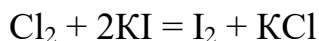
У п'ять плоскодонних колб наливають піпеткою по 100 мл досліджуваної води і послідовно в кожну з них з інтервалом в 5 хв підливають піпеткою хлорну воду, що містить 0,1 мг/мл активного хлору відповідно до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Кількість хлорної води, яку необхідно додати в плоскодоні колби

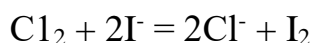
Номер колби	1	2	3	4	5
Кількість хлорної води, мл	1	1,5	2	2,5	3
Доза хлору, відповідна даному об'єму хлорної води, мг/л	1	1,5	2	2,5	3

Колби збовтують і закривають пробками. Час обробки води хлором у кожній колбі має дорівнювати 30 хв.

Для того, щоб встановити кількість залишкового хлору у воді, до 100 мл досліджуваної води додають 5 мл 10 %-го розчину йодиду калію, 5 мл буферної суміші з рН 4,6 і 1 мл 1 %-го розчину крохмалю. За наявності активного хлору розчин забарвлюється в синій колір, оскільки хлор витісняє вільний йод з йодиду калію:

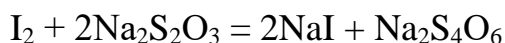


або

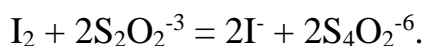


(йод, що виділився, забарвлює крохмаль в синій колір).

Потім до розчину додають по краплях з бюретки 0,1 н розчин тіосульфату натрію до знебарвлення розчину. При цьому відбувається реакція



або



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

Вміст активного хлору X_{Cl} обчислюють за формулою

$$X_{\text{Cl}} = \frac{V_1 \cdot N \cdot 35,5 \cdot 1000}{V_2}, \text{ мг/л}, \quad (5.2)$$

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

N – коефіцієнт нормальності розчину тіосульфату натрію;

V_2 – об'єм досліджуваної води, узятий для титрування, мл;

35,5 – міліграм-еквівалент хлору.

Показник хлорування води $O_{\text{хл}}$ визначають за формулою

$$O_{\text{хл}} = \frac{1}{D}, \quad (5.3)$$

де D – доза введеного хлору, відповідна вмісту залишкового хлору 0,5 мг/дм³.

За отриманими даними будують графік в наступних координатах: доза хлору – залишковий хлор.

За графіком знаходять дозу введеного хлору, що забезпечує концентрацію 0,5 мг/дм³ залишкового хлору, і обчислюють показник хлорування води.

Результати визначення записують у вигляді таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати визначення залишкового хлору

Номер колби	Доза введеного хлору, мг/дм ³	Кількість залишкового хлору, мг/дм ³	Показник хлорування води
1	2	3	4

5.3.3 Визначення стабільності хлору в воді при нормальному та комбінованому хлоруванні

У дві плоскодонні колби наливають мірним циліндром по 1 л вихідної води. В першу колбу доливають піпеткою 20 мл розчину хлорної води (доза хлору 2 мг/л), в другу – 20 мл розчину хлорної води і 2 мл аміачної.

Вміст колб збовтують. Колби закривають пробками. Протягом 1,5 годин через кожні 30 хвилин з них відбирають по 100 мл воді та визначають кількість залишкового хлору. Результати заносять до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Результати визначення залишкового хлору

Час, який пройшов після введення хлору в воду	Залишковий хлор при нормальному хлоруванні, мг/дм ³	Залишковий хлор при хлоруванні з амонізацією, мг/дм ³
1	2	3

За результатами дослідів будують графіки в координатах:

- залишковий хлор – час для нормального хлоруванні;
- залишковий хлор – час для хлорування з амонізацією.

За результатами роботи необхідно написати звіт.

Контрольні запитання

1. Методи знезараження природних вод.
2. Дати визначення поняттям «хлорпоглинальність» і «активний хлор».
3. Вплив температури на розчинність хлору у воді.
4. Методи визначення залишкового хлору у воді.
5. Фактори, які впливають на ефективність хлорування.

Лабораторна робота № 6

СТАБІЛЬНІСТЬ ПРИРОДНИХ ВОД

Мета роботи – ознайомитися з методами визначення стабільності природних вод.

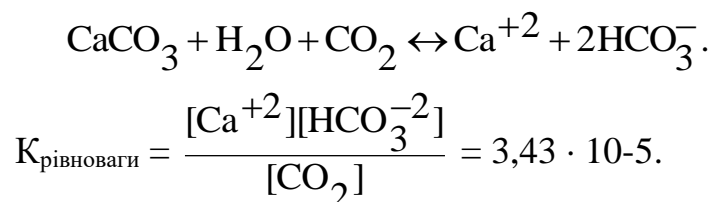
6.1 Теоретична частина

Одним з технологічних показників природних вод є стабільність.

Стабільністю води називається здатність її при тривалому зберіганні й транспортуванні трубопроводами зберігати постійний склад. Стабільна вода не виділяє і не розчиняє карбонат кальцію CaCO_3 .

Стабільність води залежить від концентрації вільної вуглекислоти CO_2 і концентрації гідрокарбонатів кальцію і магнію.

При контакті води, що містить розчинену вуглекислоту, з карбонатом кальцію встановлюється рівновага:



Якщо врахувати, що $[\text{Ca}^{+2}] = 0,5 [\text{HCO}_3^-]$ (з рівняння рівноваги), то

$$K_{\text{рівн.}} = \frac{[\text{HCO}_3^-]^3}{2[\text{CO}_2]}.$$

Концентрація CO_2 , яка відповідає рівновазі, називається **рівноважною**, а така вода є **стабільною**.

Якщо $[\text{CO}_2]$ досліджуваної води більше $[\text{CO}_2]$ рівноважної, то відбувається розчинення карбонату кальцію. Така вода називається **агресивною**. Агресивна вуглекислота може викликати корозію металевих, бетонних і залізобетонних споруд.

Якщо $[\text{CO}_2]$ досліджуваної води менше $[\text{CO}_2]$ рівноважної, то з води виділяється карбонат кальцію. Така вода називається **нестабільною**. Відкладення карбонату кальцію з нестабільної води сприяє забиванню трубопроводів, а згодом і вуглекислотній корозії бетонів, а також, якщо при цьому відбуваються біологічні обростання поверхонь, і електрохімічній корозії сталі при нерівномірній аерації.

Кількісною характеристикою стабільності води є *показник стабільності*, який може бути розрахований або за лужністю досліджуваної води, або при вимірюванні її рН.

Показником стабільності є відношення рН або лужності досліджуваної води до рН або лужності цієї ж води, насиченої CaCO₃:

$$C_T = \frac{pH_{\text{вих}}}{pH_{\text{нас CaCO}_3}}, \quad (6.1)$$

$$C_T = \frac{L_{\text{вих}}}{L_{\text{нас CaCO}_3}}. \quad (6.2)$$

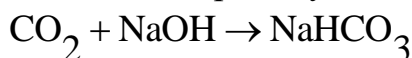
Якщо $C_T > 1$ – вода агресивна; якщо $C_T < 1$ – вода нестабільна; якщо $C_T = 1$ – вода стабільна.

Методи стабілізації полягають у такому:

- нестабільну воду підкисляють сильними кислотами



- агресивну воду обробляють їдким натром (гідроксидом натрію) або карбонатними солями для видалення надмірної вуглекислоти:



Агресивну воду можна стабілізувати фільтруванням через карбонатні мінерали (крейда, вапняк, мармурову крихту) або піщано-вапняні фільтри.

6.2 Реактиви, прилади, посуд

1. Мішалка електрична.
2. Колба мірна ємкістю 250 мл (4 шт.).
3. Бюретка на 50 мл (1 шт.).
4. Карбонат кальцію CaCO₃.
5. Метилловий оранжевий.
6. Соляна кислота 0,1 н.

6.3 Експериментальна частина

6.3.1 Визначення стабільності води при вимірюванні рН

Вимірювання слід проводити для водопровідної води і проби досліджуваної води, яку слід отримати у викладача.

Необхідно виміряти рН обох проб води за допомогою рН-метра.

Наливають в конічні колби задані об'єми досліджуваної води (50–100 мл) і всипають в них карбонат кальцію до насичення. Перемішують воду з CaCO_3 протягом 25–30 хв. Далі необхідно відфільтрувати осад, що залишився.

Вимірюють рН отриманих розчинів.

Розраховують показники стабільності для обох проб за формулою (6.1).

6.3.2 Визначення стабільності за зміною лужності досліджуваної води

Відміряють задані об'єми водопровідної і досліджуваної води (50–100 мл), вливають їх в конічні колби для титрування, додають 2-3 краплі метилового оранжевого.

Титрують 0,1 н розчином HCl до переходу жовтого забарвлення розчину в оранжево-рожевий.

Необхідно відзначити об'єми кислоти, що пішли на титрування для обох проб, і розрахувати лужність води, виходячи із закону еквівалентів:

$$L = \frac{N_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} \cdot 1000}{V_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (6.3)$$

Відмірюють такі ж об'єми водопровідної і досліджуваної води, додають карбонат кальцію і перемішують вміст протягом 25–30 хв до насичення води карбонатом кальцію. Фільтрують осад CaCO_3 , що залишився.

Визначають лужності фільтрованих розчинів.

Далі необхідно розрахувати показники стабільності для обох проб виходячи з лужності за формулою (6.2).

Результати дослідів записують в таблицю 6.1.

За результатами роботи слід зробити висновок про стабільність досліджуваних проб води.

Таблиця 6.1 – Результати дослідів стабільності проб води

Проба води	рН	C_T	L	C_T

Контрольні запитання

1. Форми сполук вугільної кислоти залежно від рН і температури.

2. Визначення агресивної вугільної кислоти методом розрахунку за номограмою.
3. Характеристика стабільності води по відношенню до матеріалів труб.
4. Методи стабілізаційної обробки природних вод на водоочисних станціях.

Лабораторна робота № 7

ВИЗНАЧЕННЯ ГРЯЗЕСМНОСТІ ФІЛЬТРІВ

Мета роботи – вивчення залежності величини грязесмності завантаження фільтра від його виду, крупності зерен, швидкості фільтрування і вмісту завислих речовин у вихідній воді.

7.1 Теоретична частина

Завершальним етапом звільнення води від завислих речовин природного походження і тих, що утворилися в результаті реагентної очистки, є фільтрування. Цей процес в більшості випадків здійснюють шляхом пропускання води через шар зернистих фільтруючих матеріалів певної висоти в спеціальних спорудах – фільтрах.

Ефект фільтрування при цьому залежить від кількості та розмірів завислих у воді домішок, величини зерен фільтруючого середовища і швидкості фільтрування, а для скоагульованих забруднень ще й від міцності утворених агрегатів.

Однією з основних технологічних характеристик роботи фільтра є його грязесмність. Грязесмністю фільтра називають кількість забруднень, затриманих в процесі фільтроциклу. Вона залежить від гранулометричного складу завантаження, його виду та форми зерен. У цій лабораторній роботі пропонується порівняти грязесмність двох різних завантажень фільтрів: кварцового піску і цеоліту.

7.2 Дослідна установка

До складу дослідної установки (рис. 7.1) входить дві фільтрувальні колонки діаметром 50–60 мм, висотою 500 мм, бак вихідної води, бак промивної води, трубопроводи подачі вихідної і промивної води, крани.

Для запобігання осідання суспензії в баку вихідної води передбачається перемішування води.

7.3 Реактиви, установки, посуд

1. Набір сит.
2. Кварцовий пісок.
3. Цеоліт.
4. Електрична мішалка.
5. Мірні циліндри.
6. Фотоелектроколориметр.

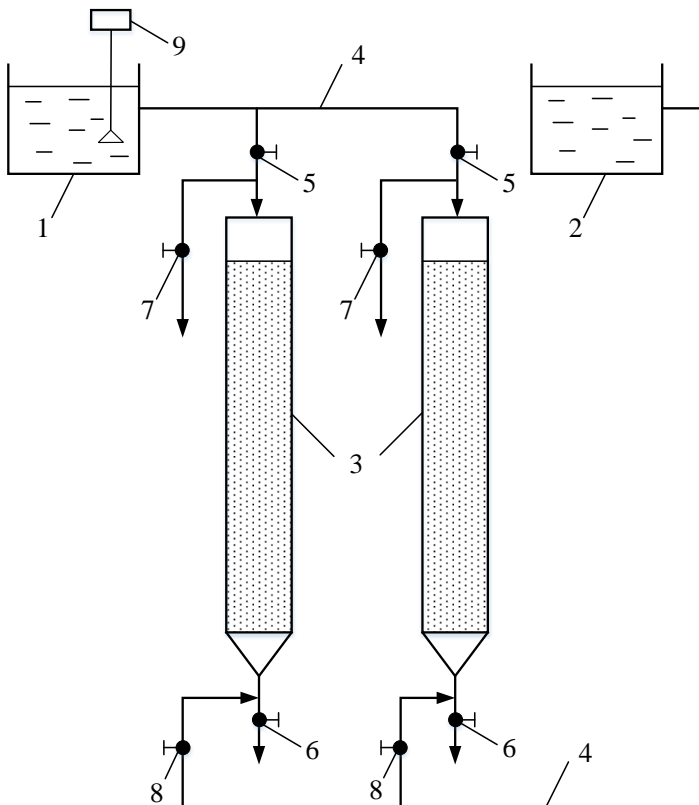


Рисунок 7.1 – Установка для дослідження процесу фільтрування:

- 1 – бак вихідної води;
- 2 – бак промивної води;
- 3 – фільтрувальні колонки;
- 4 – трубопроводи; 5 – крани подавання вихідної води;
- 6 – крани для збирання фільтрату; 7 – крани для збирання промивної води;
- 8 – крани для подавання промивної води; 9 – електрична мішалка

7.4 Експериментальна частина

Пісок і цеоліт відсівають на ситах (розмір отворів 0,25–1,0 мм) і промивають. Діаметр зерен і об'єм завантаження повинен бути однаковим в обох колонках. З бака **1** відбирають пробу води і визначають за допомогою ФЕК вміст завислих речовин. Починають фільтрувати воду через завантаження і визначають швидкість фільтрування води за формулою

$$V = \frac{10 \cdot Q}{F}, \quad (7.1)$$

де Q – витрата води, л/год;

F – площа колонки, дм^2 .

Під час проведення досліду швидкість фільтрування повинна бути в межах 6–8 м/год.

Фільтрування продовжують до проскакування 1,5 мг/дм³ завислих речовин в фільтрат. Під час досліду заміряють об'єм профільтрованої води і час захисної дії фільтрувальної колонки, тобто час, протягом якого вміст завислих речовин у фільтраті буде менше 1,5 мг/дм³.

Промивку завантаження здійснюють з бака 2 протягом 5-6 хвилин.

Грязеємність завантаження М, кг/м³, наближено підраховують за формулою

$$M = \frac{V \cdot (C_0 - C_\phi) \cdot 1000}{V_z} = \frac{T_z \cdot Q \cdot (C_0 - C_\phi) \cdot 1000}{V_z}, \text{ кг/м}^3, \quad (7.2)$$

де C_0 – вміст суспензії у вихідній воді, мг/дм³;

C_ϕ – вміст суспензії в фільтраті, мг/дм³;

V – об'єм профільтрованої води, л;

V_z – об'єм завантаження, дм³;

T_z – час захисної дії фільтрувальної колонки, год.

Результати дослідів заносять в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1 – Результати дослідів

Номер колонки	Вид завантаження	V_z , дм ³	C_0 , мг/дм ³	C_ϕ , мг/дм ³	V, м/год	Q, л/год	T_z , год	M, кг/м ³
1	Пісок							
2	Цеоліт							

Контрольні запитання

1. Які процеси протікають в порах зернистих фільтрів при освітленні води?
2. Які умови санітарної надійності роботи зернистих фільтрів?
3. Які параметри впливають на грязеємність фільтрів?
4. Які показники впливають на зміну втрат напору в завантаженні фільтра?
5. Як впливає фільтрованість на тривалість фільтроциклу?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2022–04–01. – Електрон. текст. дані. – Київ : Міністерство охорони здоров'я, 2010. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=27272, вільний (дата звернення: 20.06.2024). – Назва з екрана.
2. ДСанПіН Показники безпечності та окремі показники якості питної води в умовах воєнного стану та надзвичайних ситуаціях іншого характеру [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2022–07–06. – Електрон. текст. дані. – Київ : Міністерство охорони здоров'я, 2022. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0564-22#Text>, вільний (дата звернення: 20.06.2024). – Назва з екрана.
3. ДБН В.2.5–74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2014–01–01. – Електрон. текст. дані. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54058, вільний (дата звернення: 20.06.2024). – Назва з екрана.
4. ДСТУ 4077-2001. Якість води. Визначення рН (ISO 10523:1994, MOD) [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2003–07–01. – Електрон. текст. дані. – Київ : Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2003. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=52791, вільний (дата звернення: 20.06.2024). – Назва з екрана.
5. ДСТУ EN 1420-1:2004. Якість води. Визначання впливу органічних речовин на якість води, призначеної для споживання людиною. Оцінювання води в трубопровідних системах на запах. Частина 1. Метод випробування (EN 1420-1:1999, IDT) [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2005–10–01. – Електрон. текст. дані. – Київ : Держспоживстандарт України, 2005. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73065, вільний (дата звернення: 20.06.2024). – Назва з екрана.
6. ДСТУ ISO 7027-2003. Якість води. Визначання каламутності (ISO 7027:1999, IDT) [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2004–07–01. – Електрон. текст. дані. – Київ : Держспоживстандарт України, 2004. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=57251, вільний (дата звернення: 20.06.2024). – Назва з екрана.
7. ДСТУ ISO 7887-2003. Якість води. Визначання і досліджування забарвленості (ISO 7887:1994, IDT) [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2024–06–07. – Електрон. текст. дані. – Київ : Держспоживстандарт України, 2003. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72427, вільний (дата звернення: 20.06.2024). – Назва з екрана.
8. ДСТУ ISO 9963-1:2007. Якість води. Визначання лужності. Ч.1 Визначення загальної та часткової лужності (ISO 9963-1:1994, IDT). – Чинний від 2009–01–01 [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Київ : Держспоживстандарт України, 2010. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50541, вільний (дата звернення: 20.06.2024). – Назва з екрана.

ДОДАТОК А

Послідовність оформлення лабораторного журналу

Дата:

Лабораторна робота №...

Назва роботи

Мета роботи:

Обладнання, прилади, реактиви:

Хід роботи (методика визначення):

Схема лабораторної установки:

Таблиця вихідних даних і результатів:

Формули та розрахунки:

Висновки:

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
для виконання лабораторних робіт
із навчальної дисципліни

«ОЧИСНІ СПОРУДИ ВОДОПОСТАЧАННЯ»

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)

Укладачі: **БСЛЯЄВА** Валентина Михайлівна,
СОРОКІНА Катерина Борисівна

Відповідальний за випуск: *Г. І. Благодарна*
Редактор *О. А. Норик*
Комп'ютерне верстання *В. М. Беляєва*

План 2023, поз. 66М

Підп. до друку 19.08.2024. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 2,3.

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