

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

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання лабораторних робіт
та самостійного вивчення
навчальної дисципліни

«ПРОМИСЛОВА ВОДОПІДГОТОВКА»

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія)*



Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт та самостійного вивчення навчальної дисципліни «Промислова водопідготовка» (для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Т. С. Айрапетян, С. В. Лукашенко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 61 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. Т. С. Айрапетян,
канд. техн. наук, доц. С. В. Лукашенко

Рецензент

О. А. Сироватський, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення і очищення вод,
протокол № 1 від 29.08.2023*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ТА ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	5
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	9
Лабораторна робота № 1 Порівняння вимог до якості води для виробничих потреб різних галузей промисловості.....	9
Лабораторна робота № 2 Аналіз роботи охолоджувачів систем оборотного водопостачання.....	14
Лабораторна робота № 3 Вибір типу охолоджувача та визначення величин втрат води в системі оборотного водопостачання «чистого циклу»...	17
Лабораторна робота № 4 Визначення оптимального об'єму скиду води з продувкою для системи оборотного водопостачання «чистого циклу».....	21
Лабораторна робота № 5 Визначення основних показників води	27
Лабораторна робота № 6 Пом'якшення води реагентним та термічним методами.....	34
Лабораторна робота № 7 Визначення динамічної обмінної ємності катионіту КУ-2 до проскакування у фільтрат іонів Ca^{2+}	37
Лабораторна робота № 8 Обробка стічних вод від регенерації Na-катионітових фільтрів з метою повторного використання.....	50
3 ЗМІСТ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЧАСТИНИ ДИСЦИПЛІНИ. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	54
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59
ДОДАТОК А.....	60

ВСТУП

Дисципліна «Промислова водопідготовка» знайомить студентів з технологіями підготовки природних і оборотних вод для потреб різних галузей промисловості, організацією оборотних циклів водопостачання, що забезпечуватимуть охорону водних джерел від виснаження та забруднення й гарантуючих мінімальну екологічну шкоду навколишньому природному середовищу.

Основною метою цих методичних рекомендацій є ознайомлення студентів з основними вимогами до якості води, що ставляться різними споживачами, типами охолоджувачів води, якісними показниками води, які обумовлюють вибір методу очищення, засвоєння фізико-хімічної сутності процесів, які відбуваються на спорудах очищення і підготовки води до повторного використання, розвитку в студентів навичок роботи в лабораторії і проведення хімічного експерименту.

1 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ТА ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

ПІДГОТОВКА ДО ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ. ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Загальні заходи безпеки

При роботі в лабораторії студенти особливу увагу повинні звертати на техніку безпеки і дотримуватися правил безпечної роботи – вміти користуватися хімічним посудом, реактивами, розчинами і нагрівальними приладами.

Застосовуваний у лабораторії хімічний посуд здебільшого скляний, тонкостінний і тендітний, вимагає дбайливого користування, тому що при недбалому поводженні з ним можливі різні поранення (порізи рук склом). При роботі хімічний посуд потрібно тримати в руках обережно (не стискати сильно пальцями). Під час його миття необхідно стежити за тим, щоб не пробити стінки чи дно. У випадку невеликого порізу потрібно видалити осколки, змити кров навколо рани ватним тампоном, змоченим розчином марганцевокислого калію, змазати йодом і зав'язати бинтом чи заліпити лейкопластиром. 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 має знання студентів про сполуки, з якими їм приходится працювати в лабораторії. Багато з них можуть бути хімічною отрутою і при необережному поводженні слугувати причиною хімічних опіків та отруєнь. До таких речовин відносяться, насамперед, рідкі кислоти і луги. Усі реактиви і розчини, які використовуються в лабораторії, повинні знаходитися в закритому посуді з чітким написом, який вказує назву і концентрацію реагенту. При потрапленні сильних кислот на шкіру варто негайно змити облите місце водою, а потім 5 %-им розчином двовуглекислої соди. При опіку лугами також рекомендується обмити уражене місце водою,

а потім 2 %-им розчином оцтової кислоти. Якщо кислота пролилася на підлогу, її потрібно засипати піском, потім зібрати його і винести з приміщення, а облите місце промити розчином соди.

При роботі з реактивами треба завжди пам'ятати, що наповнення піпеток для виміру малих обсягів кислот, лугів та інших речовин виконують тільки за допомогою гумової груші. Засмоктування ротом категорично **забороняється!**

Усю роботу зі шкідливими й отруйними речовинами необхідно проводити у витяжних шафах.

Нагрівальні прилади потрібно встановлювати на теплоізоляційну підставку. При необережній роботі можливі теплові опіки від самого приладу і нагрітого хімічного посуду. Не рекомендується брати гарячий посуд руками. Нагріті предмети беруть щипцями, колботримачами, джгутом з рушника. Необхідно уважно стежити за роботою нагрівальних приладів, не можна залишати їх без нагляду. У випадку опіків першого ступеня (почервоніння) на обпалене місце необхідно накласти вату, змочену розчином марганцевокислого калію, концентрація якого мусить бути тим більшою, чим сильніший опік. Можна використовувати і мазі від опіків. При опіках другого ступеня обпалене місце обробляють розчином марганцевокислого калію. При опіках третього ступеня (руйнування тканин) рану покривають стерильною пов'язкою і викликають лікаря.

У приміщенні лабораторії, де працюють студенти, завжди повинні бути протипожежні засоби: вогнегасники, пісок. Не допускається гасити водою олію, бензин, сірковуглець тощо.

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

Пам'ятайте, що хімічна лабораторія – місце підвищеної небезпеки.

Забороняється приступати до виконання роботи без дозволу викладача або лаборанта.

Під час роботи в хімічній лабораторії потрібно дотримуватися тиші, порядку, чистоти. Акуратно поводитися з хімічним посудом, приладами й реактивами.

Не допускати потрапляння в очі будь-якої речовини.

Не можна набирати рідину в піпетку ротом, завжди користуватися грушею або пристосуванням для відбору проб. Пам'ятати, що випари всіх органічних розчинників токсичні, особливо у великих концентраціях.

Заборонено проводити досліди в брудному посуді, а також користуватися для проведення дослідів речовинами зі склянок без етикеток або з нерозбірливим написом.

Не можна виливати надлишок реактиву із пробірки назад у реактивну склянку. Сухі солі набирають чистим шпателем або ложечкою.

Не можна плутати пробки від різних склянок. Щоб внутрішній бік пробки залишався чистим, її кладуть на стіл зовнішньою поверхнею уверх.

Уникати вдихання пару або пилу речовин, з якими працюють. З усіма речовинами, що розпорошуються або поширюються, роботи проводять тільки у витяжній шафі з опущеними стулками, надягнувши захисні рукавички.

Якщо якісь етапи роботи не зрозумілі або викликають сумнів, потрібно обов'язково проконсультуватися з викладачем.

Наприкінці занять усі студенти зобов'язані навести порядок на своєму робочому місці: уважно оглянути й перевірити вимикання електроенергії, води, приладів і апаратів, прибрати легкозаймисте сміття, вимити скляний посуд, здати реактиви.

Організація лабораторних робіт

Необхідною умовою успішного виконання лабораторних робіт й запобігання аварійним ситуаціям або нещасним випадкам є уважне вивчення методики проведення досліду, планування етапів роботи, дотримання правил техніки безпеки.

При виконанні лабораторних робіт необхідно **чітко** дотримувати таких правил:

1. Перед заняттями студентів необхідно заздалегідь ознайомитися з етапами проведення дослідів, чітко усвідомити мету й завдання роботи, обмірковуючи кожен дію.

2. Приступати до виконання роботи можна тільки після бесіди з викладачем (допуск до лабораторної роботи), у процесі якої необхідно описати основні етапи експерименту, зазначивши заходи обережності, уміти намалювати схему установки, мати уявлення про фізичні властивості використовуваних реагентів і продуктів реакцій, а також відповісти на низку теоретичних контрольних питань за темою виконуваної роботи. Допуск до роботи у вигляді підпису провідного викладача зазначається в робочому журналі студента.

Необхідно знати основні властивості використовуваних та одержуваних речовин, як вони діють на організм, правила роботи з ними і на підставі цього передбачати всі необхідні заходи безпеки щодо проведення робіт.

Виконання лабораторної роботи й кожного окремого дослідження потребує чіткого дотримання всіх рекомендацій, що зазначені в описі роботи. Дослід потрібно виконувати ретельно, акуратно й без поспіху.

Перед заняттями необхідно оформити лабораторний журнал відповідно до вимог, наведених нижче.

Послідовність оформлення лабораторного журналу

Дата.

Заголовок: лабораторна робота №, назва лабораторної роботи.

Коротке формулювання мети роботи.

Устаткування, прилади, реактиви.

Хід роботи (методика визначення).

Схема лабораторної установки.

Таблиця вихідних даних і результатів.

Формули та розрахунки.

Спостереження.

Висновки (вносяться після виконання роботи).

2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ПОРІВНЯННЯ ВИМОГ ДО ЯКОСТІ ВОДИ ДЛЯ ВИРОБНИЧИХ ПОТРЕБ РІЗНИХ ГАЛУЗЕЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Мета роботи: проаналізувати вимоги до якості води, що використовується для виробничих потреб, зокрема для охолодження, паросилового господарства, провести аналіз якості води для виробничих потреб на підставі даних лабораторій аналітичного контролю.

Залежно від призначення води у виробництві до якості води висуваються різні вимоги. Іноді система виробничого водопостачання значно ускладнюється тим, що окремі виробничі споживачі, що входять до складу підприємства, пред'являють різні вимоги до якості води або до напору, під яким вона надходить. Тому доводиться споруджувати декілька систем виробничих водопроводів.

Основними показниками, що визначають придатність води для різних категорій водоспоживачів є склад і концентрація домішок, що містяться в ній. За специфікою вимог до якості очищеної води розрізняють воду, що використовується для господарсько-питних потреб працівників і службовців промислових підприємств, для охолодження елементів технологічних агрегатів у теплоенергетиці й інших галузях народного господарства, підживлення парових котлів, технологічних потреб промисловості тощо.

Показники якості води:

1. Фізичні (температура, вміст завислих речовин і розчинених газів, забарвленість, запах тощо).

2. Хімічні (твердість, лужність, активна реакція, хлориди, сульфати, окисність, сухий залишок тощо).

3. Біологічні й бактеріологічні (гідробіонти, загальна кількість бактерій, колі-індекс тощо). Бактеріологічні показники якості виробничої води визначають безпеку її використання й вимагають особливо ретельного контролю при використанні в промисловому водопостачанні біологічно очищених і доочищених побутових стічних вод.

Вода, що використовується на господарсько-питні потреби на промислових підприємствах, повинна задовольняти вимогам ДержСанПіН 2.2.4-171-10 [1].

Придатність води для виробничих потреб визначається її технологічними властивостями.

Найбільша кількість води в промисловості використовується для охолодження технологічного обладнання, пари, рідких та газоподібних продуктів, парових машин та конденсаторів турбін, доменних печей тощо. Застосовуються прямоточні та оборотні системи водопостачання. Якість охолоджувальної води визначається умовами застосування. Наприклад, зазвичай обмежується максимальна температура нагріву води та вміст бікарбонатів кальцію та магнію, загальна твердість води, вміст завислих речовин та їх гранулометричний склад, вміст заліза, марганцю та органічних сполук, щоб уникнути утворення накипу, засмічення відкладеннями суспензії або біообростання холодильних апаратів та конденсаторів, а також трубопроводів, що знижує ефективність роботи усієї системи охолодження та збільшує витрати на експлуатацію.

У охолоджувальній воді нормується величина рН (6,5-8,5), обмежується вміст сульфатів і хлоридів, при підвищеному вмісті яких вода стає агресивною по відношенню до бетону. Посилюються також корозійні властивості води.

До якості води теплоенергетичних процесів пред'являються більш жорсткі вимоги, ніж до якості води, яка використовується для охолодження. При використанні води для потреб паросилового господарства вона не повинна утворювати накипу, викликати корозію металу, спінюватися, приводити до забруднення пари та відкладення різних домішок на лопатках турбін. Вода має бути звільнена від завислих речовин, солей твердості та розчиненого кисню – для котлів високого тиску повністю звільняють від кремнієвої кислоти та знесолюють.

Температура. Гранична температура води для охолодження теплообмінних апаратів визначається умовами їхньої роботи й вимогами технології.

Завислі речовини. У воді для живлення парових казанів і для деяких видів виробництв допускається до 2 мг/дм³ і нижче; в охолоджувальній воді – не більше 50 мг/дм³.

Забарвленість. Надає воді колір, указує на присутність у ній органічних речовин, перешкоджає використанню води для багатьох виробництв.

Присмак і запах. Наявність у воді небажаних запахів і присмаку робить її непридатною для харчової, хімічної та іншої галузей промисловості.

Твердість. Перешкоджає використанню води для парових казанів і деяких видів виробництв. В оборотних системах водопостачання підвищена карбонатна твердість підживлювальної води призводить до відкладення карбонату кальцію в трубопроводах, теплообмінних апаратах й в охолоджувальних пристроях.

Розчинений (сухий) залишок. Підвищена мінералізація води перешкоджає її використанню для харчування парових казанів, виробництва кінофотоплівки, штучних волокон, синтетичного каучуку тощо.

Активна реакція (рН). При низьких значеннях рН вода агресивна, сприяє корозії металу, що призводить до погіршення її смаку. При високих значеннях рН вода нестабільна й здатна до відкладань на стінках труб і теплообмінних апаратів карбонат кальцію, що викликає їх заростання.

Залізо й марганець. Перешкоджають використанню води в текстильній і паперовій промисловості, при виробництві пластмас і кінофотоплівки, у харчовій промисловості тощо.

Сульфати й хлориди. Підвищений вміст перешкоджає використанню води для живлення парових казанів і низки виробництв. Присутність їх у воді свідчить про її агресивність стосовно бетону на силікатному цементі: при вмісті сульфат-іонів більше 0,25 г/дм³, якщо вміст хлоридів менше 3 г/дм³; при вмісті сульфат-іонів більше 0,5 г/дм³, якщо вміст хлоридів від 3 до 5 г/дм³; при вмісті сульфат-іонів більше 1 г/дм³, якщо вміст хлоридів більше 5 г/дм³.

При вмісті сульфат-іонів більше 4 г/дм³ вода агресивна стосовно до пуцоланового і шлакопуцоланового силікатного цементу, а також до шлакосилікатного цементу.

Окисність. Окисність води більше 8 мг О₂/дм³ указує на ймовірність забруднення її стічними водами, на можливість розвитку органічних обростань у теплообмінних апаратах.

Підвищена *окисність* викликає спінювання води в паросилових казанах, перешкоджає її використанню при виробництві синтетичних волокон, а також в електродіалізних та іоннообмінних процесах.

Кремнекислота. Перешкоджає використанню води для живлення казанів високого й надвисокого тиску, текстильного й низки хімічних виробництв, для хіміко-фармацевтичного виробництва.

Вільна вуглекислота. Сповільнює процес гідролізу солей металів при коагулюванні, знезалізненні й інших процесах кондиціонування води; викликає корозію металу й бетонних споруд.

Сірководень. Надає воді неприємного запаху, викликає корозію металів і сприяє заростанню труб і теплообмінних апаратів.

Розчинений кисень. Посилює корозію металу, водопровідних труб, тепломереж, теплообмінних апаратів, казанів, бойлерів тощо.

Азот (нітратний, нітритний, амонійний). Підвищений зміст у воді свідчить про ймовірне забруднення джерела стічними водами.

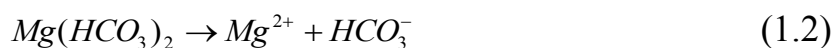
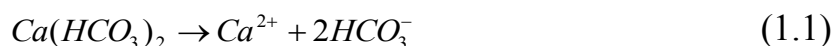
Загальні вимоги до якості води виробничого призначення:

1. Вода не має призводити до утворення відкладень зависі в трубопроводах і холодильниках.

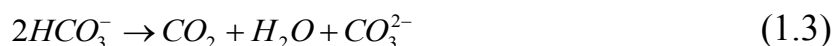
2. Вода не має призводити до біологічних обростань у системі, тобто утворення й розвитку в трубопроводах і холодильниках живих мікроорганізмів, водоростей тощо. В оборотних і прямоточних системах охолодження це спричиняє сприятлива температура води до 45–50 °С.

3. Вода не має спричиняти відкладення накипу. Накипом називають зв'язані тверді, незмивні водою відкладення, що утворюються на поверхнях нагрівання, охолоджуваних водою, у трубах тощо.

Для оборотних систем охолодження нагрівання води, що містить вуглекислі солі кальцію та магнію в технологічних агрегатах призводить до дисоціації цих солей:



Зі свого боку, іон HCO_3^- дисоціює з утворенням CO_3^{2-} :



При нагріванні, а потім охолодженні води у відкритих охолоджувачах вуглекислий газ виходить із системи. У результаті вуглекислотна рівновага порушується, виникає надлишок іонів CO_3^{2-} . При наявності у воді іонів кальцію Ca^{2+} і магнію Mg^{2+} утворюються нерозчинні сполуки, що випадають в осад:



Шар накипу в системах охолодження складається на 70–80 % із CaCO_3 і на 20–30 % з MgCO_3 і SiO_2 . За відсутності вільних іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} у воді й наявності вільної вуглекислоти вода стає агресивною стосовно бетону, відбувається його руйнування за рахунок вилуговування іонів кальцію й магнію, що входять до складу бетону.

Наявність зависі й біологічних обростань збільшує інтенсивність накипоутворення. Тому при значному накипоутворенні доцільно спочатку забезпечити максимальне зниження концентрації зависі у воді й усунути

причини біологічних обростань, а вже потім розробляти заходи боротьби з утворенням накипу.

4. Вода, що використовується для виробничих потреб, не має спричиняти інтенсивну корозію трубопроводів й устаткування. Швидкість корозії збільшується при низьких рН, підвищеному солевмісті й зменшенні твердості води, збільшенні концентрації хлоридів і сульфатів, кисню, а також інших агресивних газів CO_2 , H_2S та з підвищенням температури й тиску води.

5. Вода, що використовується для виробничих потреб, не повинна погіршувати умови виробництва і якість продукції, має відповідати технологічним вимогам, а її використання не має призводити до несприятливих наслідків, зазначених вище.

За здатністю утворювати накип у системах водопостачання при чергуванні циклів «нагрівання–охолодження» вода для виробничих потреб може бути:

– *термостабільна*, що не дає накипу при багаторазовому нагріванні до 40–50 °С. Це вода з карбонатною твердістю < 3,5 мг-екв/дм³;

– *умовно термостабільна*, що не утворює накипу при перших циклах «нагрівання–охолодження», а при наступних циклах відрізняється інтенсивним накипоутворенням. Для такої води характерна карбонатна твердість від 3,5 мг-екв/дм³ до 5,5 мг-екв/дм³;

– *нетермостабільна*, що при перших же циклах «нагрівання–охолодження» інтенсивно утворює накип навіть за наявності у воді вільної вуглекислоти. Для такої води характерна висока карбонатна твердість > 5,5 мг-екв/дм³.

Якщо якість води для виробничих потреб не відповідає пропонованим вимогам, здійснюється відповідне її очищення або водопідготовка різними способами, що забезпечує виконання цих вимог до якості води.

Хід виконання роботи

1. Одержати вихідні дані у викладача.
2. Вивчити нормативні вимоги до води, яка використовується у промисловості для різних цілей відповідно до виданого завдання.
3. Зробити порівняльний аналіз відповідних показників якості води.
4. Результати аналізу звести у таблицю 1.1 і зробити висновки.

Таблиця 1.1 – Аналіз показників якості води

Показ- ники	Значення показників якості води						Висновок
1	2	3	4	5	6	7	8

Контрольні питання

1. Перелічіть основні показники якості води, які необхідно контролювати у воді для виробничих потреб.
2. Яка вода вважається термостабільною?
3. Чим обумовлена твердість води?
4. Яка вода вважається нетермостабільною?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

АНАЛІЗ РОБОТИ ОХОЛОДЖУВАЧІВ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Мета роботи: вивчити типи охолоджувачів систем оборотного водопостачання; навчитися визначати втрати води в охолоджувачах.

Прилади й матеріали:

1. Калькулятор.
2. Роздавальний матеріал.

Втрати води на промисловому підприємстві складаються із втрат:

- на технологічні потреби (безповоротне водоспоживання);
- в охолоджувачах оборотної води;
- на очисних спорудах;

– на скид води з системи (продувка системи), величина якого визначається залежно від якості оборотної води й підживлювальної води, що додається в систему, а також способу її обробки.

Втрати води на технологічні потреби (насамперед, винесення її із продуктами й відходами) визначаються технологічними розрахунками і є безповоротними.

В охолоджувачах втрати води складаються із втрат на фільтрацію, випаровування, віднесення води вітром.

Втрати води на фільтрацію враховуються тільки в ставках-охолоджувачах і накопичувачах при водопроникних ґрунтах підстави і огорожувальних дамб. Розрахунок здійснюють за даними гідрологічних

вишукувань. Втрати води на фільтрацію з бризкальних басейнів і водозбірних резервуарів градирень допускається не враховувати.

Втрати води на випаровування враховуються у випарних охолоджувачах: бризкальних басейнах, відкритих градирнях, ставках-охолоджувачах. У радіаторних охолоджувачах ці втрати відсутні.

Втрати води на випаровування, м³/год:

$$Q_1 = K_{\text{вип}} \cdot Q \cdot \Delta t, \quad (2.1)$$

де $K_{\text{вип}}$ – коефіцієнт, який враховує долю тепловіддачі випаровуванням в загальній тепловіддачі;

Δt – перепад температур води, який визначається як різниця температур води, що надходить до охолоджувача, і температури охолодженої води, °С .

Q – витрата охолоджувальної оборотної води, м³/год.

Для бризкальних басейнів і градирень залежно від температури повітря за сухим термометром T значення коефіцієнта $K_{\text{вип}}$ визначають за таблицею А.1 (див. додаток А). Для ставків-охолоджувачів значення коефіцієнта $K_{\text{вип}}$ приймається залежно від природної температури води водойми за таблицею А.2 (додаток А).

Втрати води на випаровування виражаються у відсотках:

$$P_1 = \frac{Q_1}{Q} \cdot 100, \% \quad (2.2)$$

Втрати води на віднесення вітром ураховуються у випарних охолоджувачах, бризкальних басейнах, відкритих градирнях і зрошувальних теплообмінних апаратах. У радіаторних охолоджувачах ці втрати відсутні.

Втрати води на віднесення вітром, м³/год:

$$Q_2 = \frac{P_2 \cdot Q}{100}, \quad (2.3)$$

де P_2 – втрати води на віднесення вітром, %.

Втрати води внаслідок віднесення вітром залежать від типу охолоджувача, витрати оборотної води, наявності спеціальних водоуловлювачів для зниження виносу краплинної вологи й приймаються за таблицею А.3 (дод. А).

Втрати води на продувку системи пов'язані з необхідністю скидання частини відпрацьованої води й заміни її свіжою водою для підтримки необхідної якості води (в основному карбонатної твердості) в оборотному циклі.

Витрата води на продувку системи з метою підтримки необхідної концентрації солей твердості в оборотній воді, %,

$$P_3 = \frac{P_1 \cdot \mathcal{J}_D^K}{\mathcal{J}_{об}^K - \mathcal{J}_D^K} - P_2 \quad (2.4)$$

де \mathcal{J}_D^K , $\mathcal{J}_{об}^K$ – твердість карбонатна підживлювальної (свіжої) та оборотної води відповідно, г-екв/м³;

Орієнтовно можна вважати припустимою карбонатну твердість оборотної води у 1,5–2 рази більше за карбонатну твердість підживлювальної води (свіжої води, що додається), при величині останньої до 2,5 г-екв/м³ при використанні води з поверхневих джерел і до 1,5 г-екв/м³ – для води з підземних джерел.

Втрати води на скидання з системи (продувку) P_3 , %, передбачаються для підтримки розрахункової концентрації розчинних в оборотній воді солей, що не випадають в осад.

Значення величини продувки відкритих оборотних систем з градирнями не перевищує 3 % витрати оборотної води й встановлюється в кожному конкретному випадку з умов підтримки раціонального значення коефіцієнта концентрування солей добре розчинних солей $K_{к.с}$:

$$K_K = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3} \quad (2.5)$$

$$P_1 = \frac{Q_1}{Q} \cdot 100, \%$$

$$P_3 = \frac{P_1}{K_K - 1} - P_2 \quad (2.6)$$

Раціональне значення коефіцієнта $K_{к.с}$ для кожної системи оборотного водопостачання встановлюється індивідуально технологічними й техніко-економічними розрахунками з урахуванням температурних параметрів роботи системи і якості підживлювальної води. Значення $K_{к.с}$ зазвичай підтримується близько 3–5; за певних умов $K_{к.с}$ може становити 6–8.

Контрольні питання

1. Які системи називають оборотними?
2. Перелічіть втрати води в охолоджувачах.
3. Як визначаються втрати води на випаровування?
4. Від чого залежить коефіцієнт тепловіддачі на випаровування?
5. Що характеризує коефіцієнт випаровування? Наведіть формулу для його розрахунку.
6. Для чого необхідна продувка в системах зворотного водопостачання?
7. Як визначається величина продувки системи?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ВИБІР ТИПУ ОХОЛОДЖУВАЧА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИН ВТРАТ ВОДИ В СИСТЕМІ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ «ЧИСТОГО ЦИКЛУ»

Мета роботи: розглянути різні типи охолоджувачів, проаналізувати роботу системи оборотного водопостачання «чистого» циклу, порівняти величини втрат води у системі та за результатами проведених визначень обрати тип охолоджувача.

У системі оборотного водопостачання «чистого циклу» вода використовується для охолодження устаткування або продукції, у виробничому процесі вона циркулює в закритих теплообмінниках і при використанні не забруднюється, а тільки нагрівається. Для повторного використання води в системі оборотного водопостачання достатньо знизити її температуру в охолоджувачах.

Завдання:

1. За заданим варіантом вихідних даних (табл. 3.1–3.3) виконати розрахунок оборотної системи водопостачання «чистого циклу» промислового підприємства із застосуванням різних типів охолоджувачів.

2. Визначити величину втрат води в результаті краплинного віднесення вітром й втрат на випаровування, потрібну витрату свіжої води, що додається в систему при різних типах охолоджувачів.

3. Визначити величину рівноважної концентрації забруднень (за солемістом) у воді, що надходить на виробництво, $C_0(\text{рівн})$.

4. Вибрати й обґрунтувати вибір типу охолоджувача за отриманими результатами.

Вихідні дані

Вихідні дані вибирають за таблицями 3.1–3.3 за заданим варіантом. У таблиці 3.1 наведено дані з водоспоживання й водовідведення промислового підприємства. У таблиці 3.2 задані початкова концентрація забруднень (солеміст) у свіжій воді, концентрація солей в оборотній воді, а також вимоги до якості води, що подається на підприємство, у таблиці 3.3 – дані про втрати води на продувку системи оборотного водопостачання. Схема оборотної системи водопостачання підприємства наведена на рисунку 3.1.

Порядок виконання роботи

Під час виконання роботи необхідно розглянути різні типи охолоджувачів і визначити величину втрат води на випаровування ($q_{\text{вип}}$) і на бризковіднесення ($q_{\text{ун}}$) для різних типів охолоджувачів:

- відкриті градирні;
- бризкальні градирні;
- баштові градирні з водоуловлювачем та без водоуловлювача;
- вентиляторна градирня з водоуловлювачем;
- бризкальний басейн.

Таблиця 3.1 – Дані щодо водоспоживання й водовідведення промислового підприємства

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Водоспоживання (нормат.) Q_0 , м ³ /год	1 000	2 500	5 000	1 000	3 000	2 000	1 500	1 200	500	1 500
Водовідведення (нормативне) Q_1 , м ³ /год	980	2 400	4 900	990	2 950	1 950	1 400	1 150	490	1 480
Втрати води у виробництві q_1 , м ³ /год	20	100	100	10	50	50	100	50	10	20
Перепад температур ΔT , °C	10	7	5	8	6	9	6	8	6	7
Температура води за сухим термометром, °C	24,1	24,3	23,8	24,2	23,7	24,5	22,9	23,6	24,4	23,1

Таблиця 3.2 – Солевміст свіжої води, фонові концентрації оборотної води та вимоги до якості технічної води

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Початковий (фоновий) солевміст води $C_{0(0)}$, мг/л	500	400	500	200	800	600	700	500	400	200
Солевміст свіжої води $C_{\text{св}}$, мг/л	800	900	900	450	1 200	700	1 100	1 200	500	350
Припустима концентрація солей $C_{\text{дон}}$, мг/л	1 000	1 000	1 000	500	1 300	800	1 150	1 300	600	400

Таблиця 3.3 – Втрати води на продувку системи оборотного водопостачання

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Об'єм продувки, $Q_{\text{прод}}$, м ³ /год	40	65	150	90	260	95	120	90	100	60

Рівноважну концентрацію (солеміст) в оборотній воді можна визначити за формулою

$$C_{\text{рівн}} = \frac{Q_{\text{св}} \cdot C_{\text{св}}}{q_1 + q_2 + q_4}, \quad (3.1)$$

$$C_{\text{об}} = K_K \cdot C_{\text{св}}, \quad K_K = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3}.$$

На рисунку 3.2 зображена блок-схема, яка пояснює хід виконання роботи щодо вибору типу охолоджувача й визначення рівноважної концентрації забруднень в оборотній воді за даними таблиць 3.1–3.3.

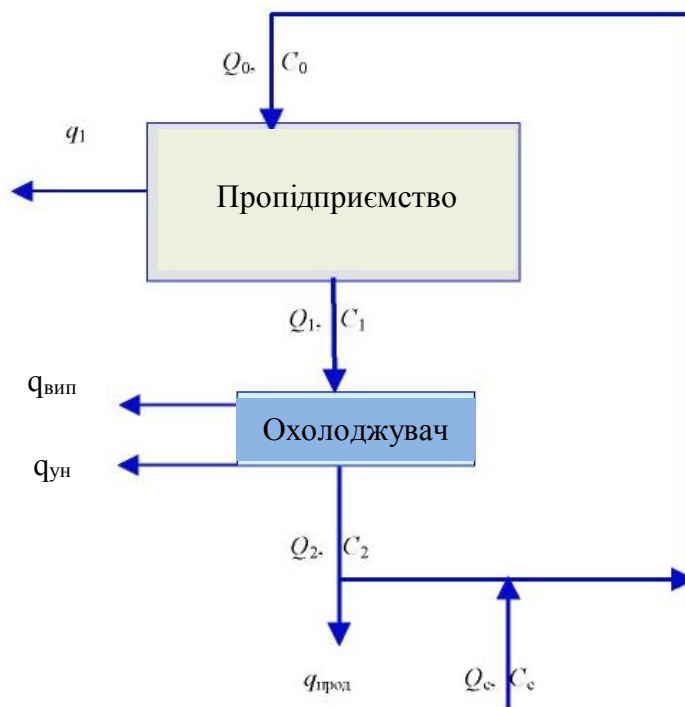


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема оборотної системи водопостачання підприємства («чистий цикл»):

Q – витрата води; C – концентрація забруднень (солеміст); q_1 – втрати води на виробництві; $q_{\text{ун}}$ – втрати води на бризковіднесення; $q_{\text{вип}}$ – втрати води на випаровування; $q_{\text{прод}}$ – втрати води на продувку; $Q_{\text{св}}$ – витрата свіжої води, що додається; $C_{\text{св}}$ – концентрація свіжої води, що додається

Подання результатів роботи

Звіт про проведену лабораторну роботу має містити:

1. Завдання й вихідні дані заданого варіанту з таблиць 3.1–3.3.

2. Результати визначення величин втрат води на охолоджувачах; необхідну витрату свіжої води, що додається; втрати води на продувку; рівноважну концентрацію.

3. Обґрунтування вибору типу охолоджувача за результатами проведених визначень.

Результати визначення зазначених даних рекомендується представити в табличному вигляді (за табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Форма результатів визначень з вибору типу охолоджувача

Тип охолоджувача	Втрати води, м ³ /добу		$q_{\text{прод}}$	Потрібна витрата свіжої води $Q_{\text{св}}$, м ³ /добу	Рівноважна концентрація (солевміст) в оборотній воді $C_{\text{рівн}}$, мг/л
	на охолодження				
	$Q_{\text{вин.вітр}}$	$Q_{\text{вип}}$			
Відкрита та бризкальна градирня	+	+	+	+	+
Баштова градирня без водоуловлювача	+	+	+	+	+
Баштова градирня з водоуловлювачем	+	+	+	+	+
Вентиляторна градирня з водоуловлювачем	+	+	+	+	+
Бризкальний басейн	+	+	+	+	+

Контрольні питання

1. Які Ви знаєте типи охолоджувачів?

2. На які види поділяють охолоджувачі залежно від способу відведення теплоти та залежно від способу підведення повітря до охолоджуваної води?

3. З чого складаються загальні втрати в системі охолодження?

4. У яких межах коливається значення коефіцієнта випаровування води?
Від чого він залежить?
5. Від чого залежать втрати води на віднесення вітром?
6. Як можна визначити рівноважну концентрацію солей в оборотній воді?
7. Як визначають потрібну витрату свіжої (підживлювальної) води в системі оборотного водопостачання?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 **ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ОБ'ЄМУ СКИДУ ВОДИ З ПРОДУВКОЮ** **ДЛЯ СИСТЕМИ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ** **«ЧИСТОГО ЦИКЛУ»**

Мета роботи: проаналізувати роботу системи оборотного водопостачання «чистого» циклу та визначити оптимальний об'єм скиду води з продувкою, що дозволить знизити рівень забруднень циркулюючої в системі води та попередити утворення щільних сольових відкладень.

Найбільшого поширення оборотні схеми отримали в теплообмінних циклах, де технологічну воду використовують для відведення тепла від працюючих агрегатів, а після використання охолоджують у градирнях, бризкальних басейнах, ставках-охолоджувачах.

У відкритих системах оборотного водопостачання відбуваються втрати води за рахунок випаровування її частини в охолоджувачах та через краплинне винесення вітром. У результаті випаровування втрачається в середньому 0,15 % охолоджуваної води при зниженні її температури на 1 °С. Втрати води в охолоджувачі залежать від типу охолоджувача, кліматичних умов, температур води на вході й виході з цеху і категорії водоспоживача.

Вважається, що в результаті випаровування частини води в охолоджувачі розчинені солі води, що випарилася, (повністю або частково) залишаються в оборотній воді, підвищуючи їх концентрацію. Повторне використання води з підвищеним солевмістом у виробничому процесі може призвести до відкладення солей (карбонатів кальцію) на стінках теплообмінної апаратури, погіршення їхніх технологічних параметрів і навіть виходу устаткування з ладу.

У системах водяного охолодження теплонавантажених елементів утворюються переважно відкладення карбонату кальцію при втраті вільної вуглекислоти через нагрівання води. При цьому відбувається розкладення бікарбонатних іонів HCO_3^- з утворенням карбонатних CO_3^{2-} , які реагують

з іонами Ca^{2+} і створюють малорозчинні з'єднання $CaCO_3$, що осаджуються на стінках трубопроводів:



Щоб забезпечити певний сольовий склад, в оборотній системі водопостачання «чистого циклу» передбачають за необхідності скид певної витрати води з підвищеним солевмістом (продувка системи) і додавання відповідної витрати свіжої води.

Завдання:

1. За заданим варіантом вихідних даних (див. табл. 3.1-3.2) зробити розрахунки оборотної системи водопостачання «чистого циклу» промислового підприємства з обраним типом охолоджувача в декількох варіантах, задаючись різною величиною продувки (від 0 % до 15 % від витрати води).

2. Визначити рівноважну концентрацію забруднень (солевміст) в оборотній воді на вході на підприємство при різних величинах продувки. Визначити оптимальну (мінімальну) величину продувки, при якій забезпечується рівність $C_{0(рівн)} = C_{доп}$

3. Визначити й нанести на схему показники якості й витрати води на кожній ділянці оборотної системи водопостачання при оптимальній (мінімальній) величині продувки.

Вихідні дані

Вихідні дані обирають за заданим варіантом за таблицями 3.1-3.2 лабораторної роботи № 3. У системі оборотного водопостачання приймають тип охолоджувача, вибраний у лабораторній роботі № 3.

Хід виконання роботи

Основні вимоги до оборотних систем водопостачання підприємств визначаються наступними граничними умовами:

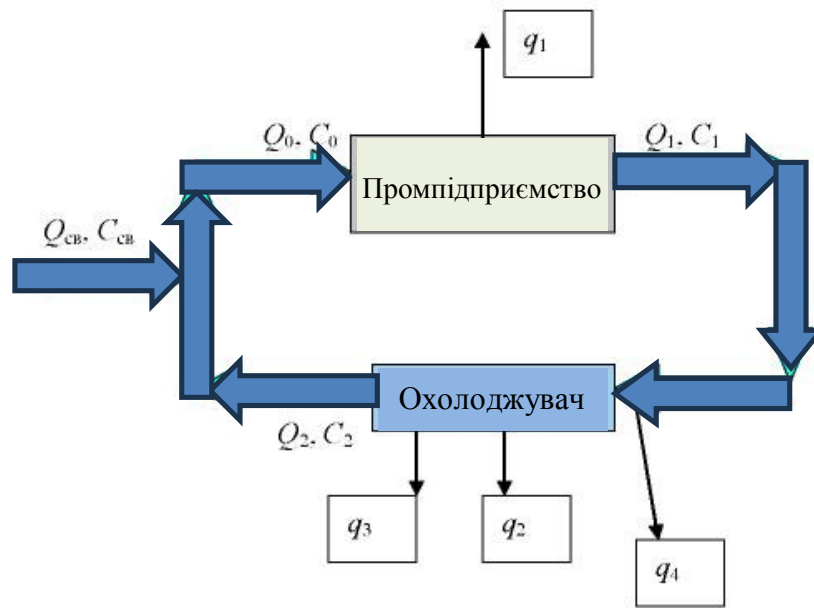
1. Витрата води, що подається на промпідприємство, має бути такою, що дорівнює нормативній витраті: $Q_0 = Q_{норм}$.

2. Концентрація забруднень в оборотній воді, що подається на промпідприємство, повинна відповідати нормам: $C_0 \leq C_{норм}$.

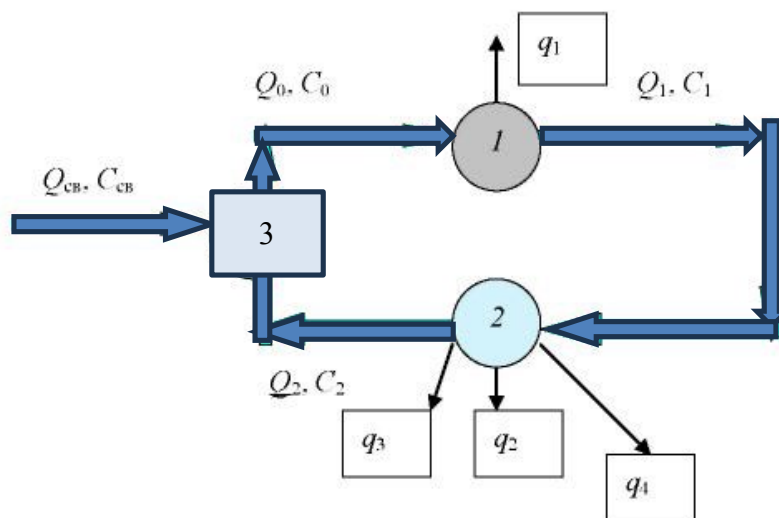
3. Сумарні витрати на реалізацію оборотної системи водопостачання мають бути мінімальними.

Останню умову приймають як умову оптимізації системи, що у рамках цієї роботи можна звести до вибору найбільш дешевого типу охолоджувача, мінімальних витрат свіжої води та об'єму продувки.

Технологічна схема й розрахункова блок-схема оборотної системи водопостачання підприємства («чистий цикл») показані на рисунку 4.1.



a



б

Рисунок 4.1 – Технологічна схема (*a*) і розрахункова блок-схема (*б*) оборотної системи водопостачання підприємства («чистий цикл»): Q_0 – об’єм водоспоживання підприємства (цеху); $Q_{св}$ – об’єм підживлювальної (свіжої) води; q_1 – втрати води у виробництві; q_2 – втрати води на бризковіднесення в охолоджувачі; q_3 – втрати води на випаровування в охолоджувачі; q_4 – витрата з продукцією; C – концентрація забруднень (мінеральних солей) в оборотній воді; C_i – солевміст свіжої (підживлювальної) води; 1 – підприємство, 2 – охолоджувач, 3 – насосна станція

Розрахунок системи оборотного водопостачання «чистого циклу» здійснюють на основі рівнянь водного й матеріального балансів.

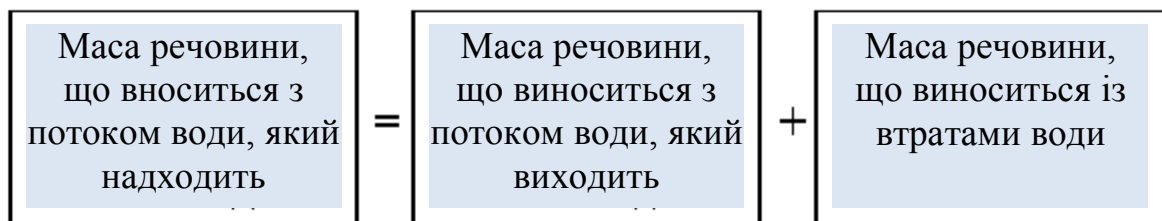
Рівняння водного балансу для певного вузла системи виглядає так:

$$Q_{вх\ddot{a}} = Q_{вих\ddot{a}} + \sum q_{втp}. \quad (4.1)$$

Витрата води змінюється на окремих ділянках системи, але залишається постійною за часом. З урахуванням першої граничної умови $Q_0 = Q_{норм}$ рівняння водного балансу для всієї системи оборотного водопостачання загалом буде таким:

$$Q_{св} = (q_1 + q_2 + q_3 + q_4) \quad (4.2)$$

Рівняння матеріального балансу для певного вузла системи в загальному вигляді:



Концентрація речовини в потоці оборотної води змінюється на різних ділянках системи (після охолоджувача, після змішання потоку оборотної води зі свіжою водою), а також за ділянками оборотної системи і за часом. Зокрема, солевміст оборотної води, що надходить у виробничий процес, C_0 може підвищуватися по циклах обороту води, поки не досягне рівноважної (постійної) величини $C_{0(р\ddot{a}вн)}$ при певних параметрах системи.

Для дотримання другої граничної умови ($C_0 \leq C_{норм}$) необхідно визначити рівноважну (максимальну) величину $C_{0(р\ddot{а}вн)}$, що не має перевищувати припустиму (нормативну) концентрацію.

Для визначення рівноважної концентрації речовини за солевмістом у потоці послідовно здійснюють розрахунок по вузлах системи й циклах обороту води, складаючи рівняння матеріального балансу в оборотній воді.

Послідовність розрахунків з визначення рівноважної концентрації $C_{0(р\ddot{а}вн)}$ наведено нижче.

1-й цикл обороту води в системі

Вузол 1

$$C_{0,0} Q_0 = C_{1,0} Q_1 + C_{1,0} q_1,$$

де $C_{0,0}$ – вихідна концентрація; $C_{1,0} = C_{0,0}$.

Вузол 2

$C_{2,0} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_4) C_{0,0} / Q_2$ – концентрація солей у воді після охолоджувачів.

Вузол 3

$C_{0,1} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_4) C_{0,0} / Q_0 + Q_{св} C_{св} / Q_0$ – концентрація солей у воді, що надходить у виробничий процес після 1-го циклу.

2-й цикл обороту води в системі

Вузол 1

$$C_{0,1} Q_0 = C_{1,1} Q_1$$

$C_{0,1}$ – вихідна концентрація (на початку 2-го циклу обороту); $C_{1,1} = C_{0,1}$.

Вузол 2

$C_{2,1} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_4) C_{0,1} / Q_2$ – концентрація солей у воді після охолоджувачів у 2-му циклі.

Вузол 3

$C_{0,2} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_4) C_{0,1} / Q_0 + Q_{св} C_{св} / Q_0$ – концентрація солей у воді, що надходить у виробничий процес після 2-го циклу обороту.

n-й цикл обороту

Вузол 1

$$C_{0,n-1} Q_0 = C_{1,n-1} Q_1$$

де $C_{0,n-1}$ – вихідна концентрація (на початку n-го циклу обороту); $C_{1,n-1} = C_{0,n-1}$.

Вузол 2

$C_{2,n-1} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_4) C_{0,n-1} / Q_2$ – концентрація солей у воді після охолоджувачів у n-му циклі.

Вузол 3

$C_{0,n} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_4) C_{0,n-1} / Q_0 + Q_{св} C_{св} / Q_0$ – концентрація солей у воді, що надходить у виробничий процес після n-го циклу обороту.

Подання результатів роботи

Звіт про проведену лабораторну роботу має містити:

1. Завдання й вихідні дані за заданим варіантом (табл. 3.1-3.2).
2. Результати визначення величин витрат свіжої (підживлювальної) води й рівноважної концентрації $C_{0(рівн)}$ при різних величинах продувки (від 0 % до 15 % від Q_0) у табличній формі (табл. 4.1).
3. Графік залежності рівноважної концентрації забруднень в оборотній воді $C_{0(рівн)}$ за солемістом при різних величинах продувки (від 0 % до 15 % від Q_0). За графіком визначити оптимальну (мінімальну) величину продувки системи, при якій забезпечується рівність $C_{0(рівн)} = C_{доп}$.
4. Схему оборотної системи водопостачання з нанесенням показників якості й витрат води на кожній ділянці при мінімальній величині продувки.

Таблиця 4.1 – Форма результатів визначення рівноважної концентрації забруднень $C_{0(рівн)}$

Величина продувки системи $q_{прод}$, % від Q_0	Потрібна витрата свіжої (підживлювальної) води $Q_{св}$, м ³ /добу	Рівноважна концентрація (солеміст) в оборотній воді $C_{0(рівн)}$, мг/л
0	+	+
1	+	+
2	+	+
3	+	+
4	+	+

Контрольні питання

1. Основні проблеми оборотних систем водопостачання.
2. Яким чином можна стабілізувати склад оборотної води?
3. Чому дорівнюють втрати води під час охолодження для різних типів охолоджувачів? Від чого залежать втрати води в охолоджувачі?

4. Чи доцільно застосовувати продувку системи у випадку, якщо карбонатна твердість підживлювальної води значно вища за карбонатну твердість води у системі?

5. Як змінюється величина коефіцієнту упарювання при зменшенні величини продувки або за її відсутності у системі оборотного водопостачання?

6. Як впливає зменшення продувки на режим роботи оборотних систем охолодження?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ВОДИ

Мета роботи: оволодіння методикою визначення основних показників якості води: різних видів твердості (загальної, карбонатної, кальцієвої), лужності води, вмісту хлоридів у воді.

1 Визначення твердості води

Загальні відомості

Твердість води характеризується вмістом у ній іонів кальцію й магнію та виражається в мг-екв/л або мкг-екв/л (нагадаємо, що 1 л = 1 дм³).

У природних умовах солі кальцію і магнію заходять у воду внаслідок взаємодії розчиненого в ній оксиду карбону (IV) з карбонатними мінералами (доломітами, вапняками) і вивітрювання та розчинення гірських порід. Джерелом іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} є також стічні води; поверхневий стік із сільськогосподарських угідь, які обробляли мінеральними добривами, що містять кальцій; мікробіологічні процеси, які відбуваються в ґрунтах, донних відкладеннях.

Твердість води – один з найважливіших її показників. Використання твердої води може сприяти протіканню небажаних процесів, які пов'язані з утворенням на поверхні споруд і технологічної апаратури парових котлів, систем водяного охолодження, трубопроводів щільних осадів, які зменшують теплообмін, забивають трубопроводи. Наявність осадів, перегрів систем, тріщини – все це може призвести до корозії металів інженерних споруд. Тому одним з найважливіших етапів водопідготовки є пом'якшення води, тобто видалення із неї тих продуктів, які обумовлюють твердість.

Розрізняють карбонатну, некарбонатну, кальцієву, магнієву та загальну твердість.

Кальцієва твердість (T_{Ca}) зумовлена наявністю солей кальцію.

Магнієва твердість (T_{Mg}) зумовлена наявністю солей магнію.

Загальна твердість ($T_{заг}$) – це сума кальцієвої і магнієвої твердості:

$$T_{заг} = T_{Ca} + T_{Mg} = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] \quad (5.1)$$

Карбонатна твердість води – T_K характеризується вмістом у ній іонів кальцію та магнію, пов'язаних з бікарбонат-іоном (HCO_3^-) і карбонат-іоном (CO_3^{2-}).

Некарбонатна твердість води $T_{нк}$ відповідає вмісту в ній всіх інших іонів кальцію й магнію, пов'язаних із хлор-іонами, сульфат-іонами і нітратами-іонами ($CaCl_2$, $MgCl_2$, $CaSO_4$, $MgSO_4$). Її ще називають постійною твердістю.

Реактиви

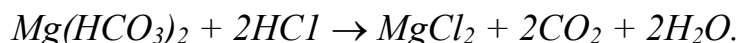
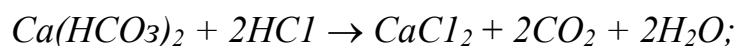
1. Аміачний буферний розчин (до 10 г хлориду амонію NH_4Cl доливають 50 мл 25 %-го розчину аміаку NH_4OH і доводять загальний об'єм розчину до 500 см³).

2. Еріохром чорний – індикатор (до 0,5 г індикатора доливають 10 мл аміачного буферного розчину і доводять загальний об'єм розчину етиловим спиртом до 100 мл).

3. Трилон Б – 0,1 н. розчин (навіску 18,6 г трилону розчиняють у дистильованій воді, переносять у мірну колбу на 1 000 мл та доводять до позначки).

Визначення карбонатної твердості води

Спосіб заснований на титруванні бікарбонатів кальцію й магнію соляною кислотою в присутності індикатора метилоранжу. При цьому протікають такі реакції:



При титруванні необхідно інтенсивно перемішувати розчин. Закінчення реакції визначається за переходом золотаво-жовтого фарбування у помаранчеве. Перехід фарбування повинен відбутися від краплі кислоти, що впала в розчин останньою.

100 мл профільтрованої води наливають у конічну колбу ємністю 250–300 мл і, додавши 2–3 краплі метилоранжу, титрують 0,1 н. розчином соляної кислоти до переходу золотаво-жовтого фарбування у помаранчеве.

Визначення загальної твердості води комплексометричним способом

Комплексометричний спосіб визначення твердості води заснований на здатності трилону Б утворювати міцні комплексні з'єднання з іонами кальцію і магнію. Титрування розчином трилону Б здійснюється в присутності спеціального індикатора, що міняє своє фарбування після того, як трилон Б зв'яже всі іони кальцію й магнію. Як індикатор може застосовуватися еріохром чорний ET-00.

Хід визначення

До 100 мл досліджуваної води, відміряної циліндром у конічну колбу ємністю 250 мл, доливають 5 мл аміачно-буферного розчину для створення потрібного лужного середовища. Нагріти на плитці до 60–70 °С (до появи помітної пари над поверхнею розчину). Потім додати 6–7 крапель розчину індикатора еріохрому чорного, що утворює з іонами кальцію та магнію комплекси червоно-малинового кольору. Як індикатор можна використовувати «хром темно-синій» на кінчику шпателя. За наявності Ca^{2+} і Mg^{2+} розчин забарвлюється у червоно-малиновий колір. Цей розчин повільно титрують 0,05 н. розчином трилону Б до зміни кольору на синяво-сірий. Це свідчить про те, що всі іони Ca^{2+} і Mg^{2+} зв'язані з трилоном Б. Під час титрування розчин у колбі потрібно інтенсивно перемішувати.

Загальну твердість, мг-екв/л, розраховують за формулою:

$$Ж_{заг} = \frac{V_1 \cdot N \cdot 100}{V}, \quad (5.2)$$

де V – об'єм розчину трилону Б, витраченого на титрування взятого об'єму досліджуваної води, мл;

V_1 – об'єм проби води, мл;

N – нормальність розчину трилону Б.

Некарбонатна твердість:

$$T_{нк} = T_{заг} - T_{к}, \quad (5.3)$$

де $Ж_{к}$ – карбонатна твердість (див. визначення лужності).

Поділ загальної твердості води на кальцієву та магнієву

У сильно лужному середовищі при $pH > 10,5$ магній виділяється з води у вигляді малорозчинного гідроксиду $Mg(OH)_2$. Кальцій може бути відтитрований «трилоном Б» з індикатором «мурексидом».

Хід визначення

Для визначення кальцієвої та магнієвої твердості у конічну колбу відміряти циліндром 10 мл досліджуваної води, додати 5 мл 2 н. розчину $NaOH$. Прилити 30 мл дистильованої води. На кінчику шпателя додати індикатор «мурексид» і титрувати розчином «трилону Б» при інтенсивному перемішуванні до переходу забарвлення від рожевого до фіолетово-синього.

Кальцієву твердість води, мг-екв/л, розраховують за формулою:

$$T_{Ca} = \frac{V_1 \cdot N \cdot 100}{V}, \quad (5.4)$$

де V – об'єм розчину «трилону Б», витраченого на титрування, мл;

V_1 – об'єм проби води, мл;

N – нормальність розчину трилону Б.

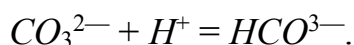
Магнієва твердість води:

$$T_{Mg} = T_{заг} - T_{Ca} \quad (5.5)$$

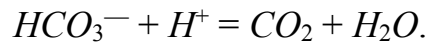
2 Визначення загальної лужності та карбонатної твердості

Загальні відомості

Загальна лужність води обумовлена присутністю іонів OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- . Іони OH^- та CO_3^{2-} титрують соляною кислотою в присутності індикатора фенолфталеїну (при $pH = 8,6$). Вони обумовлюють лужність води за фенолфталеїном. При титруванні води соляною кислотою в присутності фенолфталеїну відбуваються такі реакції:



Іони HCO_3^- титрують соляною кислотою в присутності індикатора метилового оранжевого (при $pH = 8,6$). Реакція, що при цьому відбувається, описується наступним рівнянням:



Якщо лужність за фенолфталеїном дорівнює нулю, то загальна лужність обумовлена присутністю тільки бікарбонатів HCO_3^- . Для переважної більшості природних вод іони HCO_3^- зв'язані тільки з Ca^{2+} і Mg^{2+} . Тому у тих випадках, коли лужність за фенолфталеїном дорівнює нулю, можна вважати, що загальна лужність води дорівнює її карбонатній твердості (за наявності у воді солей твердості).

Реактиви

1. Соляна кислота – 0,1 н. розчин (готується з фіксаналу).
2. Метиловий оранжевий – 0,1 %-ий розчин (1 г метилового оранжевого розчиняють в 1 л дистильованої води).
3. Фенолфталеїн – 0,5 %-ий розчин спиртовий (0,5 г фенолфталеїну розчиняють у 50 мл 96 %-го етилового спирту і додають 50 мл дистильованої води). У розчин по краплях додають 0,02 н. розчин NaOH до появи рожевого кольору.
4. Аміачний буферний розчин.
5. Індикатор хром темно-синій.
6. Трилон Б – 0,1 н. розчин.

Хід визначення

До 100 мл досліджуваної води, відміряної циліндром у конічну колбу ємкістю 200 мл, додають 2–3 краплі розчину фенолфталеїну. Якщо з'являється рожевий окрас, воду титрують 0,1 н. розчином соляної кислоти до знебарвлення. Потім у цю ж пробу додають 2–3 краплі розчину метилового оранжевого і продовжують титрувати розчином соляної кислоти до переходу з жовтого кольору у рожевий. Записують об'єм 0,1 н. розчину соляної кислоти, витраченої на титрування з фенолфталеїном, і загальний об'єм 0,1 н. розчину соляної кислоти, витраченої на титрування. Витрата кислоти M , мл відповідає величині загальної лужності води $L_{\text{заг}} = M$.

Загальну лужність води, $L_{\text{заг}}$, мг-екв/л, розраховують за формулою:

$$L_{\text{заг}} = \frac{V \cdot N \cdot 1000}{V_1} \quad (5.6)$$

де V – об’єм розчину соляної кислоти, витраченої на титрування взятого об’єму досліджуваної води, мл;

V_1 – об’єм проби води, мл;

N – нормальність розчину соляної кислоти.

Як проміжну розрахункову величину обчислюють лужність за фенолфталеїном, L_{ϕ} , мг-екв/л

$$L_{\phi} = \frac{V_2 \cdot N \cdot 1000}{V_1}, \quad (5.7)$$

де V_2 – об’єм розчину соляної кислоти, витраченої на титрування з фенолфталеїном.

При аналізі пом’якшеної (котлової) води спочатку пробу титрують з індикатором «фенолфталеїном» до знебарвлення розчину й витрату кислоти позначають Φ . Потім додають 2 краплі метилоранжу і дотитровують 0,1 н. кислотою до помаранчевого кольору, позначаючи витрату кислоти через MO . Загальна лужність такої води буде дорівнювати: $L_{\text{заг}} = \Phi + MO$.

Для котлової води обчислюють окремі форми лужності згідно з таблицею 5.1

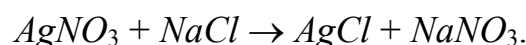
Таблиця 5.1 – Визначення форм лужності

Співвідношення Φ та MO	Гідрати $L_{\text{г}}$	Карбонати $L_{\text{к}}$	Бікарбонати $L_{\text{б}}$
$\Phi > 0, MO = 0$	Φ	0	0
$\Phi > MO$	$\Phi - MO$	$2MO$	0
$\Phi = MO$	0	$\Phi + MO$	0
$\Phi < MO$	0	2Φ	$MO - \Phi$
$\Phi = 0, MO > 0$	0	0	MO

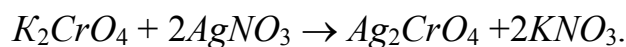
3 Визначення концентрації хлоридів у воді

Визначення вмісту хлоридів у воді здійснюється шляхом титрування води азотнокислим сріблом у присутності індикатора хромату калію (K_2CrO_4).

Реакція протікає в такий спосіб:



Після того, як усі хлориди будуть осаджені у вигляді хлористого срібла (помутніння розчину), індикатор з надлишковим азотнокислим сріблом утворює хромат срібла (Ag_2CrO_4), пофарбований у буро-червоний колір, що вказує на закінчення реакції.



Реактиви

1. Хромат калію – 10 %-ий розчин (50 г $KCrO_4$ ч. д. а. розчиняють у невеликому об'ємі двічі дистильованої води і додають розчин азотнокислого срібла до початку утворення червоного осаду. Після 2-годинного відстоювання розчин фільтрують і доводять двічі дистильованою водою до 500 мл).

2. Азотнокисле срібло – 0,1 н. розчин (15,29 г $AgNO_3$ ч. д. а, висушеного за температури 105 °С, розчиняють у двічі дистильованій воді і доводять до 1 л в мірній літровій колбі). Розчин зберігають у скляному бутилі з темного скла.

Хід визначення

Для визначення вмісту хлоридів до 100 мл досліджуваної води додають 5 крапель 10 %-го розчину індикатора – хромовокислого калію і титрують розчином азотнокислого срібла $AgNO_3$ до появи червоно-брунатного кольору. Замічають об'єм розчину азотнокислого срібла, витраченого на титрування.

Кількість хлоридів, мг/л, у досліджуваній воді розраховують за формулою:

$$C_{Cl} = \frac{V_1 \cdot E \cdot N \cdot 1000}{V_2}, \quad (5.8)$$

де V_1 – об'єм розчину азотнокислого срібла, витраченого на титрування взятого об'єму досліджуваної води, мл;

E – міліграм-еквівалент хлору (35,5);

V_2 – об'єм проби води, мл;

N – нормальність розчину азотнокислого срібла.

Контрольні питання

1. Що називається твердістю води, одиниці її вимірювання?
2. Які розрізняють види твердості води і якими солями вона зумовлена?

3. Наведіть формули солей, що обумовлюють кожен з видів твердості.
4. Чому карбонатну твердість називають тимчасовою?
5. Якими методами можна усунути карбонатну та некарбонатну твердість?
6. Як визначається карбонатна твердість води?
7. Якою має бути твердість води, яку використовують для питних потреб, згідно з ДержСанПіН 2.2.4-171-10?
8. Вмістом яких сполук зумовлюється лужність води?
9. Який метод аналізу використовується при визначенні лужності води?
10. У яких одиницях вимірюється лужність води?
11. Яке значення лужності рекомендовано ДержСанПіН для питної води?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ПОМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ РЕАГЕНТНИМ ТА ТЕРМІЧНИМ МЕТОДАМИ

Мета роботи: оволодіння методикою визначення карбонатної твердості, дослідження процесу пом'якшення води реагентним та термічним методами, визначення усуненої і залишкової твердості води.

У роботі необхідно визначити карбонатну твердість до та після кип'ятіння води та усунену твердість.

Загальні відомості

Для пом'якшення води використовують різні методи, основними з яких є термічний, реагентний та іонообмінний.

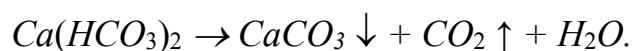
Термічне пом'якшення засновано на нагріванні води, її дистиляції або виморожуванні.

Реагентне пом'якшення води об'єднує методи, суть яких полягає у зв'язуванні іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} реагентами в нерозчинні речовини, що легко видаляються з води.

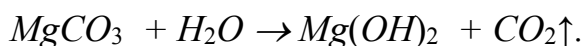
Іонний обмін заснований на фільтруванні води крізь спеціальні матеріали (іоніти), які обмінюють іони Na^+ і H^+ , що входять до їх складу, на іони Ca^{2+} і Mg^{2+} , які містяться у воді.

Термічний метод пом'якшення води

Карбонатна твердість майже повністю усувається кип'ятінням води, під час якого відбувається розпад гідрогенкарбонатів з утворенням карбонової кислоти. При цьому в осад випадають кальцію карбонат і магнію гідроксид:



При нагріванні води розчинена в ній вільна рівноважна карбонова кислота видаляється, що призводить до зміщення рівноваги в бік утворення карбонатів. Щодо гідрокарбонату магнію, то спочатку утворюється досить добре розчинний карбонат, який при тривалому кип'ятінні гідролізується з утворенням малорозчинного гідроксиду магнію:



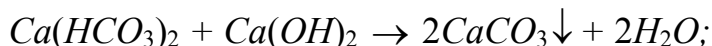
При кип'ятінні твердість води зменшується на величину карбонатної твердості, тому її називають тимчасовою.

Реагентний метод пом'якшення води

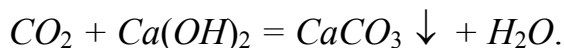
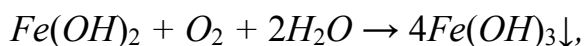
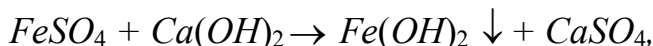
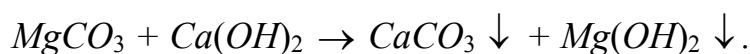
Залежно від того, який реагент використовують для пом'якшення води, розрізняють такі способи: вапняний (гашене вапно), содовий (кальцинована сода), їдконатровий (гідроксид натрію) і фосфатний (тринатрійфосфат). Найбільш економно застосовувати комбінований засіб, бо він забезпечує усунення тимчасової і постійної твердості, а також зв'язування CO_2 , видалення іонів заліза, коагулювання органічних та інших домішок. Одним з таких способів є вапняно-содовий у поєднанні з фосфатним.

Процес пом'якшення ґрунтується на таких реакціях:

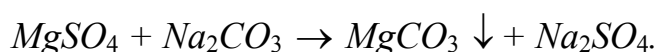
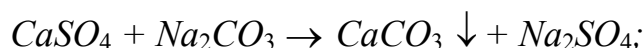
1. Обробка води гашеним вапном для усунення карбонатної (тимчасової) твердості, видалення іонів заліза і зв'язування CO_2 :



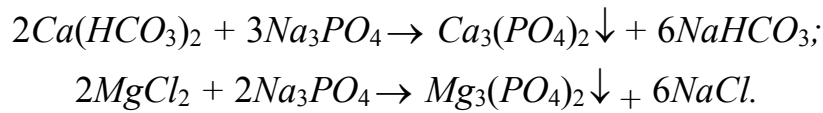
При надлишку вапна карбонат магнію взаємодіє з ним з утворенням гідроксиду магнію, що випадає в осад:



Обробка води кальцинованою содою для усунення некарбонатної (постійної) твердості:



Обробка води тринатрійфосфатом для більш повного осадження катіонів Ca^{2+} і Mg^{2+} (розчинність фосфатів кальцію і магнію мізерно мала, що забезпечує високу ефективність фосфатного методу):



Визначення усуненої та залишкової карбонатної твердості води

Реактиви

1. Соляна кислота – 0,1 н. розчин (готується з фіксаналу).
2. Метилловий оранжевий – 0,1 %-ий розчин (1 г метилового оранжевого розчиняють у 1 л дистильованої води).

Хід визначення

До 100 мл досліджуваної води, відміряної циліндром у конічну колбу ємністю 200 мл, додають 2–3 краплі розчину метилового оранжевого до появи жовтого забарвлення. Потім титрують 0,1 н. розчином соляної кислоти до переходу з жовтого кольору у золотисто-рожевий. Записують об'єм 0,1 н. розчину соляної кислоти, витраченої на титрування.

$$Ж_{к} = \frac{V_{HCl} \cdot N \cdot 1000}{V}, \text{ мг-екв/л.} \quad (6.1)$$

де V – об'єм розчину соляної кислоти, витраченого на титрування взятого об'єму досліджуваної води, мл;

V – об'єм проби води, мл;

N – нормальність розчину соляної кислоти.

Виконуємо кип'ятіння води. При цьому твердість води зменшується на величину карбонатної твердості.

Потім ще раз титруємо воду після кип'ятіння і записуємо об'єм соляної кислоти, витраченої на титрування води після кип'ятіння. Ще раз розраховуємо твердість води

$$Ж_{к.залиш} = \frac{V_{2HCl} \cdot N \cdot 1000}{V}, \text{ мг-екв/л.} \quad (6.2)$$

Усунена твердість

$$Ж_{к.усун} = \frac{(V_{1HCl} - V_{2HCl}) \cdot N \cdot 1000}{V}, \text{ мг-екв/л.} \quad (6.3)$$

Отримані дані заносимо у таблицю:

№ з/п	V_{H_2O} , мл	N_{HCl} , мг-екв/л	V_{1HCl} , мл	V_{2HCl} , мл	$Ж_{к}$, мг- екв/л	$Ж_{к.залиш}$, мг-екв/л	$Ж_{к.усун}$, мг-екв/л

Контрольні питання

1. Які способи пом'якшення води Ви знаєте?

2. У чому полягає суть реагентного способу пом'якшення води? Які реагенти використовують для усунення карбонатної, некарбонатної твердості?

3. Як розрахувати кількість розчину реагенту, необхідного для пом'якшення води об'ємом V ?

4. У чому полягає суть термічного методу пом'якшення води?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ ОБМІННОЇ ЄМНОСТІ КАТІОНІТУ КУ-2 ДО ПРОСКАКУВАННЯ У ФІЛЬТРАТ ІОНІВ Ca^{2+}

Мета роботи: навчитися визначати динамічну обмінну ємність катіоніту КУ-2 до проскакування у фільтрат іонів Ca^{2+} за схемою Na -катіонування водного розчину $CaCl_2$, дослідити регенерацію катіоніту натрій хлоридом і відмивку його дистильованою водою.

1 Фізико-хімічні основи процесу

Сутність іонного обміну засновано на здатності іонообмінних матеріалів, або іонітів, поглинати з розчину електроліту катіони (аніони) в обмін на еквівалентну кількість іонів іоніту.

Умовно іоніт можна розділити на три складові частини:

- 1) матриця (каркас);
- 2) фіксовані іони, що закріплені на матриці, які не здатні перейти фази іоніту у зовнішній розчин;
- 3) протиіони (обмінні іони) іоніту, кількість яких еквівалентна до кількості фіксованих іонів, які протилежні їм за знаком.

Ці іони здатні перейти у зовнішній розчин в обмін на еквівалентну кількість інших іонів того самого знаку, які надходять в іоніт із зовнішнього розчину.

За природою матриці іоніти поділяють на неорганічні (мінеральні) та органічні, які своєю чергою бувають природними і штучними (синтетичними).

За зовнішнім виглядом і ступенем дисперсності іоніти поділяють на порошкоподібні, зернисті, гранульовані, формовані, волокнисті, рідкі.

За ступенем пористості іоніти бувають гелеві, ізопористі і макропористі (мезопористі).

За типом і знаком протиіонів іоніти поділяють на такі:

- катіоніти, здатні до обміну катіонів;
- аніоніти, здатні до обміну аніонів;

– амфоліти, здатні залежно від умов середовища до обміну як катіонів, так і аніонів.

Катіони можуть перебувати у водневій (*H*-формі), сольовій (натрієвій, кальцієвій тощо) і змішаній формах.

Аніоніти можуть бути в гідроксидній (*OH*-формі), сольовій (хлоридній, сульфатній тощо) і змішаних формах.

Амфоліти бувають у воднево-гідроксильній, воднево-сольовій, гідроксильно-сольовій і сольовій формах.

Залежно від сили іоніту у водних розчинах розрізняють сильно-, середньо-, слабо- і дуже слабо іонізовані іоніти. Катіоніти поділяють на сильнокислотні (КУ-2, КУ-2-8, КУ-1 тощо), середньокислотні (КФ-1, КФ-2), слабокислотні (КБ-1, КБ-4 тощо) і дуже слабокислотні.

Аніоніти поділяють на сильноосновні (АВ-17 тощо), середньоосновні (ЕДЕ-10П, АВ-16), слабоосновні (АН-22, АН-2Ф тощо) і дуже слабоосновні.

Іонообмінні процеси використовують здебільшого для пом'якшення, знесолення та опріснення природних або стічних вод.

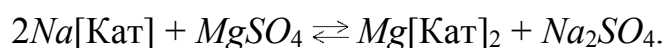
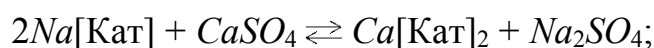
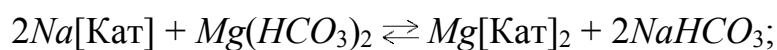
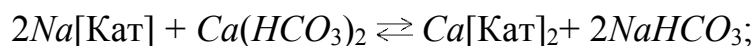
Процес обробки води методом іонного обміну, в результаті якого відбувається обмін катіонів, називається катіонуванням. Існують такі види катіонування:

1) *Na* – катіонування (одноступеневе і двоступеневе);

2) *H-Na* – катіонування (паралельне та послідовне).

Натрій-катіонітовий (*Na*-катіонітовий) метод використовують для пом'якшення поверхневих та підземних вод із вмістом завислих речовин не більше за 5–8 мг/дм³ і забарвленістю до 30 град. Твердість води може бути знижена при одноступеневому *Na*-катіонуванні до 0,03–0,05 мг-екв/дм³, при двоступеневому – до 0,01 мг-екв/дм³.

При фільтруванні води через шар *Na*-катіоніту відбуваються такі реакції обміну:



Швидкість іонного обміну залежить від валентності іонів, їх заряду, ступеня гідратації тощо. Чим більше заряд катіонів, тим більше їх енергія входження в катіоніт. Ця закономірність змінюється при збільшенні концентрації катіонів (наприклад, при пропусканні через катіоніт концентрованого розчину натрій хлориду).

Для катіонів однакової валентності енергія входження в катіоніт залежить від ступеня їхньої гідратації: енергія входження H^+ у 17 разів більша, ніж у Na^+ , і в 4 рази більша, ніж у Ca^{2+} .

Основною характеристикою іонів є обмінна ємність – кількість функціональних активних груп в одиниці маси або об'єму іоніту, які можуть обмінюватися протягом циклу фільтрування. Обмінну ємність іоніту виражають у мг·екв/дм³, мг–екв/г тощо.

Обмінна ємність буває статичною (СОЄ) і динамічною (ДОЄ).

Статистична обмінна ємність – це кількість іонів, яка поглинається одиницею маси або об'єму іоніту в статичних умовах до встановлення рівноваги.

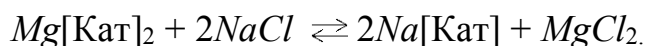
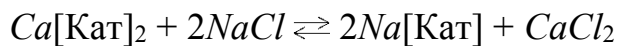
Кількість іонів, яка поглинається одиницею маси або об'єму іоніту в динамічних умовах, тобто при фільтруванні розчину крізь шар іоніту до проскакування у фільтрат іонів, які вилучаються, складає динамічну обмінну ємність до проскакування (ДОЄ пр). ДОЄ пр. є деякою частиною статичної ємності іоніту.

Після проскакування іонів у розчин концентрація їх у фільтраті поступово підвищується і, нарешті, практично досягає вихідної концентрації цих іонів у розчині. Тоді ємність іоніту досягає так званої повної динамічної обмінної ємності (ПДОЄ), яка також не дорівнює статичній ємності.

Після виснаження робочої обмінної ємності катіоніт регенерують. Для регенерації H -катіонітових фільтрів використовують 1–1,5 % розчин сульфатної кислоти. Більшу концентрацію H_2SO_4 приймати не рекомендується, оскільки при цьому на зернах катіоніту і у щілинах дренажу можливе осадження гіпсу. Швидкість перепускання регенераційного розчину H_2SO_4 через шар H -катіоніту становить 5 м/год.

Регенерацію *Na*-катіонітових фільтрів проводять розчином натрію хлористого з масовою часткою 5–8 % [8, 9]. Швидкість фільтрування розчину *NaCl* через катіоніт приймають такою, що дорівнює 3–4 м/год.

У процесі регенерації відбуваються реакції :



Натрій хлористий використовується для регенерації через те, що він доступний, а також тому, що утворюються добре розчинні солі *CaCl₂* і *MgCl₂*, які легко видаляються з регенераційним розчином і відмивочною водою.

2 Обладнання та розчини

Бюретки ємкістю 25 см³.

Колби конічні широкогорлі ємкістю 250 см³.

Колби конічні ємкістю 250 см³.

Секундомір.

Склянки ємкістю 1,2 дм³.

Скляний фільтр з пористою скляною пластиною, засипаний катіонітом КУ-2 в *Na*-формі.

Піпетки ємкістю 1, 2, 5 см³.

Піпетки Мора ємкістю 100 см³.

Фільтрувальний папір.

Циліндри ємкістю 5, 50, 500 см³.

Вода дистильована.

Натрій хлорид (*NaCl*), розчин з масовою часткою 8 %.

Кальцій хлорид (*CaCl₂*), розчин з концентрацією 0,003 5 н. (*N*).

Розчин індикатора метилоранжу.

Розчин індикатора фенолфталеїну.

Натрій гідроксид (*NaOH*), розчин з масовою часткою 4 %.

Натрій гідроксид (*NaOH*), розчин з концентраціями 1 ; 2 моль/дм³.

Трилон *B* (комплексон III – динатрій етилендіамін тетраацетат), розчин з концентрацією 0,02 моль/дм³.

Індикатор мурексид (суміш із сіллю $NaCl$).

Сульфатна кислота, H_2SO_4 розчин з концентрацією 0,5 моль/дм³.

Калій хромат(VI) (K_2CrO_4), розчин з концентрацією 1 моль/дм³.

Аргентум нітрат (V) ($AgNO_3$), розчини з концентраціями 0,1; 0,05 і 0,02 моль/дм³.

3 Приготування розчинів

1. Кальцій хлорид ($CaCl_2$), розчин з концентрацією 0,003 5 н. (N).

Молекулярна маса $CaCl_2$ становить: $M_{CaCl_2} = 40,08 + 35,5 \cdot 2 = 111,08$ г/моль.

Молярна маса еквівалента Cl^- : $M(Cl^-) = \frac{111,08}{1 \cdot 2} = 55,54$ г-екв/моль

1 н. $CaCl_2$ – 55,54г $CaCl_2$

$$x = \frac{0,0035 \cdot 55,54}{1} = 0,1944 \text{ г } CaCl_2$$

0,0035 $CaCl_2$ – x г $CaCl_2$.

У мірну колбу ємкістю 1 дм³ вносять 0,194 4 г $CaCl_2$, розчиняють у дистильованій воді і доводять до мітки дистильованою водою, перемішують.

2. Натрій гідроксид ($NaOH$), розчини з концентраціями 1 моль/дм³; 2 моль/дм³.

Молекулярна маса $NaOH$ – 40 г/моль.

У мірну колбу ємкістю 1 дм³ вносять наважку $NaOH$ у кількості 40 г, розчиняють її у дистильованій воді, яка не містить карбонатної кислоти, і доводять до мітки тією ж дистильованою водою, перемішують. Таким чином готують розчин $NaOH$ з концентрацією 1 моль/дм³.

Дистильована вода, яка не містить карбонатної кислоти, готується таким чином. Дистильовану воду в колбі нагрівають до кипіння і кип'ятять протягом 30 хвилин (до появи великих бульбашок). Потім воду охолоджують, а колбу закривають корком, у який вставлена скляна трубка, що з'єднана за допомогою гумової трубки із промивною склянкою. Склянка містить розчин натрій гідроксиду або калій гідроксиду з масовою часткою 20 %.

Розчин $NaOH$ зберігається в поліетиленовому посуді. Розчин $NaOH$ з концентрацією 2 моль/дм³ готується так, як і розчин $NaOH$ з концентрацією 1 моль/дм³, але замість 40 г $NaOH$ береться наважка $NaOH$ у кількості 80 г.

3. Трилон B (комплексон III), розчин з концентрацією 0,02 моль/дм³.

Спочатку готується розчин Трилону B з концентрацією 0,05 моль/дм³, для чого 18,62 г Трилону B розчиняють у дистильованій воді в мірній колбі ємкістю 1 дм³ і доводять об'єм дистильованою водою до мітки. Розчин перемішують. Розчин Трилону B з концентрацією 0,02 моль/дм³ готують точним розбавленням водою (400 см³ Трилону B доводять до мітки дистильованою водою в мірній колбі ємкістю 1 дм³).

Розчин зберігають у поліетиленових посудинах.

4. Індикатор мурексид (суміш із сіллю $NaCl_2$).

Змішують 0,2 г мурексиду із 100 г сухого хлористого натрію, попередньо розтертого у фарфоровій ступці. Індикатор зберігають у скляному посуді.

5. Сульфатна кислота (H_2SO_4), розчин з концентрацією 0,5 моль/дм³.

У мірну колбу ємкістю 1 дм³ наливають дистильовану воду, додають у воду, обережно при перемішуванні, відміряну кількість концентрованої сульфатної кислоти і доводять об'єм розчину водою до мітки.

Об'єм (кількість) концентрованої H_2SO_4 , необхідної для приготування 1 дм³ розчину з концентрацією 0,5 моль/дм³, визначається за ГОСТ 25 794.1-83 «Реактивы. Методы приготовления титрованных растворов для кислотно-основного титрования» таким чином:

при густині концентрованої сульфатної кислоти $\rho = 1,830$ г/см³ її необхідно $V = 14,5$ см³, а при $\rho = 1,835$ г/см³ – $V = 14,3$ см³.

6. Калій хромат(VI) (K_2CrO_4), розчин з концентрацією 1 моль/дм³.

Молекулярна маса K_2CrO_4 – $M = 39,01 \cdot 2 + 52 + 16 \cdot 4 = 194,19$ г/моль.

У мірну колбу ємкістю 1 дм³ вносять 194,19 г K_2CrO_4 , розчиняють у дистильованій воді, доводять до мітки дистильованою водою, перемішують.

7. Аргентум нітрат (V) ($AgNO_3$), розчини з концентраціями 0,1; 0,05 і 0,02 моль/дм³.

Молекулярна маса $AgNO_3$ – $M = 169,87$ г/моль.

17 г $AgNO_3$ розчиняють у дистильованій воді у мірній колбі ємкістю 1 дм³, доводять до мітки дистильованою водою, перемішують. Таким чином готують розчин $AgNO_3$ з концентрацією 0,1 моль/дм³. Розчини $AgNO_3$ з концентраціями 0,05 моль/дм³ і 0,02 моль/дм³ готують точним розбавленням водою розчину $AgNO_3$ з концентрацією 0,1 моль/дм³.

Розчини зберігаються в посудинах із темного скла тривалий час.

4 Порядок виконання роботи

1) Встановлення швидкості фільтрування.

Роботу з іонітом починають тільки тоді, коли він набухне. Для цього іоніт заливають дистильованою водою на 24 години. Рівень води над катіонітом повинен становити до 5 см. Після 24 годин набухання з іоніту видаляють воду. Через скляний фільтр (5), завантажений катіонітом (6), який розташовано на пористій скляній пластинці (7), зверху вниз пропускають дистильовану воду із склянки (1) в мірний циліндр (8) ємністю 500 см³. Швидкість витікання води регулюється запірними кранами (2) та (4) при відкритому нижньому крані (7) (див. рис. 7.1). Секундоміром вимірюється час витікання 500 см³ дистильованої води.

Об'ємні витрати води визначаються за формулою:

$$V = \frac{V_1}{\tau}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (7.1)$$

де V_1 – об'єм води, що витікає, м³;

τ – час витікання води, год.

Швидкість фільтрування визначається за формулою:

$$\omega = \frac{V}{F}, \text{ м/год}, \quad (7.2)$$

де F – площа перерізу скляного фільтра, м², яка знаходиться за формулою:

$$F = 0,785d^2, \text{ м}^2, \quad (7.3)$$

де d – внутрішній діаметр скляного фільтра, м.

2) Фільтрування розчину ($CaCl_2$).

2 дм³ розчину кальцій хлориду ($CaCl_2$) з концентрацією 3,5 мг-екв/дм³ фільтрують через катіонітовий фільтр КУ-2 у Na -формі зі швидкістю 4 м/год. Для цього до скляного фільтра (5) під'єднується склянка (1) з розчином $CaCl_2$, відкриваються запірні крани (2) і (4) та нижній кран (8). Фільтрат збирається порціями по 250 см³ у широкогорлих конічних колбах ємністю 250 см³.

У пробах фільтрату визначається вміст іонів кальцію (Ca^{2+}), але перед цим необхідно провести нейтралізацію проб пом'якшеної води.

3) Нейтралізація пом'якшеної води.

Із пом'якшеної порції води об'ємом 250 см³ відбирають 5 см³ в циліндр ємністю 5 см³ і додають 2–3 краплі метилоранжу. Якщо вода в циліндрі забарвлюється у жовтий колір, то воду в колбі можна використовувати для визначення вмісту іонів кальцію.

У тому випадку, коли проба в циліндрі забарвлюється в червоний або оранжевий колір, у пробу води ємністю 250 см³ додають 2–3 краплі розчину натрій гідроксиду, з масовою часткою 4 %, і перемішують. У нейтралізованій пробі води знову визначають кислотність середовища за допомогою метилоранжу, як описано вище. Нейтралізацію продовжують до тих пір, доки при додаванні у воду метилоранжу не з'явиться жовте забарвлення.

4) Регенерація катіоніту розчином натрій хлориду ($NaCl$).

Регенерація катіоніту проводиться розчином натрій хлориду ($NaCl$), з масовою часткою 8 %, зі швидкістю 4 м/год. Для цього до скляного фільтра (5) під'єднується склянка (1) з розчином $NaCl$. Фільтрат збирається порціями по 150 см³ у конічних колбах ємністю 250 см³.

У пробах фільтрату визначається вміст іонів кальцію. Регенерацію проводять до тих пір, доки у фільтраті вміст іонів кальцію буде не більш ніж 0,05 мг–екв/дм³.

Відмивка катіоніту дистильованою водою

Відмивка катіоніту дистильованою водою проводиться зі швидкістю 4 м/год. Для цього до скляного фільтра (5) під'єднується склянка (1)

з дистильованою водою. Фільтрат збирається порціями по 250 см³. У пробах фільтрату визначається вміст хлоридів (*Cl*).

Відмивка катіоніту відбувається до тих пір, доки у фільтраті вміст хлоридів буде не більш ніж 130 мг/дм³.

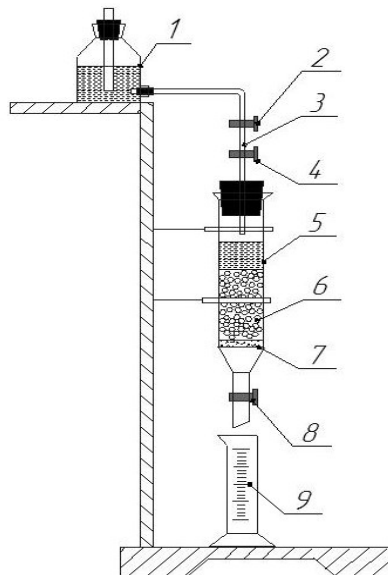


Рисунок 7.1 – Установка для визначення динамічної обмінної ємності катіоніту КУ-2 до проскакування у фільтрат іонів кальцію:

1 – склянка з розчином; 2 – запірний кран; 3 – з'єднувальний гумовий шланг; 4 – запірний кран; 5 – скляний фільтр; 6 – катіоніт;
7 – пориста скляна пластинка; 8 – нижній кран; 9 – мірний циліндр

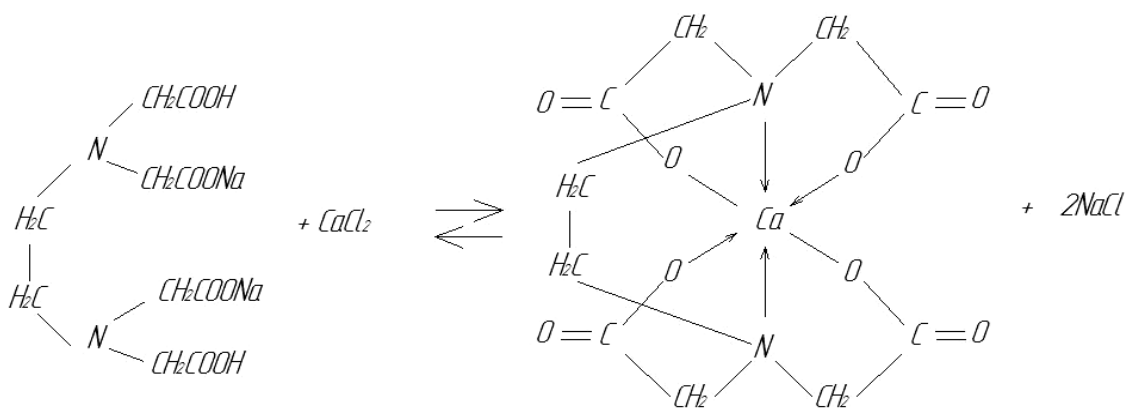
5 Методи контролю

1. Визначення іонів кальцію (Ca^{2+}) у фільтраті.

Метод визначення – комплексонометричний.

Метод ґрунтується на титруванні проби води (фільтрату) розчином динатрій етилендіамін тетраацетату (комплексон III або Трилон Б, скорочена формула Na_2H_2Y) у сильнолужному середовищі при $pH=12-13$ з мурексидом як металохромним індикатором.

Комплексон III (Трилон Б) утворює з іонами кальцію у сильнолужному середовищі комплексонат кальцію за реакцією:



Визначення іонів кальцію відбувається таким чином. У конічну колбу ємкістю 250 см³ піпеткою Мора відбирають 100 см³ фільтрату, додають 2 см³ розчину *NaOH* з концентрацією 2 моль/дм³ для створення *pH* = 12–13 і перемішують розчин. Потім у колбу додають 0,10–0,15 г суміші мурексиду із сіллю, перемішують і титрують робочим розчином Трилону Б із $C(1/2\text{H}_2\text{Y}^{2-}) = 0,02$ моль/дм³ до переходу забарвлення з рожевого у фіолетове.

Концентрація іонів кальцію визначається за формулою:

$$C = \frac{V_1 \cdot C \cdot M \cdot 1000}{V_2}, \text{ мг/дм}^3, \quad (7.4)$$

де V_1 – об’єм робочого розчину Трилону Б, витрачений на титрування, см³;

C – концентрація розчину Трилону Б, моль/дм³;

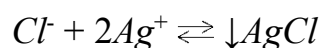
M – молярна маса еквівалента кальцію, г/моль, $M(1/2 \text{Ca}^{2+}) = 20,04$;

1000 – коефіцієнт перерахунку г у мг;

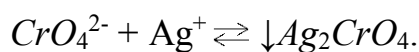
V_2 – об’єм проби води, см³.

2. Визначення хлоридів у фільтраті після відмивки катіоніту дистильованою водою.

Хлориди визначаються методом Мора. Титриметричне визначення хлоридів аргентометричним методом Мора ґрунтується на утворенні в нейтральному або слабколужному середовищі (*pH* = 7–10) малорозчинного осаду аргентум хлориду ($DP = 1,78 \cdot 10^{-10}$):



Для встановлення кінця титрування як індикатор використовують калій хромат(VI), який з надлишком іонів срібла утворює червоний осад – аргентум хромат(VI) ($DP = 1,1 \cdot 10^{-12}$):



Осад аргентум хлориду менш розчинний, ніж осад аргентум хромат(VI), а саме :

$$C_{AgCl} = [Ag^+] = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ моль/дм}^3;$$
$$C_{Ag_2CrO_4} = [CrO_4^{2-}] = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ моль/дм}^3.$$

Тому при додаванні іонів Ag^+ до розчину, у якому є іони Cl^- та CrO_4^{2-} , спочатку утворюється менш розчинний осад $AgCl$. Після його повного осадження, тобто коли рівноважна концентрація іонів аргентуму у насиченому розчині стає рівною $[Ag^+] \approx 1 \cdot 10^{-5}$ моль/дм³, утворюється більш розчинний червоний осад Ag_2CrO_4 .

Метод Мора застосовують для визначення хлоридів у воді при концентрації понад 2 мг/дм³.

Визначення хлоридів відбувається таким чином. У конічну колбу ємкістю 250 см³ піпеткою Мора відбирають 100 см³ фільтрату (або меншу кількість), доводячи її об'єм дистильованою водою до 100 см³.

Кислі або лужні проби нейтралізують розчином натрій гідроксиду з концентрацією 1 моль/дм³ або сульфатною кислотою з концентрацією 0,5 моль/дм³ по фенолфталеїну так, щоб після нейтралізації розчин був безбарвний. Проби з $pH = 7-10$ не потребують попередньої підготовки. У колбу з водою додають 1 см³ розчину калій хромат(VI) з концентрацією 1 моль/дм³ і титрують до зміни кольору від лимонно-жовтого до оранжевого, розчином аргентум нітрату (V) з концентраціями 0,1; 0,05 або 0,02 моль/дм³, залежно від концентрації хлоридів. Паралельно проводять холостий дослід з таким же об'ємом дистильованої води.

Концентрацію хлорид-іонів обчислюють за формулою:

$$C = \frac{(V_1 \cdot V_0) \cdot C \cdot M \cdot 1000}{V}, \text{ мг/дм}^3, \quad (7.5)$$

де V_1 та V_0 – об'єми робочого розчину аргентум нітрату (V), витрачені на титрування відповідно проби та дистильованої води, см³;

C – концентрація робочого розчину $AgNO_3$, моль/дм³;

M – молярна маса еквівалента Cl^- , г/моль, $M(Cl^-) = 35,45$;

V – об'єм проби фільтрату, см³;

1000 – коефіцієнт перерахунку г в мг.

6 Вимоги до звіту

1. У звіті викладають фізико-хімічні основи процесу; вказують посуд, обладнання і розчини, що використовують у лабораторній роботі; порядок виконання роботи; методи контролю.

2. На основі отриманих даних будують градувальний графік на міліметровому папері в координатах: об'єм розчину, який пройшов через Na -катіонітовий фільтр (V , дм³) – концентрація іонів кальцію у фільтраті (C_{CaCl_2} , мг·екв/дм³). Графік підписують так, як рисунок. Наприклад: Рисунок 2 – Графік залежності концентрації іонів кальцію від об'єму фільтрату. За графіком визначають об'єм фільтрату (сумарний об'єм) до проскакування у фільтрат іонів кальцію ($V_{пр}$). Проскокова концентрація іонів кальцію приймається більшою ніж 0,05 мг–екв/дм³.

3. Динамічна об'ємна ємність катіоніту КУ-2 до проскакування у фільтрат іонів кальцію визначається за формулою:

$$OE_{Na} = \frac{\sum V_1 \times C_{CaCl_2} \times 1000}{V}, \text{ г–екв/м}^3, \quad (7.6)$$

де $\sum V_1$ – сумарний об'єм фільтрату, дм³;

C_{CaCl_2} – концентрація розчину хлориду кальцію, мг–екв/дм³;

1000 – коефіцієнт перерахунку мг–екв в г–екв;

V – об'єм проби катіоніту, м³.

Об'єм проби катіоніту визначається за формулою:

$$V = \frac{m}{\rho}, \text{ см}^3, \quad (7.7)$$

де m – наважка катіоніту, г;

ρ – насипна густина катіоніту, г/см³.

Насипна густина катіоніту КУ-2 становить $\rho = 0,7 - 0,9$ г/см³.

У формулу (6.2) слід підставити середнє значення насипної густини катіоніту (0,8 г/см³). Наважка катіоніту КУ-2 становить 30 г.

4. Вихідні дані, дані, отримані експериментально, і розрахункові дані зводять в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1 – Результати визначення динамічної обмінної ємності катіоніту КУ-2 до проскакування у фільтрат іонів Ca^{2+}

№ проби	Кількість катіоніту m , г	Концентрація розчину $CaCl_2$, мг-екв/дм ³	Сумарна кількість фільтрату, $\sum V$, дм ³	Концентрація іонів кальцію $C_{Ca^{2+}}$ у фільтраті, мг/дм ³	DOE_{Na} , г-екв/м ³

За підсумками проведеної лабораторної роботи роблять висновки.

Контрольні питання

1. Що таке іоніти, їхня будова?
2. Що є кількісною характеристикою здатності іонітів до іонного обміну?
3. Назвіть види обмінної ємності. У яких одиницях виражається обмінна ємність ?
4. Що таке робоча обмінна ємність катіоніту?
5. Наведіть схему Na -катіонітового пом'якшення води.
6. Напишіть рівняння регенерації для Na -катіонітового фільтра.
7. Який метод використовується для визначення іонів кальцію (Ca^{2+}) у фільтраті?
8. Який метод застосовують для визначення хлоридів у воді при концентрації понад 2 мг/дм³?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

ОБРОБКА СТИЧНИХ ВОД ВІД РЕГЕНЕРАЦІЇ NA-КАТІОНІТОВИХ ФІЛЬТРІВ З МЕТОЮ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ

Мета роботи: вивчення процесу пом'якшення води на катіонітових фільтрах та виявлення можливості повторного використання обробленої (пом'якшеної) води у циклі регенерації *Na*-катіонітових фільтрів.

1 Загальні положення

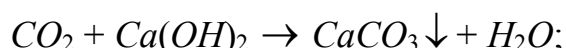
Відповідно до динаміки зміни хімічного складу стічних вод від регенерації *Na*-катіонітових фільтрів максимальна кількість *NaCl* виводиться з фільтра за перші 20 хв (95–97 %), за наступні 10–20 хвилин до завершення відмивання з фільтра виводяться лише 5–3 % *NaCl*.

Оскільки найбільш концентрована частина солей вимивається за перші 20 хв (загальна тривалість промивання *Na*-катіонітових фільтрів становить, як правило, 40–50 хв), пом'якшення стічних вод у цьому випадку здійснюється на усереднених пробах, відібраних за перші 20 хв відмивання (регенерації) фільтрів.

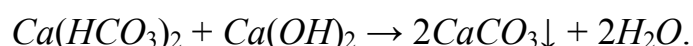
Технологія обробки (пом'якшення) найбільш концентрованої частини стічних вод від промивки *Na*-катіонітових фільтрів полягає у застосуванні содо-вапняного методу видалення солей постійної твердості і збереженні незмінної концентрації хлориду натрію. Сутність технології полягає в переведенні розчинених у воді солей кальцію й магнію у малорозчинні сполуки *CaCO*₃ і *Mg(OH)*₂, що випадають в осад.

При додаванні вапна відбуваються такі процеси:

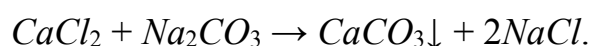
а) зв'язування розчиненої у воді вуглекислоти:



б) усунення карбонатної кальцієвої і магнієвої твердості:



Для усунення некарбонатної кальцієвої твердості зазвичай використовують соду, при введенні якої кальцій переходить в осад:



Специфічною особливістю такої обробки є надзвичайно високі концентрації солей твердості (від 40,0 мг-екв/л до 950 мг-екв/л), концентрація хлоридів – 6,5–190 г/л, загальний солевміст 1 500–4 500 мг/л.

Ця обставина потребує поетапної, а у низці випадків і багаторазової подачі розчину вапна в оброблювану воду, що обумовлено порівняно низькою розчинністю вапна.

2 Реактиви, посуд, апарати:

- аналітичні ваги;
- пристосування для титрування;
- скляні циліндри обсягом 200 см³ – 5 шт.;
- дистильована вода;
- Хлорид кальцію $CaCl_2$, сухий, для приготування імітату;
- Хлорид магнію $MgCl_2$, для приготування імітату;
- Хлорид натрію $NaCl$;
- гідроокис кальцію;
- сода;
- реактиви для визначення загальної лужності і карбонатної твердості (за методикою, наведеною у попередній роботі);
- реактиви для визначення вмісту хлоридів у воді (за методикою, наведеною у попередній роботі).

3 Хід роботи

Дослідження процесу пом'якшення здійснюється на воді, що імітує склад реальних стічних вод від регенерації Na -катіонітових фільтрів першого ступеня пом'якшення живильної води для парових казанів високого й середнього тиску на ТЕЦ.

1. Приготувати модельні розчини стічних вод від регенерації Na -катіонітових фільтрів з використанням хімічно чистих хлоридів кальцію, магнію й натрію, які необхідно розчинити в дистилаті. За допомогою хімічного аналізу потрібно визначити відповідність отриманих концентрацій необхідних компонентів розрахунковим величинам. Величина загальної твердості

у регенераційному розчині визначається методом трилонометрії з використанням індикатора – «хрому темно-синього».

2. Для реалізації процесу пом'якшення зазначених стічних вод за допомогою вапняно-содового методу спочатку слід розрахувати необхідні дози реагентів (кальцинованої соди (Na_2CO_3) і вапна $Ca(OH)_2$, виходячи зі стехіометричних співвідношень концентрацій вихідних речовин і речовин, що вводять.

3. Циліндри об'ємом 1 000 см³ заповнити досліджуваною водою й додати розчини кальцинованої соди (Na_2CO_3) і вапна $Ca(OH)_2$. Реагенти можна вводити двома способами – у вигляді розчинів або у сухому виді. Обробку води слід здійснювати послідовно. Спочатку додати розчин соди, а після завершення у воді хімічних реакцій вводити розчин вапна. З огляду на те, що сода добре розчинна у воді, а вапно погано розчинне, у процесі проведення досліджень соду рекомендується вводити одноразово у вигляді розчину, а вапно – додавати порційно. Рекомендується провести декілька серій експериментів при введенні вапна одноразово і при порційній подачі вапна в оброблювану воду.

4. Провести кілька серій експериментів – у першу колбу додати розрахункову кількість реагентів, у другу – надлишок на 10 %, наступні зробити з надлишком 15–20 % і нестачею реагенту на 10 % і 15–20 %. Після того, як постоїть 30 хв і випаде осад, відібрати верхній шар води, профільтрувати і визначити твердість, вміст солей кальцію та лужність.

5. Визначити ефективність процесу пом'якшення стічних вод шляхом аналізу оброблених вод на вміст концентрацій кальцію, магнію, сума яких є загальною жорсткістю, величину загальної лужності води, а також її складових (бікарбонатна, карбонатна й гідратна лужність), а також концентрацію хлоридів. Ефективність методу вважається достатньою при зниженні величин загальної твердості і лужності води відповідно до 2–3 мг-екв/л і 3–4 мг-екв/л.

6. Для порівняння провести серію дослідів з пом'якшення реальних стічних вод, відібраних у процесі відмивки Na -катіонітових фільтрів.

4 Обробка результатів досліджень

Експериментальні дані з пом'якшення стічних вод вапняно-содовим методом потрібно записати в таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 – Результати пом'якшення модельних розчинів стічних вод від регенерації *Na*-катіонітових фільтрів 1-го ступеня содо-вапняним методом

№ з/п	Хімічний склад модельних розчинів стічних вод		Доза реагента, г/л		Хімічний склад пом'якшеної води		
	Інгредієнти, один. вимір.	Концентрація	Вапно	Кальцин. сода	Cl , г/л	$T_{заг}$, мг-екв/л	Ca^{2+} , мг-екв/л
1	Cl , г/л $T_{заг}$, мг-екв/л Ca^{2+} , мг-екв/л Mg^{2+} , мг-екв/л						
2	Cl , г/л $T_{заг}$, мг-екв/л Ca^{2+} , мг-екв/л Mg^{2+} , мг-екв/л						
3	Cl , г/л $T_{заг}$, мг-екв/л Ca^{2+} , мг-екв/л Mg^{2+} , мг-екв/л						
4	Cl , г/л $T_{заг}$, мг-екв/л Ca^{2+} , мг-екв/л Mg^{2+} , мг-екв/л						

Контрольні питання

1. Яким методом визначають загальну твердість? Суть методу.
2. Яким методом визначають кальцієву твердість? Суть методу.
3. Які ви знаєте методи пом'якшення води?
4. Відповідь підтвердіть рівняннями хімічних реакцій.
5. Які реагенти використовують при пом'якшенні води методом осадження?

**З ЗМІСТ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЧАСТИНИ ДИСЦИПЛІНИ.
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ**

«ПРОМИСЛОВА ВОДОПІДГОТОВКА»

**ЗМ 1 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ЗВОРОТНИХ СИСТЕМ
ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ**

**Розділ 1 РОЛЬ ВОДИ У ПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ ТА
ОСОБЛИВОСТІ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ**

- 1.1 Особливості систем водопостачання промислових підприємств
- 1.2 Типи водоспоживання у виробництві
- 1.3 Джерела водопостачання
- 1.4 Основні схеми виробничого водопостачання та водовідведення
- 1.5 Витрати води на промислових підприємствах
- 1.6 Втрати води в оборотних циклах водопостачання
- 1.7 Вимоги споживачів до якості

Контрольні питання

1. Системи водопостачання промислових підприємств.
2. Види споживання води у виробництві.
3. Норми водопостачання.
4. Які вимоги ставляться до якості охолоджувальної води?
5. Які вимоги пред'являють до якості води, що використовується у оборотних системах технічного водопостачання.
6. Вимоги до якості води для живлення котлів різної конструкції та різного тиску.
7. Існуючі схеми використання води на промислових підприємствах.
8. Послідовно-оборотні системи водопостачання. Їх переваги перед прямоточними системами.
9. Ускладнення в роботі діючих систем водопостачання та водовідведення промислових підприємств.
10. Чим відрізняються замкнені системи водопостачання від оборотних?
11. Поняття коефіцієнта концентрування солей або коефіцієнта випаровування. Визначення K_k на підставі водного балансу системи.

12. Визначення коефіцієнта концентрування через сольовий баланс системи.

13. Водно-хімічний режим оборотних систем.

14. Поняття продувки й підживлення систем оборотного водопостачання.

15. Рівняння водно-сольового балансу.

16. Використання коефіцієнта концентрування добре розчинних солей для розрахунків водно-хімічного режиму роботи систем оборотного водопостачання.

Розділ 2 МЕТОДИ ВОДОПІДГОТОВКИ. ОСНОВНІ ТИПИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ВОДИ

2.1 Коагуляція і прояснення води. Фізико-хімічні основи процесу коагуляції

2.2 Фільтрування води. Освітлювальні фільтри

2.3 Хімічна обробка води. Реагентне пом'якшення води

2.4 Знекремнення води магnezіальними реагентами

2.5 Обробка води методом іонного обміну

2.6 Водопідготовка для джерел і систем тепlopостачання

2.6.1 Основні методи очищення води

2.6.2 Видалення з води розчинних газів

2.6.3 Опріснення води методом дистиляції. Загальні поняття й визначення

2.6.4 Накипоутворення. Види накипу, його властивості

Контрольні питання

1. Основні технологічні процеси й споруди, що використовують при підготовці води.

2. Від чого залежить вибір способу обробки води?

3. У чому полягає завдання попередньої очистки води.

4. Конструкція і принцип роботи безнапірних швидких кварцових і пінополістирольних фільтрів, напірних фільтрів.

5. У чому полягає сутність катіонообмінного методу пом'якшення води?

6. Які основні типи катіонообмінних матеріалів?

7. Опишіть хімізм катіонообмінного процесу.

8. Назвіть переваги й недоліки процесу *Na*-катіонування при його організації в один і два ступені.

9. Опишіть схему *Na*-катіонітового пом'якшення води.

10. Що таке повна й робоча обмінна ємкість катіоніту?

11. Опишіть *H*-катіонітове пом'якшення води.
12. Опишіть *H-Na*-катіонування води.
13. Як здійснюється процес регенерації іонітів?
14. Реагентний метод знекремнення води.
15. Опишіть установку для реагентного знекремнення води.
16. Вплив температури та інших показників на процес знекремнення води.
17. Що таке знесолення і опріснення води?
18. Сутність іонообмінного способу знесолення води.
19. У чому суть випарного способу знесолення води?
20. Опишіть одноступеневу випарну установку.
21. З якою метою організовують очистку води від розчинених газів?
22. Які існують типи дегазаторів?
23. Які реагенти використовують для хімічного зв'язування розчинених у воді O_2 і CO_2 ?

Розділ 3 ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДИ

3.1 Системи охолодження промислових агрегатів

3.2 Споруди для охолодження води

3.2.1 Водосховища-охолоджувачі

3.2.2 Бризкальні басейни

3.2.3 Класифікація градирень та їх конструкції

Контрольні питання

1. Наведіть класифікацію систем охолодження води.
2. Від чого залежить витрата охолоджувальної води?
3. У чому полягають переваги випарного охолодження порівняно з водяним?
4. У яких випадках виникає необхідність охолодження води на підприємствах?
5. Як відбуваються процеси охолодження в охолоджувачах?
6. Класифікація споруд для охолодження води за способом передачі тепла й підведення повітря.
7. Від чого залежить витрата охолоджувальної води?
8. За яких умов доцільне застосування водосховищ-охолоджувачів?
9. Переваги й недоліки застосування водосховищ-охолоджувачів і бризкальних басейнів.

10. Типи градирень.
11. Водорозподільні системи й зрошувальні устрої градирень.
12. Типи зрошувачів.
13. Як відбувається охолодження води в градирнях відкритого типу?
14. Конструкція та умови використання баштових градирень.
15. У яких випадках застосовують вентиляторні градирні?

Розділ 4 ЗАПОБІГАННЯ УТВОРЕННЮ КАРБОНАТНИХ ВІДКЛАДЕНЬ

4.1 Характер та причини утворення карбонатних відкладень у системах оборотного водопостачання

4.2 Теоретична оцінка стабільності води та практичні рекомендації щодо необхідності її обробки

4.3 Методи запобігання утворенню карбонатних відкладень

4.4 Дослідження термостабільності води та ефективності методів запобігання утворенню карбонатних відкладень

4.5 Розведення та освіження оборотної води

4.6 Підкислення води

4.7 Фосфатування води

4.8 Спільна обробка води підкисленням та фосфатуванням

4.9 Рекарбонізація оборотної води

4.10 Пом'якшення води, що додається до системи

4.11 Інші методи обробки води

Контрольні питання

1. Причини та види заростання труб і теплообмінних апаратів.
2. Поняття стабільності води, рівняння вуглекислотної рівноваги.
3. Визначення стабільності води.
4. Назвіть основні методи запобігання щільним сольовим відкладенням в оборотних системах водопостачання.
5. Які методи запобігання сольовим відкладенням застосовують у системах водопостачання газоочисток конверторних цехів?

Розділ 5 ЗАХИСТ МЕТАЛУ ВІД КОРОЗІЇ

5.1 Характер та причини корозії теплообмінних апаратів, трубопроводів та споруд. Корозія у системах тепlopостачання

5.2 Теоретична та практична оцінка агресивності води

- 5.3 Методи захисту металу від корозії
- 5.4 Дослідження швидкості корозії ефективності захисту металу
- 5.5 Утворення захисної карбонатної плівки на металі
- 5.6 Обробка води сповільнювачами корозії
- 5.7 Захисні покриття металу смолами, лаками, фарбами та емаллями.
- 5.8 Електрохімічний захист
- 5.9 Лабораторний контроль та оцінка ефективності обробки води та захисних покриттів

Контрольні питання

1. Поясніть, що таке електрохімічна корозія.
2. Які види корозії розрізняють за характером корозійного руйнування?
3. Які чинники впливають на швидкість електрохімічної корозії сталі?
4. Які заходи застосовують для попередження корозії й захисту трубопроводів і обладнання в системах промислового водопостачання?
5. Корозія у системах теплопостачання.
6. Основні стадії процесу корозії металу та утворення захисної плівки.
7. Як здійснюють оцінку ступеня агресивного впливу середовища (води) на незахищені метали та неметалеві матеріали?
8. Основні методи захисту металів від електрохімічної корозії у системах оборотного водопостачання.
9. Захисні покриття поверхні металу з метою захисту його від корозії.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДержСанПіН 2.2.4-171-10 (ДСанПіН 2.2.4-400-10). Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. – Чинний від 12-05-2010. – Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 2010. – 25 с.
2. Айрапетян Т. С. Водне господарство промислових підприємств : навч. посіб. / Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 280 с.
3. Орлов В. О. Водопостачання та водовідведення : підручник / В. О. Орлов, Я. А. Тугай, А. М. Орлова. – Київ : Знання, 2011. – 359 с.
4. Орлов В. О. Водопостачання промислових підприємств : навч. посіб. / В. О. Орлов, Л. Л. Литвиненко, А. М. Орлова. – Київ : Знання, 2014. – 278 с.
5. Запольський А. К. Фізико-хімічна теорія коагуляційного очищення води / А. К. Запольський ; Національний університет харчових технологій. – Київ : НУХТ, 2009. – 39 с.
6. Клименко Л. П. Техноекологія : посібник / Л. П. Клименко. – [2-ге вид., перероб. і доп.]. – Сімферополь : Фонд Екопринт, 2000. – 542 с.
7. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-74:2013. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 172 с.
8. Орлов В. О. Водопідготовка : навч. посіб. / В. О. Орлов, А. М. Зошук. – Рівне : НУВГП, 2004. – 215 с.
9. Айрапетян Т. С. Водопідготовка на підприємствах теплоенергетики з використанням Na-катіонітових фільтрів : монографія / Т. С. Айрапетян, І. М. Чуб ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; перекл. з рос. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 151 с.

ДОДАТОК А

Довідкові значення параметрів систем водопостачання промислових підприємств

Таблиця А.1 – Значення коефіцієнта К для бризкальних басейнів та градирень залежно від температури повітря за сухим термометром

$T, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40
К	0,001	0,0012	0,001 4	0,001 5	0,001 6

Таблиця А.2 – Значення коефіцієнта К для ставків-охолоджувачів залежно від природної температури водойми

$T, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40
К	0,000 7	0,000 9	0,001 1	0,001 3	0,001 5

Таблиця А.3 – Втрати води з краплинним винесенням вітром (у відсотках від витрати оборотної води залежно від типу охолоджувача)

Тип охолоджуючих пристроїв	$P_2, \%$
Бризкальні басейни з площею зрошування < 400 м ²	1,5–3,5
≥ 400 м ²	1,0–2,5
Відкриті градирні	1–3
Баштові градирні без краплеуловлювачів	0,5–1,0
Баштові градирні з краплеуловлювачами	0,01–0,05
Вентилятори градирні з краплеуловлювачами	0,2–0,5

Електронне навчальне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання лабораторних робіт
та самостійного вивчення
навчальної дисципліни

«ПРОМИСЛОВА ВОДОПІДГОТОВКА»

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія)*

Укладачі: **АЙРАПЕТЯН** Тамара Степанівна,
ЛУКАШЕНКО Сергій Вікторович

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*
Редактор *М. О. Гаман*
Комп'ютерне верстання *Є. Г. Панова*

План 2024, поз. 92М

Підп. до друку 12.07.2024. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 3,6.

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