

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

**«ТЕХНОЛОГІЯ ЕФЕКТИВНОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ У
ПРОМИСЛОВОСТІ»**

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



**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025**

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт та самостійного вивчення навчальної дисципліни «Технологія ефективного водокористування у промисловості» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології, освітня програма «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Т. С. Айрапетян, С. В. Лукашенко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 54 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 та очистки вод, протокол № 1 від 19.08.2024

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.....	15
Лабораторна робота № 3 Вибір типу охолоджувача та визначення величин втрат води в системі оборотного водопостачання «чистого циклу».....	19
Лабораторна робота № 4 Визначення основних показників води	24
Лабораторна робота № 5 Обробка стічних вод від регенерації На-катіонітових фільтрів з метою повторного використання.....	31
Лабораторна робота № 6 Визначення оптимального об'єму скиду води з продувкою для системи оборотного водопостачання «чистого циклу».....	36
3 ЗМІСТ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЧАСТИНИ ДИСЦИПЛІНИ. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	43
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52
ДОДАТОК А.....	53

ВСТУП

Дисципліна «Технологія ефективного водокористування у промисловості» знайомить студентів із технологіями підготовки природних і оборотних вод для потреб різних галузей промисловості, організацією оборотних циклів водопостачання, що забезпечуватимуть охорону водних джерел від виснаження та забруднення і гарантуватимуть мінімальну екологічну шкоду навколишньому природному середовищу.

Основною метою цих методичних рекомендацій є ознайомлення здобувачів з основними вимогами до якості води, що висуваються різними споживачами, типами охолоджувачів води, якісними показниками води, які обумовлюють вибір методу очищення, а також засвоєння фізико-хімічної сутності процесів, які відбуваються на спорудах очищення і підготовки води до повторного використання, та розвиток у здобувачів навичок роботи в лабораторії і проведення хімічних експериментів.

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

ПІДГОТОВКА ДО ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ. ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Загальні заходи безпеки

Під час роботи в лабораторії студенти повинні звертати особливу увагу 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 у разі недбалого поводження із ним можливі різні поранення (порізи рук склом). Під час роботи 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, змастити йодом і зав'язати бинтом чи заліпити лейкопластиром. У разі наявності глибоких артеріальних ран після видалення скла руку необхідно міцно перев'язати джгутом вище порізу, видалити кров навколо рани, накласти кілька шарів стерильної марлі, потім товстий шар гігроскопічної вати і звернутися до лікаря.

Дуже велике значення має знання студентів про сполуки, з якими їм доведеться працювати в лабораторії. Багато з них можуть бути хімічною отрутою і у разі необережного поводження слугувати причиною хімічних опіків та отруєнь. До таких речовин належать насамперед рідкі кислоти і луги. Усі реактиви і розчини, які використовуються в лабораторії, повинні знаходитися в закритому посуді з чітким написом, де зазначені назва і концентрація реагенту. У разі потрапляння сильних кислот на шкіру варто негайно змити облите місце водою, а потім 5-відсотковим розчином двовуглекислої соди. У разі опіку лугами також рекомендується обмити уражене місце водою, а потім 2-відсотковим 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.

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

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

Нагрівальні прилади потрібно встановлювати на теплоізоляційну підставку. У разі необережної роботи 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. У разі опіків другого ступеня обпалене місце обробляють розчином марганцевокислого калію. У разі опіків третього ступеня (руйнування тканин) на рану накладають стерильну пов'язку 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 розпочинати 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, необхідно 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.

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 лад 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.

Під час виконання лабораторних робіт необхідно **чітко** дотримуватися таких правил:

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

2. Розпочинати 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.

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

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

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

Послідовність оформлення лабораторного журналу

1. Дата.
2. Заголовок: лабораторна робота №, назва лабораторної роботи.
3. Коротке формулювання мети роботи.
4. Устаткування, прилади, реактиви.
5. Хід роботи (методика визначення).
6. Схема лабораторної установки.
7. Таблиця вихідних даних і результатів.
8. Формули та розрахунки.
9. Спостереження.
10. 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, висувають 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, коли-індекс тощо). Бактеріологічні показники якості виробничої води визначають безпеку її використання й вимагають особливо ретельного контролю під час використання 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 погіршує 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, за підвищеного вмісту яких вода стає агресивною щодо бетону. Посилюються також корозійні властивості води.

До якості води теплоенергетичних процесів висуваються більш жорсткі вимоги, ніж до якості води, яка використовується для охолодження. Під час використання води для потреб паросилового господарства вона не повинна утворювати накипу, викликати корозію металу, спінюватися, призводити 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/дм^3 і нижче; в охолоджувальній воді – не більше 50 мг/дм^3 .

Забарвленість. Забарвлення води, вказує на наявність 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 у 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). За низьких значень рН вода агресивна, сприяє корозії металу, що призводить до погіршення її смаку. За високих значень рН вода нестабільна й здатна до відкладень на стінках труб і теплообмінних апаратів карбонат кальцію, що викликає їх заростання.

Залізо й марганець. Перешкоджають використанню води в текстильній і паперовій промисловості, під час виробництва пластмас і кінофотоплівки, у харчовій промисловості тощо.

Сульфати й хлориди. Підвищений вміст перешкоджає використанню води для живлення парових казанів і низки виробництв. Наявність їх у воді свідчить про її агресивність стосовно бетону на силікатному цементі: зі вмістом сульфат-іонів більше $0,25 \text{ г/дм}^3$, якщо вміст хлоридів менше 3 г/дм^3 ; зі вмістом

сульфат-іонів більше $0,5 \text{ г/дм}^3$, якщо вміст хлоридів від 3 до 5 г/дм^3 ; зі вмістом сульфат-іонів більше 1 г/дм^3 , якщо вміст хлоридів більше 5 г/дм^3 .

Із вмістом сульфат-іонів більше 4 г/дм^3 вода агресивна щодо пуцоланового і шлакопуцоланового силікатного цементу, а також до шлакосилікатного цементу.

Окисність. Окисність води більше $8 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ 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 під час виробництва синтетичних волокон, а також в електродіалізних та іонообмінних 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 під час коагулювання, знезалізнення й інших процесів 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 вміст у воді свідчить про ймовірне забруднення джерела стічними водами.

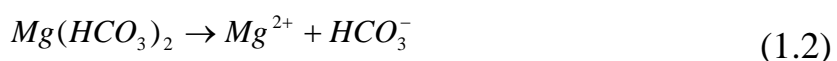
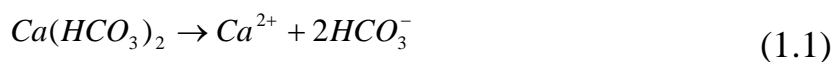
Загальні вимоги до якості води виробничого призначення:

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

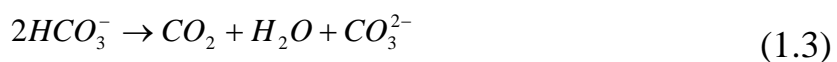
2. Вода не має призводити до біологічних обростань у системі, тобто до утворення й розвитку в трубопроводах і холодильниках живих мікроорганізмів, водоростей тощо. В оборотних і прямоточних системах охолодження до цього призводить сприятлива температура води до $45\text{--}50 \text{ }^\circ\text{C}$.

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.

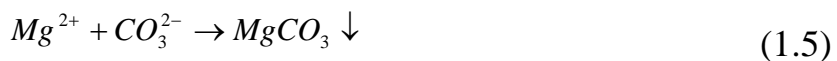
Для оборотних систем охолодження нагрівання води, що містить вуглекислі солі кальцію та магнію в технологічних агрегатах призводить до дисоціації цих солей:



Зі свого боку, іон дисоціює з утворенням



Під час нагрівання, а потім охолодження води у відкритих охолоджувачах вуглекислий газ виходить із системи. У результаті вуглекислотна рівновага порушується, виникає надлишок іонів CO_3^{2-} . За наявності у воді іонів кальцію Ca^{2+} і магнії 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 вилугування іонів кальцію й магнію, що входять до складу бетону.

Наявність зависі й біологічних обростань збільшує інтенсивність накипоутворення. Тому у разі значного накипоутворення доцільно спочатку забезпечити максимальне зменшення 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 за низьких рН, підвищеного солевмісту і зменшення твердості води, збільшення концентрації хлоридів і сульфатів, кисню, а також інших агресивних газів CO_2 , H_2S , а також із підвищенням температури і 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 під час чергування циклів «нагрівання – охолодження» вода для виробничих потреб може бути:

- *термостабільною*, що не дає накипу під час багаторазового нагрівання до 40–50 °С (це вода із карбонатною твердістю < 3,5 мг-екв/дм³);
- *умовно термостабільною*, що не утворює накипу під час перших циклів «нагрівання – охолодження», а під час наступних циклів відрізняється інтенсивним накипоутворенням (для такої води характерна карбонатна твердість від 3,5 мг-екв/дм³ до 5,5 мг-екв/дм³);
- *нетермостабільною*, що під час перших же циклів «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 скидання води із системи (продувка системи), величина якого визначається залежно від якості оборотної води й підживлювальної води, що подається у 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 у ставках-охолоджувачах і накопичувачах за водопроникних ґрунтів 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 цих втрат немає.

Втрати води на випаровування, м³/год:

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

де $K_{\text{вип}}$ – коефіцієнт, який враховує частку тепловіддачі випаровуванням у 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 (дод. А). Для ставків-охолоджувачів значення коефіцієнта $K_{\text{вип}}$ обирається залежно від природної температури води водойми за таблицею А.2 (дод. А).

Втрати води на випаровування виражаються у відсотках:

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

Втрати води на віднесення вітром враховуються у випарних охолоджувачах, бризкальних басейнах, відкритих градирнях і зрошувальних теплообмінних апаратах. У радіаторних охолоджувачах цих втрат немає.

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 водовловлювачів для зменшення винесення краплинної вологи й обираються за таблицею А.3 (дод. А).

Втрати води на продувку системи пов'язані із 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 жорсткості в оборотній воді вимірюється у відсотках за такою формулою:

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

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

Орієнтовно можна вважати припустимою карбонатну жорсткість оборотної води у 1,5–2 рази більше за карбонатну жорсткість підживлювальної води (свіжої води, що додається), за величини останньої до 2,5 г-екв/м³ під час використання 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 (у відсотках) 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 під час використання 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 подається у систему за різних типів 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 водовловлювачем та без водовловлювача;
- вентиляторна градирня із водовловлювачем;
- 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 (нормат.) 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	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 $C_{св}$, мг/л	800	900	900	450	1 200	700	1 100	1 200	500	350
Припустима концентрація солей $C_{доп}$, 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, $Q_{прод}$, м ³ /год	40	65	150	90	260	95	120	90	100	60

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

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

На рисунку 3.1 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.

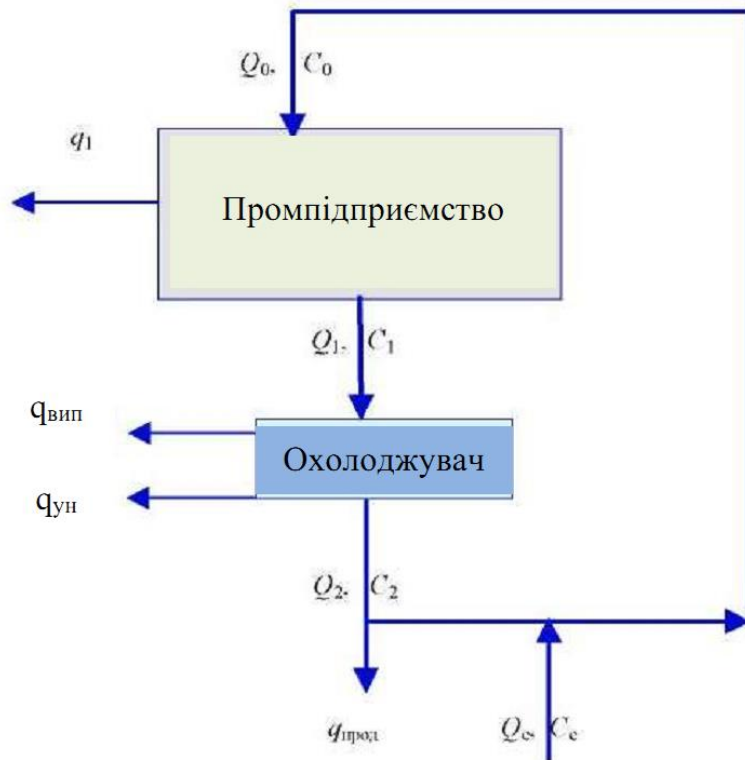


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема оборотної системи водопостачання підприємства («чистий цикл»):

Q – витрата води; C – концентрація забруднень (солевміст); q_1 – втрати води на виробництві; $q_{ун}$ – втрати води на бризковіднесення; $q_{вип}$ – втрати води на випаровування; $q_{прод}$ – втрати води на продувку; $Q_{с}$ – витрата свіжої води, що додається; $C_{с}$ – 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 подати у вигляді таблиці (за табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Форма результатів визначень з вибору типу охолоджувача

Тип охолоджувача	Втрати води, м ³ /добу		q _{прод}	Потрібна витрата свіжої води Q _{св} , м ³ /добу	Рівноважна концентрація (солеміст) в оборотній воді C _{рівн} , мг/л
	на охолодження				
	Q _{вин.вітр}	Q _{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 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 $1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3$).

У природних умовах солі кальцію і магнію потрапляють 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, закорковують 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:

$$T_{заг} = T_{Ca} + T_{Mg} = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]. \quad (4.1)$$

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-}).

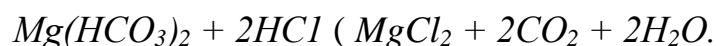
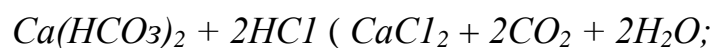
Некарбонатна твердість води $T_{нк}$ відповідає вмісту в ній всіх інших іонів кальцію й магнію, пов'язаних із хлор-іонами, сульфат-іонами і нітратами-іонами ($CaCl_2$, $MgCl_2$, $CaSO_4$, $MgSO_4$). Її ще називають постійною твердістю.

Реактиви

1. Аміачний буферний розчин (до 10 г хлориду амонію NH_4Cl додають 50 мл 25-відсоткового розчину аміаку NH_4OH і доводять загальний об'єм розчину до 500 см³).
2. Еріохром чорний – індикатор (до 0,5 г індикатора додають 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, переливають 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 за наявності індикатора метилоранжу. Водночас протікають такі реакції:



Під час титрування 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 за наявності спеціального індикатора, що змінює свій колір після того, як трилон Б зв'яже всі іони кальцію й магнію. Як індикатор може застосовуватися еріохром чорний ЕТ-00.

Хід визначення

До 100 мл досліджуваної води, відміряної циліндром у конічну колбу ємністю 250 мл, необхідно додати 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 такою формулою:

$$T_{\text{заг}} = \frac{V_1 \cdot N \cdot 100}{V}, \quad (4.2)$$

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 визначається за такою формулою:

$$T_{нк} = T_{заг} - T_{к}, \quad (4.3)$$

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

Поділ загальної твердості води на кальцієву та магнієву

У сильно лужному середовищі, якщо $pH > 10,5$, то 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 $NaOH$. Додати 30 мл дистильованої води. На кінчику шпателя додати індикатор мурексид і титрувати розчином трилону Б, інтенсивно перемішуючи до переходу забарвлення від рожевого до фіолетово-синього.

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

$$T_{Ca} = \frac{V_1 \cdot N \cdot 100}{V}, \quad (4.4)$$

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

V_1 – об'єм проби води, мл;

N – нормальність розчину трилону Б.

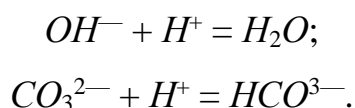
Магнієва твердість води визначається за такою формулою:

$$T_{Mg} = T_{заг} - T_{Ca} \quad (4.5)$$

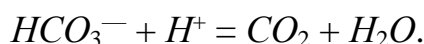
2 Визначення загальної лужності та карбонатної твердості

Загальні відомості

Загальна лужність води обумовлена наявністю іонів OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- . Іони OH^- та CO_3^{2-} титрують соляною кислотою за наявності індикатора фенолфталеїну (при $pH = 8,6$). Вони обумовлюють лужність води за фенолфталеїном. Під час титрування води соляною кислотою за наявності фенолфталеїну відбуваються такі реакції:



Іони HCO_3^- титрують соляною кислотою за наявності індикатора метилового оранжевого (якщо $\text{pH} = 8,6$). Реакція, що під час цього відбувається, описується таким рівнянням:



Якщо лужність за фенолфталеїном дорівнює нулю, то загальна лужність обумовлена наявністю тільки бікарбонатів HCO_3^- . Для переважної більшості природних вод іони HCO_3^- зв'язані тільки з Ca^{2+} і Mg^{2+} . Якщо 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. Метилловий оранжевий – 0,1-відсотковий розчин (1 г метилового оранжевого розчиняють в 1 л дистильованої води).
3. Фенолфталеїн – 0,5-відсотковий розчин спиртовий (0,5 г фенолфталеїну розчиняють у 50 мл 96-відсоткового 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 ємністю 200 мл, додають 2–3 краплі розчину фенолфталеїну. Якщо з'являється рожеве забарвлення, 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, $L_{заг}$, мг-екв/л, розраховують за такою формулою:

$$L_{заг} = \frac{V \cdot N \cdot 1000}{V_1} \quad (4.6)$$

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

$$L_{\phi} = \frac{V_2 \cdot N \cdot 1000}{V_1} \quad (4.7)$$

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

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

Для котлової води обчислюють окремі форми лужності згідно із таблицею 4.1.

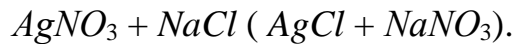
Таблиця 4.1 – Визначення форм лужності

Співвідношення Φ та MO	Гідрати Лг	Карбонати Лк	Бікарбонати Лб
$\Phi > 0, MO = 0$	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

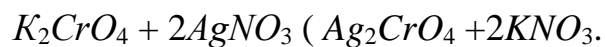
3 Визначення концентрації хлоридів у воді

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

Реакція протікає у 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-відсотковий 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 бутілі з темного скла.

Хід визначення

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

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

$$C_{Cl} = \frac{V_1 \cdot E \cdot N \cdot 1000}{V_2}, \quad (4.8)$$

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? Які 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, що використовується для питних потреб, згідно із ДержСанПіН 2.2.4-171-10?
8. Вмістом яких сполук зумовлюється лужність води?
9. Який метод аналізу використовується під час визначення лужності води?
10. У яких одиницях вимірюється лужність води?
11. Яке значення лужності рекомендовано ДержСанПіН для питної води?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ОБРОБКА СТИЧНИХ ВОД ВІД РЕГЕНЕРАЦІЇ НА-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

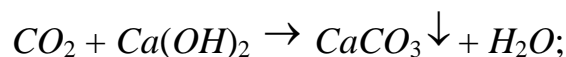
Відповідно до динаміки зміни хімічного складу стічних вод від регенерації *Na*-катіонітових фільтрів максимальна кількість *NaCl* виводиться з фільтра за перші 20 хв (95–97 %), за наступні 10–20 хв до завершення відмивання із фільтра виводяться лише 5–3 % *NaCl*.

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.

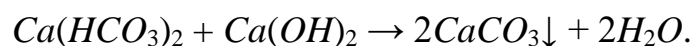
Технологія обробки (пом'якшення) найбільш концентрованої частини стічних вод від промивки *Na*-катіонітових фільтрів полягає у застосуванні содово-вапняного методу видалення солей постійної твердості і збереженні незмінної концентрації хлориду натрію. Сутність технології полягає у перетворенні розчинених у воді солей кальцію й магнію на малорозчинні сполуки *CaCO₃* і *Mg(OH)₂*, що випадають в осад.

У разі додавання вапна відбуваються такі процеси:

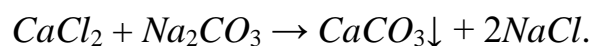
а) зв'язування розчиненої у воді вуглекислоти:



б) усунення карбонатної кальцієвої і магнієвої твердості:



Для усунення некарбонатної кальцієвої твердості зазвичай використовують соду, під час додавання 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 поетапного, а у низці випадків і багаторазового додавання розчину вапна до оброблюваної води, що обумовлено порівняно низькою розчинністю вапна.

Реактиви, посуд, апарати:

- аналітичні ваги;
- пристрої 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 «Визначення основних показників якості води»);
- реактиви для визначення вмісту хлоридів у воді (за методикою, наведеною у попередній роботі «Визначення основних показників якості води»).

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. Необхідно приготувати модельні розчини стічних вод від регенерації Na -катіонітових фільтрів з використанням хімічно чистих хлоридів кальцію, магнію й натрію, які необхідно розчинити в дистилляті. 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 потрібно розрахувати необхідні

дози реагентів (кальцинованої соди (Na_2CO_3) і вапна $Ca(OH)_2$ з огляду на стехіометричні співвідношення концентрацій вихідних і доданих речовин.

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 додавати двома способами – у вигляді розчинів або у сухому вигляді. Обробку води необхідно здійснювати послідовно. Спочатку додати розчин соди, а після завершення у воді хімічних реакцій додати розчин вапна. З огляду на те, що сода добре розчинна у воді, а вапно погано розчинне, у процесі проведення досліджень соду рекомендується додати одноразово у вигляді розчину, а вапно – додавати порційно. Рекомендується провести декілька серій експериментів із одноразовим і порційним додаванням 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 (бікарбонатної, карбонатної і гідратної лужності), а також концентрацію хлоридів. Ефективність методу вважається достатньою зі зменшенням 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.

Обробка результатів досліджень

Експериментальні дані з пом'якшення стічних вод вапняно-содовим методом потрібно записати в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати пом'якшення модельних розчинів стічних вод від регенерації *Na*-катіонітових фільтрів 1-го ступеня содово-вапняним методом

№ з/п	Хімічний склад модельних розчинів стічних вод		Доза реагенту, 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. Яку саме відповідь?

5. Які реагенти використовують під час пом'якшення води методом осадження?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

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 зменшити рівень забруднень циркулюючої в системі води та попередити утворення щільних сольових відкладень.

Оборотні схеми найчастіше використовуються у 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 зі зниженням 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 випарилися, (повністю або частково) залишаються в оборотній воді, підвищуючи їхню 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 із втратою вільної

вуглекислоти через нагрівання води. Водночас відбувається розкладання 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, обираючи різну величину продувки (від 0 % до 15 % від витрати води).

2. Визначити рівноважну концентрацію забруднень (солевміст) в оборотній воді на вході на підприємство за різних величин продувки. Визначити оптимальну (мінімальну) величину продувки, за якої забезпечується рівність $C_{0(\text{рівн})} = C_{\text{дон}}$

3. Визначити й нанести на схему показники якості й витрати води на кожній ділянці оборотної системи водопостачання за оптимальної (мінімальної) величини продувки.

Вихідні дані

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

Хід виконання роботи

Основні вимоги до оборотних систем водопостачання підприємств визначаються такими 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 обирають 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 6.1.

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

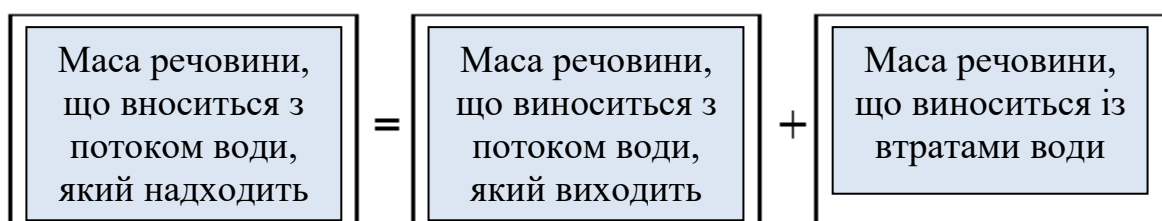
Рівняння водного балансу для певного вузла системи виглядає так:

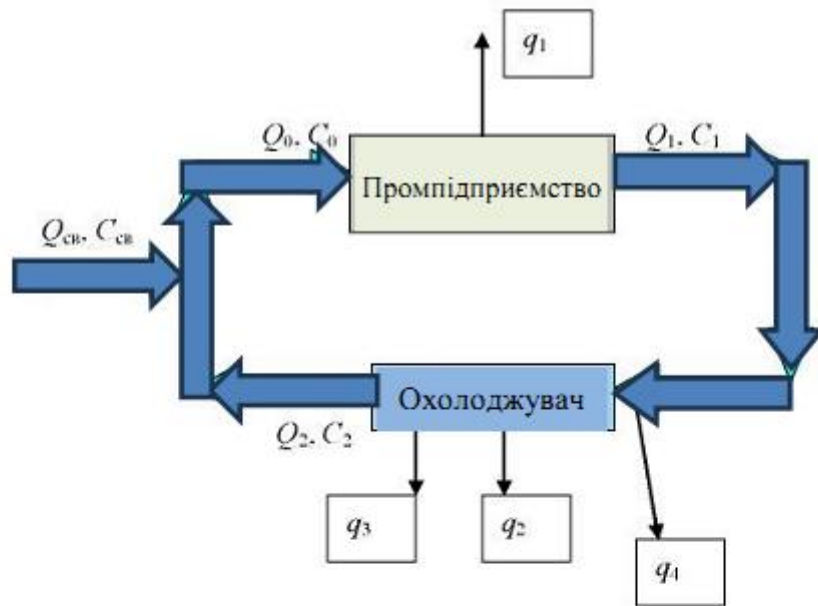
$$Q_{вх\dot{}} = Q_{вих\dot{}} + \sum q_{втр} \quad (6.1)$$

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:

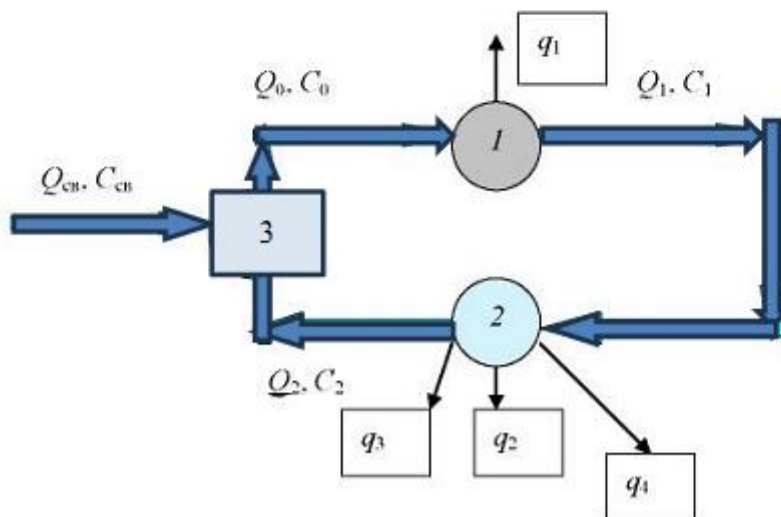
$$Q_{св} = (q_1 + q_2 + q_3 + q_4) \quad (6.2)$$

Рівняння матеріального балансу для певного вузла системи в загальному вигляді:





а



б

Рисунок 6.1 – Оборотна система водопостачання підприємства («чистий цикл»):

а – технологічна схема; б – розрахункова блок-схема;

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 продувкою; C – концентрація забруднень (мінеральних солей) в оборотній воді; C_i – солеміст свіжої (підживлювальної) води; 1 – підприємство, 2 – охолоджувач, 3 – насосна станція

Концентрація речовини в потоці оборотної води змінюється на різних ділянках системи (після охолоджувача, після змішування потоку оборотної води зі свіжою водою), а також за ділянками оборотної системи і за часом. Зокрема солеміст оборотної води, що надходить у виробничий процес, C_0 , може підвищуватися за циклами обороту води, поки не досягне рівноважної (постійної) величини $C_{0(рівн)}$ за певних параметрів системи.

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

Для визначення рівноважної концентрації речовини за солемістом у потоці послідовно здійснюють розрахунок за вузлами системи й циклами обороту води, складаючи рівняння матеріального балансу в оборотній воді.

Послідовність розрахунків з визначення рівноважної концентрації $C_{0(рівн)}$ 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 $C_{0(рівн)}$ за різних величин продуквки (від 0 % до 15 % від Q_0) у табличній формі (табл. 6.1).
3. Графік залежності рівноважної концентрації забруднень в оборотній воді $C_{0(рівн)}$ за солевмістом за різних величин продуквки (від 0 % до 15 % від Q_0). За графіком визначити оптимальну (мінімальну) величину продуквки системи, за якої забезпечується рівність $C_{0(рівн)} = C_{доп}$.
4. Схему оборотної системи водопостачання з нанесенням показників якості й витрат води на кожній ділянці за мінімальної величини продуквки.

Таблиця 6.1 – 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 (солевміст) 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, якщо карбонатна твердість підживлювальної води значно вища за карбонатну твердість води у системі?
5. Як змінюється величина коефіцієнту упарювання зі зменшенням величини продувки або без неї у системі оборотного водопостачання?
6. Як впливає зменшення продувки на режим роботи оборотних систем охолодження?

**З ЗМІСТ ТЕОРЕТИЧНОЇ ЧАСТИНИ ДИСЦИПЛІНИ.
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ
«ТЕХНОЛОГІЯ ЕФЕКТИВНОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ У
ПРОМИСЛОВОСТІ»**

ЗМ 1 ВОДОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

*ТЕМА 1 ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ
ПІДПРИЄМСТВ*

1. Роль води у промисловості.
2. Типи водоспоживання у виробництві.
3. Джерела, схеми та системи водопостачання.
4. Витрати та втрати води на промислових підприємствах

Контрольні питання

1. Системи водопостачання промислових підприємств.
2. Види споживання води у виробництві.
3. Норми водопостачання.
4. Існуючі схеми використання води на промислових підприємствах.
5. Послідовно-оборотні системи водопостачання. Їх переваги перед прямоточними системами.
6. Чим відрізняються замкнені системи водопостачання від оборотних?
7. У чому полягає сутність раціонального використання води?
8. Сформулюйте основні тенденції раціонального водокористування на сучасному етапі.

*ТЕМА 2 ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДИ У ПРОМИСЛОВОМУ
ВИРОБНИЦТВІ*

1. Показники якості води.
2. Вимоги до якості води, що висувають різні споживачі.
3. Вплив домішок води на роботу котлів.

Контрольні питання

1. Які вимоги висуваються до якості охолоджуючої води?
2. Які вимоги висувають до якості води, що використовується у оборотних системах технічного водопостачання.
3. Вимоги до якості води для живлення котлів різної конструкції та різного тиску.
4. Ускладнення в роботі діючих систем водопостачання та водовідведення промислових підприємств.

*ТЕМА 3 ПОПЕРЕДНЄ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ. КОАГУЛЯЦІЯ І ПРОЯСНЕННЯ
ВОДИ. ФІЛЬТРУВАННЯ*

1. Коагуляція і прояснення води.
2. Основне обладнання попередньої обробки води.
3. Фільтрування води.

Контрольні питання

1. Основні технологічні процеси й споруди, що використовують під час підготовки води.
2. Від чого залежить вибір способу обробки води?
3. Завдання попередньої очистки води.
4. Попередня очистка (обробка) води у прояснювачах.
5. Фільтрування води. Класифікація фільтрів.
6. Прояснювальні (швидкі) фільтри. Конструкції і принцип роботи безнапірних і напірних фільтрів.
7. Конструкція і принцип роботи пінополістирольних фільтрів.

*ТЕМА 4 ХІМІЧНА ОБРОБКА ВОДИ. ОБРОБКА ВОДИ МЕТОДОМ ІОННОГО
ОБМІНУ*

Реагентне пом'якшення води.

1. Знекремнювання води магnezіальними реагентами.
2. Технологія іонного обміну.
3. Катіонообмінний метод пом'якшення води.
4. Основні типи іонообмінних апаратів.

Контрольні питання

1. У чому полягає сутність технології іонообмінної підготовки води?
2. Які основні типи катіонообмінних матеріалів?
3. Опишіть хімізм катіонообмінного процесу.
4. Які є типи катіонообмінних фільтрів?
5. Поясніть принцип дії іонітових фільтрів і фільтрів змішаної дії?
6. Назвіть переваги й недоліки процесу Na-катіонування під час його організації в один і два ступеня.
7. Опишіть схему Na-катіонітового пом'якшення води.
8. Що таке повна й робоча обмінна ємність катіоніту?
9. Опишіть H-катіонітове пом'якшення води.
10. Опишіть H-Na-катіонування води.
11. Як здійснюється процес регенерації іонітів?
12. Які є способи утилізації регенераційних розчинів?
13. Реагентний метод знекремнювання води.
14. Опишіть установку для реагентного знекремнювання води.
15. Вплив температури та інших показників на процес знекремнювання води.
16. Що таке знесолення і опріснення води?
17. Сутність іонообмінного способу знесолення води?
18. Опишіть установку для іонітового знесолення води.
19. Опишіть аніоніти, їх типи, хімізм процесу.

20. У чому суть випарного способу знесолення води?
21. Опишіть одноступеневу випарну установку.

ЗМ 2 ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДИ

ТЕМА 5 ОХОЛОДЖЕННЯ ОБОРОТНОЇ ВОДИ. СИСТЕМИ ВОДЯНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ

1. Класифікація систем охолодження та охолоджувачів.
2. Конструктивні особливості охолоджувачів, умови застосування
3. Теплообмін у випарних охолоджувачах.
4. Особливості теплообміну у водосховищах-охолоджувачах.
5. Теплообмін у радіаторних охолоджувачах.

Контрольні питання

1. Наведіть класифікацію систем охолодження води.
2. У яких випадках виникає необхідність охолодження води на підприємствах?
3. Як відбуваються процеси охолодження в охолоджувачах?
4. Від чого залежить витрата охолоджуючої води?
5. Як здійснюють охолодження холодною водою?
6. У чому полягають переваги випарного охолодження порівняно із водяним?

ТЕМА 6 СПОРУДИ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ОБОРОТНОЇ ВОДИ

1. Водосховища-охолоджувачі.
2. Бризкальні басейни.
3. Градирні. Розрахунок вентиляторних градирень.
4. Радіаторні (сухі) градирні.
5. Ежекційні охолоджувачі.
6. Випарне охолодження.
7. Повітряне та повітряно-випарне охолодження.
8. Системи водяного охолодження під розрідженням.

Контрольні питання

1. Класифікація споруд для охолодження води за способом передачі тепла й підведення повітря.
2. Від чого залежить витрата охолоджувальної води?
3. За яких умов доцільне застосування водосховищ-охолоджувачів?
4. Переваги й недоліки застосування водосховищ-охолоджувачів і бризкальних басейнів.
5. Типи градирень.
6. Водорозподільні системи й зрошувальні пристрої градирень.
7. Типи зрошувачів.
8. Як відбувається охолодження води в градирнях відкритого типу?
9. Конструкція та умови використання баштових градирень.
10. В яких випадках застосовують вентиляторні градирні?

ЗМ 3 МЕТОДИ ПІДГОТОВКИ ВОДИ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

ТЕМА 7 ВОДОПІДГОТОВКА ДЛЯ ДЖЕРЕЛ І СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

1. Основні методи й процеси підготовки води.
2. Кондиціонування води, використовуваної в системах теплопостачання.
3. Причини та види заростання труб і теплообмінних апаратів.
4. Поняття стабільності води, рівняння вуглекислотної рівноваги.
5. Методи обробки води для попередження карбонатних відкладень, корозії труб і теплообмінних апаратів.

Контрольні питання

1. Особливості водопостачання підприємств теплоенергетики.
2. Поняття продувки й підживлення систем оборотного водопостачання.
3. Рівняння водно-сольового балансу.

4. Використання коефіцієнта концентрування добре розчинних солей для розрахунків водно-хімічного режиму роботи систем оборотного водопостачання.
5. З якою метою організують очистку води від розчинених газів?
6. Принципи очистки води від розчинених газів і типи дегазаторів.
7. Які реагенти використовують для хімічного зв'язування розчинених у воді O_2 і CO_2 ?

ТЕМА 8 ХАРАКТЕР ТА ПРИЧИНИ УТВОРЕННЯ КАРБОНАТНИХ ВІДКЛАДЕНЬ У СИСТЕМАХ ОБОРотНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Характер та причини утворення карбонатних відкладень у системах оборотного водопостачання.
2. Теоретична оцінка стабільності води та практичні рекомендації щодо необхідності її обробки.

Контрольні питання

1. Основні причини порушення водно-хімічного режиму роботи діючих систем водопостачання та водовідведення промислових підприємств.
2. Визначення стабільності води.

ТЕМА 9 МЕТОДИ ЗАПОБІГАННЯ УТВОРЕННЮ КАРБОНАТНИХ ВІДКЛАДЕНЬ

1. Існуючі методи запобігання утворенню карбонатних відкладень

Контрольні питання

1. Назвіть основні методи запобігання щільним сольовим відкладенням в оборотних системах водопостачання.
2. Які методи запобігання сольовим відкладенням застосовують в системах водопостачання газоочисток конверторних цехів?

ТЕМА 10 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОСТАБІЛЬНОСТІ ВОДИ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ЗАПОБІГАННЯ УТВОРЕННЮ КАРБОНАТНИХ ВІДКЛАДЕНЬ

1. Дослідження термостабільності води та ефективності методів запобігання утворенню карбонатних відкладень.
2. Розведення та освіження оборотної води.

Контрольні питання

1. Які вживають заходи щодо попередження утворення накипу або його видалення?
2. Визначення стабільності води.
3. Заходи у разі позитивного й негативного індексу стабільності.
4. Назвіть основні методи запобігання щільним сольовим відкладенням в оборотних системах водопостачання.

ТЕМА 11 МЕТОД ПІДКИСЛЕННЯ ВОДИ

1. Підкислення як метод запобігання карбонатних відкладень.
2. Особливості процесу із застосування сірчаної кислоти.

Контрольні питання

1. Сутність процесу підкислення води.
2. Діапазон застосування підкислення.

ТЕМА 12 МЕТОД ФОСФАТУВАННЯ ВОДИ. СПІЛЬНА ОБРОБКА ВОДИ ПІДКИСЛЕННЯМ ТА ФОСФАТУВАННЯМ

1. Фосфатування як метод запобігання карбонатних відкладень. Особливості процесу.
2. Спільна обробка води підкисленням та фосфатуванням.

Контрольні питання

1. Сутність процесу фосфатування води. Умови його застосування.
2. У яких випадках доцільно застосовувати спільну обробку води підкисленням та фосфатуванням.

*ТЕМА 13 РЕКАРБОНІЗАЦІЯ ОБОРОТНОЇ ВОДИ. ПОМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ,
ЩО ДОДАЄТЬСЯ ДО СИСТЕМИ*

1. Метод рекарбонізації оборотної води.
2. Пом'якшення води, що додається до системи.

Контрольні питання

1. Сутність методу рекарбонізації оборотної води.
2. Методи пом'якшення води, що додається до системи.

*ТЕМА 14 ЗАХИСТ МЕТАЛУ ВІД КОРОЗІЇ. КОРОЗІЯ У СИСТЕМАХ
ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ*

1. Характер та причини корозії теплообмінних апаратів, трубопроводів та споруд.
2. Теоретична та практична оцінка агресивності води.

Контрольні питання

1. Що називають корозією металу?
2. На які типи поділяється корозія за механізмом її перебігу, за характером руйнування металів?
3. Що називається хімічною корозією? В яких середовищах вона відбувається?
4. Які чинники та як впливають на швидкість корозії?
5. У чому полягає сутність електрохімічної корозії?

ТЕМА 15 МЕТОДИ ОБРОБКИ ВОДИ ДЛЯ ЗАХИСТУ МЕТАЛУ ВІД КОРОЗІЇ

1. Дослідження швидкості корозії ефективності захисту металу.
2. Утворення захисної карбонатної плівки на металі.
3. Обробка води сповільнювачами корозії.

Контрольні питання

1. Назвіть методи стабілізації води для попередження корозії й захисту трубопроводів.
2. У чому полягають методи дії на корозійне середовище?

ТЕМА 16 ЗАХОДИ ДЛЯ ЗАХИСТУ МЕТАЛУ ВІД КОРОЗІЇ

1. Захисні покриття металу смолами, лаками, фарбами та емалями.
2. Електрохімічний захист.
3. Лабораторний контроль та оцінка ефективності обробки води та захисних покриттів.

Контрольні питання

1. Назвіть вимоги, які висуваються до захисних покриттів.
2. Перелічіть можливі матеріали для покриттів металу.
3. На чому заснований спосіб електрохімічного захисту металу від корозії.
4. Як здійснюється проведення контролю за корозією металу та за його захистом.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Орлов В. О. Водопостачання промислових підприємств : навч. посіб. / В. О. Орлов, Л. Л. Литвиненко, А. М. Орлова. – Київ : Знання, 2014. – 278 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. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод : підручник / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко, І. М. Астрелін [та ін.] – Київ : Лібра, 2000. – 551 с.
5. ДБН В.2.5-74: 2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Чинний від 01-01-2014. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 172 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	0,001 2	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 зрошення	
< 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
Вентиляторні градирні з краплеуловлювачами	0,2–0,5

Електронне навчальне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання лабораторних робіт та самостійного вивчення
навчальної дисципліни

«ТЕХНОЛОГІЯ ЕФЕКТИВНОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ У ПРОМИСЛОВОСТІ»

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

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

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*
Редактор Б. О. Хільська
Комп'ютерне верстання *Т. С. Айрапетян*

План 2025, поз. 108М

Підп. до друку 23.07.2025. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 3,1.

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