

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

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання лабораторних робіт
та самостійного вивчення

із навчальної дисципліни

**«ТЕХНОЛОГІЯ ЕФЕКТИВНОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ
У ПРОМИСЛОВОСТІ»**

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальностей 192 – Будівництво та цивільна інженерія
і 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія
та водні технології)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2021

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт та самостійного вивчення навчальної дисципліни «Технологія ефективного водокористування у промисловості» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальностей 192 – Будівництво та цивільна інженерія і 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 57 с.

Укладач доц. Т. С. Айрапетян

Рецензент

Т. О. Шевченко, 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 30.08.2018.

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».....	18
Лабораторна робота № 4 Визначення оптимального об'єму скиду води з продувкою для системи оборотного водопостачання «чистого циклу».....	22
Лабораторна робота № 5 Визначення основних показників води.....	28
Лабораторна робота № 6 Обробка стічних вод від регенерації На-катионітових фільтрів з метою повторного використання.....	34
Лабораторна робота № 7 Видалення органічних домішок зі стічної води методом фільтрування через активоване вугілля.....	39
Лабораторна робота № 8 Побудова ізотерми адсорбції органічної речовини з води.....	45
3 Зміст теоретичної частини дисципліни. контрольні питання для самостійної роботи.....	49
Список рекомендованих джерел.....	55
Додатки.....	56

ВСТУП

Дисципліна «Технологія ефективного водокористування у промисловості» 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 даних 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 постановки хімічного експерименту.

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

Загальні заходи безпеки

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

Застосовуваний у лабораторії хімічний посуд у більшості випадків скляний, тонкостінний і тендітний, вимагає дбайливого користування, тому що при недбалому поводженні з ним можливі різні поранення (порізи рук склом). При роботі хімічний посуд слід тримати в руках обережно (не стискати сильно пальцями). При його митті необхідно стежити за тим, щоб не пробити стінки чи дно. У випадку невеликого порізу слід 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 і 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 влученні сильних кислот на шкіру варто негайно змити облите місце водою, а потім 5 % розчином двовуглекислої соди. При опіку лугами також рекомендується обмити уражене місце водою, а потім 2 % розчином оцтової кислоти. Якщо кислота пролилася на підлогу, її слід засипати піском, потім зібрати його і винести з приміщення, а облите місце промити розчином соди.

При роботі з реактивами слід завжди пам'ятати, що наповнення піпеток для виміру малих обсягів кислот, лугів і 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 слід встановлювати на теплоізоляційні 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 слід залишати їх без догляду. У випадку опіків першого ступеня (червоність) на обпалене місце необхідно накласти вату, змочену розчином марганцевокислого калію, концентрація якого мусить бути тим більше, чим сильніше опік. Можна використовувати 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 і ін.

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 потраплення в очі будь-якої речовини.

Не можна набирати рідину в піпетку ротом, завжди користуватися грушею або пристосуванням для відбору проб. Пам'ятати, що пари всіх органічних розчинників токсичні, особливо в 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 варто 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 досвіду, 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 міри 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 розпису провідного викладача зазначається в робочому журналі студента.

Необхідно знати основні властивості використовуваних і 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 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

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: ознайомитися з вимогами до якості води для виробничих потреб різних галузей промисловості, провести аналіз якості води для виробничих потреб на підставі даних лабораторій аналітичного контролю промислових підприємств.

Залежно від цільового призначення використовуваної у виробничих процесах води до неї пред'являються різні вимоги, Властивості води визначаються концентрацією окремих домішок, сукупність яких визначає якість води.

Показники якості води:

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

2. Хімічні (жорсткість, лужність, активна реакція, хлориди, сульфати, окисність, сухий залишок й ін.).

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

Вода, використовувана на господарсько-питні потреби на промислових підприємствах, повинна задовольняти такі вимоги:

- 1) каламутність (вміст завислих речовин) $< 1,5$ мг/дм³;
- 2) забарвленість – < 20 град;
- 3) при підігріванні питної води від температури 20 °С до 60 °С вона не повинна мати запах і присмак більше 2 балів;
- 4) температура води для питних цілей – 7–12 °С;

- 5) загальна жорсткість господарсько-питної води – < 10 мг-екв/дм³;
- 6) присутність сірководню (H₂S) у господарсько-питній воді не допускається;
- 7) вміст сполук заліза – < 0,3 мг/дм³;
- 8) вміст нітратів – < 10 мг/дм³;
- 9) гранично припустимий вміст у воді сульфатів становить 500 мг/дм³, хлоридів – 350 мг/дм³;
- 10) вміст фтору – 0,7–1,2 мг/дм³;
- 11) вміст розчинених речовин (сухий залишок) – < 1 000 мг/дм³;
- 12) рН господарсько-питної води – 6,5–8,5.
- 13) питна вода не повинна містити більше 100 бактерій в 1 мл (бактеріальна забрудненість води).

Придатність води для **виробничих потреб** визначається її технологічними властивостями.

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 охолоджуючій 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 й іншої галузей промисловості.

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

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

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 відкладати 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 й ін.

Сульфати й хлориди. Підвищений вміст перешкоджає використанню води для живлення парових казанів і ряду 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 менш 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 неприємний запах, викликає корозію металів і сприяє заростанню труб і теплообмінних апаратів.

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

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

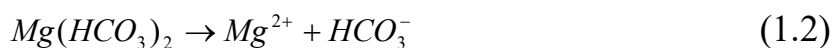
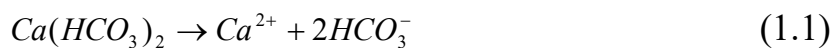
Загальні вимоги до якості води виробничого призначення:

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

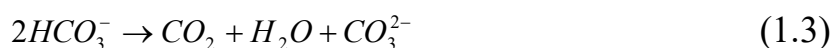
2. Вода не повинна призводити до біологічних обростань у системі, тобто утворення й розвитку в трубопроводах і холодильниках живих мікроорганізмів, водоростей й т. п. В оборотних і прямоточних системах охолодження цьому сприяє сприятлива температура води до 45–50 °С.

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

Для оборотних систем охолодження нагрівання води, що містить вуглекислі солі кальцію й 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 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 накипеутворення. Тому при значному накипеутворенні 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 повинна спричиняти інтенсивну корозію трубопроводів й устаткування. Швидкість корозії збільшується при низьких рН, підвищеному солемісті й зменшенні жорсткості 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, використовувана для виробничих потреб, не повинна погіршувати умови виробництва і якість продукції, повинна відповідати технологічним вимогам, а її використання не повинне призводити до несприятливих наслідків, зазначених вище.

Дуже важливою класифікацією оборотної води, використовуваної для цілей охолодження, є класифікація її за здатністю утворювати накип у системах водопостачання при чергуванні циклів «нагрівання–охолодження». Із цього погляду воду для виробничих цілей поділяють так:

– *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 накипеутворенням. Для такої води характерна карбонатна жорсткість від 3,5 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 жорсткість > 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 для галузі промисловості відповідно до виданого завдання.
3. Зробити порівняльний аналіз показників якості води лабораторій аналітичного контролю промислових підприємств із нормативними вимогами.
4. Результати аналізу звести у таблицю 1.1 і зробити висновки.

Таблиця 1.1 – Аналіз показників якості води

Показники	Значення показників якості води						Висновок
	Для гоп.-питних потреб		для виробничих потреб		для оборотного водопостачання		
	норматив	факт.	норматив	факт.	норматив	факт.	

Контрольні питання

1. Перелічите основні показники якості води, які необхідно контролювати при подачі води для виробничих потреб.
2. Яка вода вважається термостабільною?
3. Чим обумовлена жорсткість 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.

Для систем оборотного водопостачання повинен складатися баланс води, що враховує втрати, необхідні скидання й додавання води в систему, для компенсації втрати з неї.

Втрати води на промисловому підприємстві складаються з втрат:

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

– на скид води з системи (продувку системи), величина якого визначається залежно від якості оборотної й 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 ураховуються 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 охолоджуваної 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 і визначаються за формулою:

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

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 карбонатній жорсткості) в оборотному циклі.

Витрата води на продувку системи з метою підтримки необхідної концентрації солей жорсткості в оборотній воді, м³/год,

$$P_3 = \frac{P_1 \cdot Ж_{д}^K}{Ж_{об}^K - Ж_{д}^K} - P_2, \quad (2.4)$$

де $Ж_{д}^K$, $Ж_{об}^K$ – жорсткість карбонатна підживлювальної (свіжої) води відповідно, г-екв/м³;

Орієнтовно можна вважати припустимою карбонатну жорсткість оборотної води у 1,5–2 рази більше карбонатної жорсткості 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, і розраховуються за формулою

$$P_3 = \frac{P_1}{K_{еун} - 1} - P_2. \quad (2.5)$$

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 $K_{к.с}$:

$$K_{к} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3}. \quad (2.6)$$

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. Перелічите втрати води в охолоджувачах.
2. Як визначаються втрати води на випаровування?
3. Від чого залежать втрати води на віднесення вітром?
4. Як визначається витрата води на продувку системи?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

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

У системі оборотного водопостачання «чистого циклу» вода використовується для охолодження встаткування 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 солевмістом) у воді, що надходить на виробництво, C_0 (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 по водоспоживанню й водовідведенню промислового підприємства. У таблиці 3.2 задані початкова концентрація забруднень (солевміст) 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

При виконанні роботи слід розглянути всі типи охолоджувачів і визначити величину втрат води на випаровування ($q_{\text{вип}}$) і на бризгонос ($q_{\text{ун}}$) 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

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 $C_{св}$, 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 /добу	40	65	150	90	260	95	120	90	100	60

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

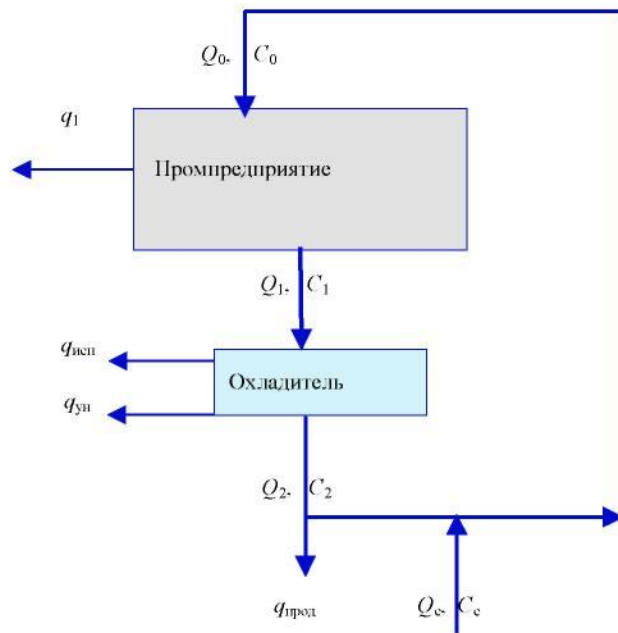


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема оборотної системи водопостачання підприємства («чистий цикл»):

Q – витрата води; C – концентрація забруднень (солевміст); q_1 – втрати води на виробництві; q_y – втрати води на бризгоунос; $q_{\text{вип}}$ – втрати води на випаровування; $q_{\text{прод}}$ – втрати води на продувку; Q_c – витрата свіжої води, що додається; C_c – концентрація свіжої води, що додається

Подання результатів роботи

Звіт про проведену лабораторну роботу повинен містити:

1. Завдання й вихідні дані по заданому 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_y	$Q_{\text{вип}}$			
Відкрита та бризкальна градирня	+	+	+	+	+
Баштова градирня без	+	+	+	+	+
Баштова градирня з водоуловлювачем	+	+	+	+	+
Вентиляторна градирня з водоуловлювачем	+	+	+	+	+
Бризкальний басейн	+	+	+	+	+

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ОБ'ЄМУ СКИДУ ВОДИ З ПРОДУВКОЮ ДЛЯ СИСТЕМИ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ «ЧИСТОГО ЦИКЛУ»

При обробці оборотної води на охолоджувачах відбувається її випаровування, за рахунок чого підвищується солевміст води. Повторне використання води з підвищеним солевмістом у виробничому процесі може призвести до відкладення солей у теплообмінниках, погіршення їхніх технологічних параметрів і виходу встаткування з ладу. Для запобігання цього в оборотній системі водопостачання «чистого циклу» передбачають за необхідності скидання певної витрати води з підвищеним солевмістом (продувку) 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 $C_{0(\text{рівн})} = C_{\text{доп}}$.

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 в лабораторній роботі № 3.

Хід виконання роботи

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

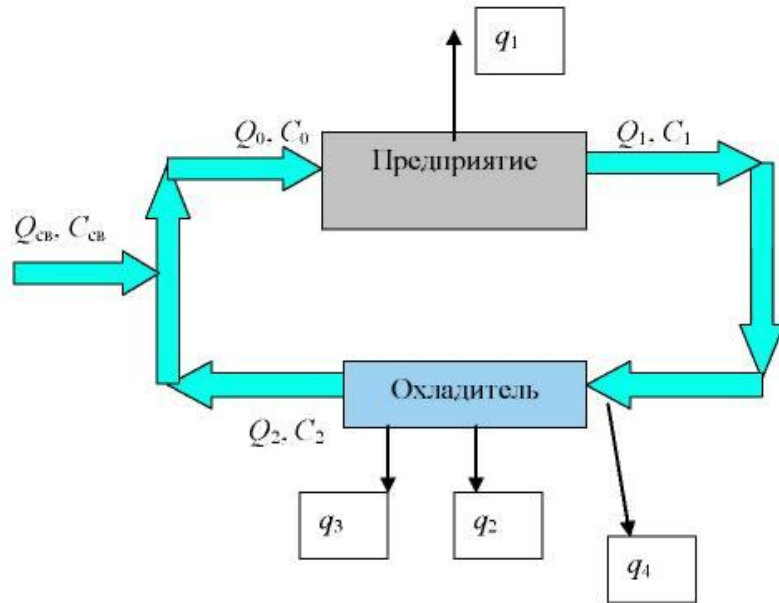
1. Витрата води, що подається на промпідприємство, повинна бути такою, що дорівнює нормативній витраті: $Q_0 = Q_{\text{норм}}$.

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

3. Сумарні витрати на реалізацію оборотної системи водопостачання повинні бути мінімальні.

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

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



б

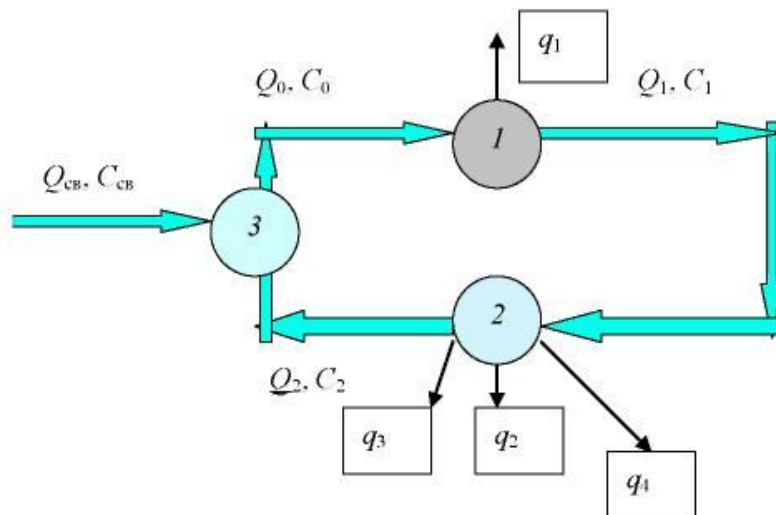


Рисунок 4.1 – Технологічна схема (а) і розрахункова блок-схема (б)

оборотної системи водопостачання підприємства («чистий цикл»):

Q_0 – об’єм водоспоживання підприємства (цеха); $Q_{св}$ – об’єм підживлювальної (свіжої) води; q_1 – втрати води у виробництві; q_2 – втрати води на бризгонос 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

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

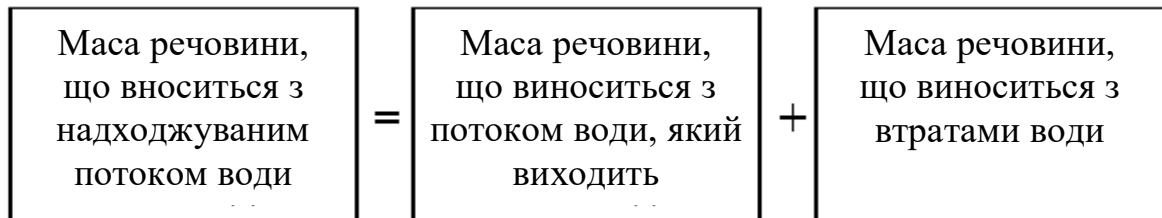
Рівняння водного балансу для певного вузла системи виглядає так:

$$Q_{\text{вхід}} = Q_{\text{вихід}} + \sum q_{\text{втр}}. \quad (4.1)$$

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

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

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 солеміст оборотної води, що надходить у виробний процес C_0 може підвищуватися по циклах обороту води, поки не досягне рівноважної (постійної) величини $C_{0(\text{рівн})}$ при певних параметрах системи.

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

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

Послідовність розрахунків по визначенню рівноважної концентрації $C_{0(\text{рівн})}$ наведена нижче.

1-й цикл обороту води в системі

Вузол 1

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

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

Вузол 2

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

охолоджувачів.

Вузол 3

$$C_{0,1} = (Q_0 - q_1 - q_2) C_{0,0} / Q_0 + Q_{\text{св}} C_{\text{св}} / Q_0 - \text{концентрація солей у воді, що}$$

надходить у виробничий процес після 1-го циклу.

2-й цикл обороту води в системі

Вузол 1

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

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

Вузол 2

$$C_{2,1} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_4) C_{0,1} / Q_2 - \text{концентрація солей у воді після}$$

охолоджувачів у 2-му циклі.

Вузол 3

$$C_{0,2} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_4) C_{0,1} / Q_0 + Q_{\text{св}} C_{\text{св}} / Q_0 - \text{концентрація солей у воді,}$$

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

$$C_{2,n-1} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_4) C_{0,n-1} / Q_2 - \text{концентрація солей у воді після}$$

охолоджувачів у n-му циклі.

Вузол 3

$$C_{0,n} = (Q_0 - q_1 - q_2 - q_4) C_{0,n-1} / Q_0 + Q_{\text{св}} C_{\text{св}} / Q_0 - \text{концентрація солей у воді,}$$

що надходить у виробничий процес після n-го циклу обороту.

Подання результатів роботи

Звіт про проведену лабораторну роботу повинен 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 $C_{0(\text{рівн})}$ 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 $C_{0(\text{рівн})}$ по солемісту при різних величинах продувки (від 0 до 15 % від Q_0). За графіком визначити оптимальну (мінімальну) величину продувки системи, при якій забезпечується рівність $C_{0(\text{рівн})} = C_{\text{доп}}$.

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 $C_{0(\text{рівн})}$

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

Контрольні питання

1. Основні проблеми оборотних систем водопостачання.

2. Втрати води в оборотних системах водопостачання.

3. Що називають продувкою оборотних систем. З якою метою здійснюють продувку?

4. Чому дорівнюють втрати води під час охолодження для різних типів охолоджувачів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ВОДИ

Мета роботи: оволодіння методикою визначення основних показників якості води.

У роботі необхідно визначити:

- загальну й карбонатну жорсткість води;
- кальцієву й магнієву жорсткість води;
- лужність води;
- вміст хлоридів у воді.

1 Визначення жорсткості води

Загальні відомості

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

Розрізняють загальну, карбонатну й некарбонатну жорсткості води.

Загальна жорсткість води $J_{\text{ж}}$ характеризується вмістом у ній всіх іонів кальцію й магнію:

$$J_{\text{ж}} = J_{\text{Ca}} + J_{\text{Mg}} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] \quad (5.1)$$

Карбонатна жорсткість води – $J_{\text{к}}$ характеризується вмістом у ній іонів кальцію й магнію, пов'язаних з бікарбонат-іоном (HCO_3^-) і карбонат-іоном (CO_3^{2-}).

Некарбонатна жорсткість води $J_{\text{нк}}$ відповідає вмісту в ній всіх інших іонів кальцію й магнію, пов'язаних із хлорами-іонами, сульфат-іонами й нітратами-іонами.

Реактиви

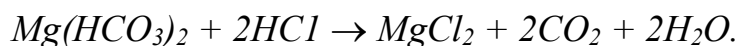
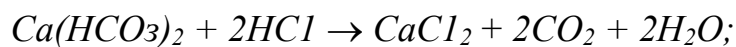
1. Аміачний буферний розчин (до 10 г хлориду амонію NH_4Cl доливають 50 мл 25 %-го розчину аміаку NH_4OH і доводять загальний об'єм розчину до 500 см³).

2. Еріохром чорний – індикатор (до 0,5 г індикатору 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 жорсткості 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 по переходу золотаво-жовтого фарбування у помаранчеве. Перехід фарбування повинен відбутися від краплі кислоти, що впала в розчин останньої.

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

Визначення загальної жорсткості води комплексометричним способом

Комплексометричний спосіб визначення жорсткості води заснований на здатності трилону Б утворювати міцні комплекси з'єднання з іонами кальцію й 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 на 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 у синяво-сіру. Це свідчить про те, що всі іони Ca^{2+} і Mg^{2+} зв'язані з трилоном Б. Під час титрування розчин у колбі слід інтенсивно перемішувати.

Загальну жорсткість, 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 жорсткість:

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

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

Поділ загальної жорсткості води на кальцієву й магнієву

У сильно лужному середовищі при рН >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 жорсткості 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 жорсткість води, мг-екв/л, розраховують за формулою:

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

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

V_1 – об'єм проби води, мл;

N – нормальність розчину трилону Б.

Магнієва жорсткість води:

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

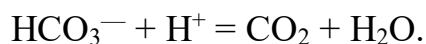
2 Визначення загальної лужності та карбонатної жорсткості

Загальні відомості

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



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



Якщо лужність по фенолфталеїну 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 по фенолфталеїну дорівнює нулю, можна вважати, що загальна лужність води дорівнює її карбонатної жорсткості (за наявності у воді солей жорсткості).

Реактиви

1. Соляна кислота – 0,1 н розчин (готується з фіксаналу).
2. Метилловий оранжевий – 0,1 %-вий розчин (1 г метилового оранжевого розчиняють у 1 л дистильованої води).
3. Фенолфталеїн – 0,5 %-вий розчин спиртовий (0,5 г фенолфталеїну розчиняють у 50 мл 96 % етилового спирту і додають 50 мл дистильованої води). У розчин по краплям 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 на 200 мл, додають 2–3 краплі розчину фенолфталеїну. Якщо з'являється рожева окраска, 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 $L_0 = M$.

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, $L_{\text{ф}}$, мг-екв/л

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

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

При аналізі зм'якшеної (котлової) води спочатку пробу титрують із 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: $L_0 = \Phi + MO$

Для котлової води обчислюють окремі форми лужності згідно таблиці 5.1

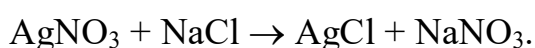
Таблиця 5.1 – Визначення форм лужності

Співвідношення Ф та МО	Гідрати Лг	Карбонати Лк	Бікарбонати Лб
$\Phi > 0, \text{МО} = 0$	Φ	0	0
$\Phi > \text{МО}$	$\Phi - \text{МО}$	2МО	0
$\Phi = \text{МО}$	0	$\Phi + \text{МО}$	0
$\Phi < \text{МО}$	0	2Ф	$\text{МО} - \Phi$
$\Phi = 0, \text{МО} > 0$	0	0	МО

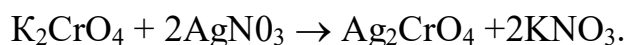
3 Визначення концентрації хлоридів у воді

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 %-вий розчин (50 г KCrO_4 ч.д.а. розчиняють у невеликій об'ємі двічі дистильованої води і додають розчин азотнокислого срібла до початку утворення червоного осаду. Після двохгодинного 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 при температурі 105°C , розчиняють у двічі дистильованій воді і доводять до 1 л в мірній літрової колбі). Розчин зберігають у скляному бутилі з темного скла.

Хід визначення

Для визначення вмісту хлоридів до 100 мл досліджуваної води додають 5 крапель 10 %-вого розчину індикатору – 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. Які солі обумовлюють жорсткість води?
2. Які є види жорсткості води?
3. Допустима жорсткість питної води.
4. Вмістом яких сполук зумовлена лужність води?
5. Який метод аналізу використовується при визначенні лужності води?
6. В яких одиницях вимірюється лужність води?
7. Яке значення лужності рекомендовано ДержСанПіН для питної води?
8. При яких процесах обробки води має значення величина її лужності?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ОБРОБКА СТІЧНИХ ВОД ВІД РЕГЕНЕРАЦІЇ НА-КАТІОНІТОВИХ ФІЛЬТРІВ З МЕТОЮ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ

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

Загальні положення

Відповідно до динаміки зміни хімічного складу стічних вод від регенерації Na-катіонітових фільтрів максимальна кількість NaCl виводиться з

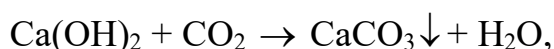
фільтра за перші 20 хв (95–97 %), за наступні 10–20 хвилин до завершення відмивання з фільтра виводяться лише 5–3 % NaCl.

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

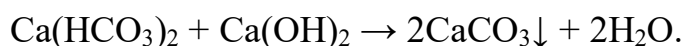
Технологія обробки (зм'якшення) найбільш концентрованої частини стічних вод від промивки Na-катіонітових фільтрів полягає в застосуванні содово-вапняного методу видалення солей постійної жорсткості й збереженні незмінної концентрації хлориду натрію. Сутність технології полягає в перекладі розчинених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

При додаванні вапна відбуваються такі процеси:

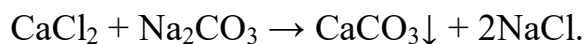
а) зв'язування розчиненої у воді вуглекислоти:



б) усунення карбонатної кальцієвої й магнієвої жорсткості:



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



Специфічною особливістю такої обробки є надзвичайно високі концентрації солей жорсткості (від 40,0 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 ряді випадків і багаторазової подачі розчину вапна в оброблювану воду, що обумовлено порівняно низькою розчинністю вапна.

Реактиви, посуд, апарати:

- аналітичні ваги;
- пристосування для титрування;

- скляні циліндри обсягом 200 см³ – 5 шт.;
- дистильована вода;
- Хлорид кальцію CaCl₂, сухий, для приготування імітату;
- Хлорид магнію MgCl₂, для приготування імітату;
- Хлорид натрію NaCl;
- гідроксид кальцію;
- сода;
- реактиви для визначення загальної лужності й карбонатної жорсткості (за методикою, наведеною у попередній роботі);
- реактиви для визначення вмісту хлоридів у воді (за методикою, наведеною у попередній роботі).

Хід роботи

Дослідження процесу зм'якшення здійснюється на воді, що імітує склад реальних стічних вод від регенерації Na-катіонітових фільтрів першого ступеня зм'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 слід визначити відповідність отриманих концентрацій необхідних компонентів розрахунковим величинам. Величина загальної жорсткості у регенераційному розчині визначається методом трилометрії з використанням індикатору – «хрому темно-синього».

2. Для реалізації процесу зм'якшення зазначених стічних вод за допомогою вапняно-содового методу спочатку слід розрахувати необхідні дози реагентів (кальцинованої соди (Na₂CO₃) і вапна Ca(OH)₂ виходячи зі стехіометричних співвідношень концентрацій вихідних речовин і речовин, що вводять.

3. Циліндри обсягом 1 000 см³ заповнити досліджуваною водою й додати розчини кальцинованої соди (Na₂CO₃) 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 порціонно. Рекомендується провести декілька серій експериментів при введенні вапна одноразово й при порціонній подачі вапна в оброблювану воду.

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

5. Визначити ефективність процесу зм'якшення стічних вод шляхом аналізу оброблених вод на вміст концентрацій кальцію, магнію, сума яких є загальною твердістю, 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 жорсткості і лужності води відповідно до 2–3 мг-екв/л і 3–4 мг-екв/л.

6. Для порівняння провести серію досвідів зі зм'якшення реальних стічних вод, відібраних у процесі відмивки Na-катионітових фільтрів.

Обробка результатів досліджень

Експериментальні дані зі зм'якшення стічних вод вапняно-содовим методом слід записати в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати зм'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 зм'якшеної води		
	Інгредієнти, один. вимір.	Концентрація	Вапно	Кальцин. сода	Cl ⁻ , г/л	Ж _{заг} , мг-екв/л	Ca ²⁺ , мг-екв/л
1	Cl ⁻ , г/л Ж _{заг} , мг-екв/л Ca ²⁺ , мг-екв/л Mg ²⁺ , мг-екв/л						
2	Cl ⁻ , г/л Ж _{заг} , мг-екв/л Ca ²⁺ , мг-екв/л Mg ²⁺ , мг-екв/л						
3	Cl ⁻ , г/л Ж _{заг} , мг-екв/л Ca ²⁺ , мг-екв/л Mg ²⁺ , мг-екв/л						
4	Cl ⁻ , г/л Ж _{заг} , мг-екв/л Ca ²⁺ , мг-екв/л Mg ²⁺ , мг-екв/л						

Контрольні питання

1. Що називається жорсткістю води? Які розрізняють види жорсткості?
2. Чому карбонатну жорсткість називають тимчасовою?
3. Які ви знаєте методи зм'якшення води? Відповідь підтвердите рівняннями реакцій.
4. Якими методами можна усунути карбонатну й некарбонатну жорсткість?
5. Які реагенти використовують при зм'якшенні води методом осадження?
6. Стоки водопідготовчих установок та їх вплив на навколишнє середовище.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ВИДАЛЕННЯ ОРГАНІЧНИХ ДОМІШОК ЗІ СТІЧНОЇ ВОДИ МЕТОДОМ ФІЛЬТРУВАННЯ ЧЕРЕЗ АКТИВОВАНЕ ВУГІЛЛЯ

Загальні рекомендації

Адсорбція розчинених речовин – це процес переходу молекул розчиненої речовини з обсягу розчину на поверхню твердого сорбенту під дією силового поля поверхні. При цьому конкурують два види міжмолекулярної взаємодії: гідратація молекул розчиненої речовини, тобто взаємодія їх з молекулами води в розчині й взаємодія молекул адсорбуючої речовини з поверхнею твердого тіла. Різниця енергій цих двох процесів й є та енергія, з якою речовина витягнута з розчину втримується на поверхні адсорбенту.

Як адсорбенти застосовують різні марки активованого вугілля, силікагель, кокс, торф і такі відходи, як зола й шлаки. Найпоширенішими адсорбентами є активоване вугілля. Вони володіють сильно розвинутою поверхнею: питома поверхня (поверхня 1 см³) становить до 1 000 м².

При динамічній адсорбції очищувану воду фільтрують через шар адсорбенту. У цьому випадку частка рідини переміщається відносно частки адсорбенту. Розподіл домішки між адсорбентом і стічною водою може бути виражений співвідношенням:

$$K_{adc} = \frac{a}{c}, \quad (7.1)$$

де K_{adc} – адсорбційна константа розподілу;

a – величина адсорбції домішки в мг/г адсорбенту (або в г/кг);

c – концентрація адсорбуючої речовини за шаром адсорбенту, мг/л;

Ефективність вилучення домішок зі стічної води у відсотках визначається за таким рівнянням:

$$\varepsilon = \frac{C_0 - C}{C_0}, \quad (7.2)$$

де C_0 – початкова концентрація домішки в очищуваній воді, мг/л.

Схема установки

Установка складається з напірної посудини (1), дозатора (2), вугільного фільтра (3) і приймачі (4). Випробувану стічну воду заливають у напірну посудину (1) при закритому крані дозатора (2). Після заповнення посудини (1) її закривають пробкою, крізь яку просмикнута відкрита з обох кінців скляна трубка. У вугільний фільтр (3) завантажують попередньо зважене на технічних вагах активоване вугілля марки КАД-йодний у кількості 25 г.

Вугілля КАД-йодний є продуктом обробки кам'яновугільного напівкоксу водяною парою при високій температурі.

Для виконання роботи підготовляють секундомір, 8–10 мірних циліндрів на 0,5 літра, промивалку, посуд і реактиви для фотоколориметричного визначення фенолу.

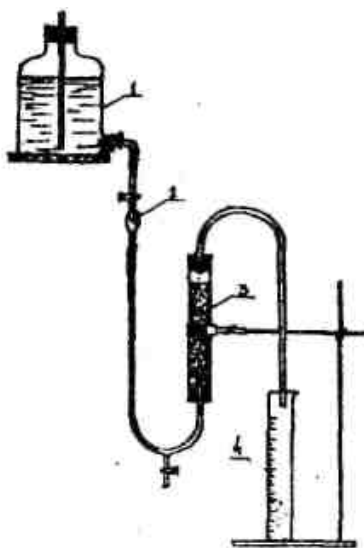


Рисунок 7.1 – Схема установки:

1 – напірна посудина; 2 – дозатор; 3 – вугільний фільтр; 4 – приймач

Проведення роботи

Установлюють приймач (4). Відкривають кран дозатора (2), одночасно регулюючи надходження у фільтр (3) води за допомогою відрахування крапель за певний інтервал часу за допомогою секундоміру. Фіксують час початку й закінчення досліду. Спочатку встановлюють потік крапель з розрахунку приблизно 10 крапель за 5 с (або приблизно 20 крапель за 10 с). Після того як

почнеться надходження води у приймач, регулюють відкриття крана таким чином, щоб швидкість подачі води становила близько 0,8–1,0 л/год (звіряючи по міркам циліндра на час, відрахований за секундоміром). Відбирають 6–8 порцій по 0,5 л очищеної води й визначають у них вміст фенолу фотоколориметричним методом. Визначають початкову концентрацію фенолу у воді, що надходить. Наприкінці досліду заміряють внутрішній діаметр трубки вугільного фільтра, см.

Обробка результатів спостережень

Результати досліду записують за такою формою:

Час початку досліду.

Час закінчення досліду.

Тривалість фільтрування – t , год.

Кількість завантаженого сухого вугілля – 25 г.

Початкова концентрація фенолу у воді C_0 , мг/л.

Дані, отримані при проведенні експерименту, зводять у таблицю 7.1.

На підставі отриманих даних обчислюють:

1. Середньогодинну кількість води, що надійшла на фільтрування:

$$W_{\text{сер}} = \frac{W}{t}, \text{ л/год.} \quad (7.3)$$

2. Середню швидкість фільтрування

$$V = 10 \frac{W_{\text{сер}}}{f}, \text{ м/год,} \quad (7.4)$$

де f – площа поперечного перерізу фільтра, виражена в см^2 ;

При підрахунку приймають внутрішній діаметр трубки вугільного фільтру 2,5 см, тоді $f = 4,9 \text{ см}^2$.

3. Кількість вилученого фенолу:

$$m = W(C_0 - C), \text{ мг.} \quad (7.5)$$

4. Величину адсорбції фенолу:

$$a = \frac{m}{25}, \text{ мг/г,} \quad (7.6)$$

де 25 – завантаження активованого вугілля у фільтр, г;

5. Ефективність вилучення фенолів:

$$\xi = \frac{C_0 - C}{C_0} \quad (7.7)$$

6. Адсорбційну константу розподілу:

$$K_{адс} = \frac{a}{c} \quad (7.8)$$

Таблиця 7.1 – Результати експерименту

Номер проби води, що очищується, від початку досліду (по 0,5 л)	Концентрація фенолу в пробі, мг/л
1	$C_1 =$
2	$C_2 =$
3	$C_3 =$
4	$C_4 =$
...	...
n	$C_n =$
Всього $W =$ літрів	Середня концентрація фенолу $C = \frac{C_1 + C_2 + \dots + C_n}{n}$, мг/л

За даними досліду будують графік, відкладаючи по осі абсцис кількість профільтрованої води в літрах від початку досліду, а по осі ординат – залишкову концентрацію фенолу в пробі (у мг/л).

Фотоколориметричний метод визначення фенолу в стічній воді

Піпеткою відбирають таку кількість стічної води, щоб після розбавлення в мірній колбі ємністю 100 мл концентрація фенолу в розчині становила 1–5 мг/л (якщо необхідно стічну воду попередньо розбавляють). Пробу стічної води (або її розведеного розчину) відбирають піпеткою й розміщують у мірну колбу ємністю 100 мл, туди ж додають 1 мл буферного розчину, ретельно перемішують, додають дистильовану воду, приблизно до половини ємності колби, знову перемішують, доливають 2 мл розчину 4-аміноантипірина і після

перемішування вводять розчин заліzosинеродистого калію (2 мл). Розчин доводять до мітки водою й перемішують.

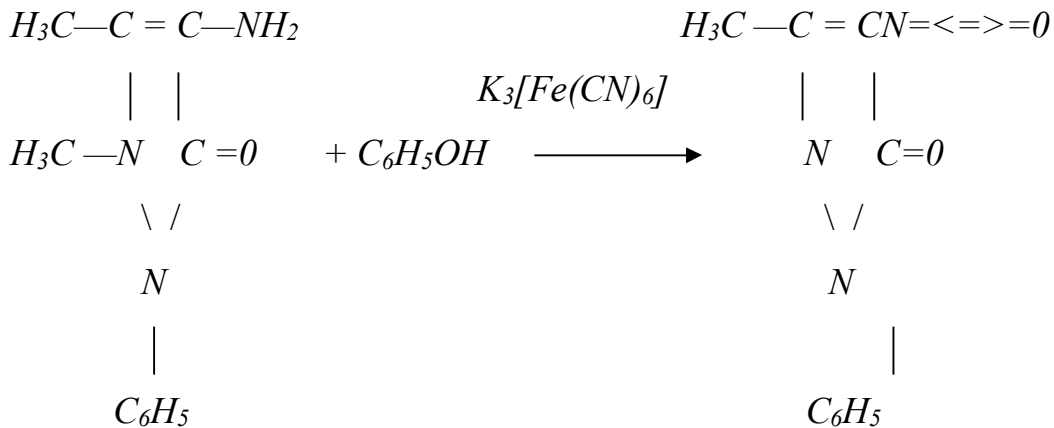
Після 5-хвилинної витримки забарвлений розчин наливають у кювету з відстанню між гранями 10 мм і поміщають у фотоколориметр. Колориметрування здійснюють із зеленим світлофільтром, фотоколориметр вмикають у електромережу за 20 хв до початку визначення.

Спочатку в праве й ліве плече фотоколориметра встановлюють кювети з дистильованою водою, потім відкривають шторки світлофільтра й встановлюють стрілку гальванометра на нуль.

Установку стрілки гальванометра на нуль починають при увімкненні гальванометра на малу чутливість (положення «0» показує, що гальванометр вимкнений, «1» – увімкнений на малу чутливість, «2» – увімкнений на більшу чутливість. При увімкненні рукоятку грубого налагодження встановлюють у положення «1», потім перемикають гальванометр у положення «2» й остаточно встановлюють гальванометр рукояткою точного налагодження. Після установки гальванометр вимикають (встановлюють у положення «0»). Наступний етап полягає у визначенні оптичної щільності застосовуваних розчинів реагентів («глухий дослід»). Для цього в мірну колбу на 100 мл до дистильованої води додають всі реагенти (без аналізованої проби води).

Отриманий для «глухого дослід» розчин заливають у два кювети, які встановлюють у праве й ліве плече фотоколориметра, відкривають шторки світлофільтра, вмикають гальванометр на чутливість «1», а потім на чутливість «2» і за допомогою відповідних рукояток установлюють його стрілку на нуль. Після цього закривають шторки світлофільтра й у праве плече фотоколориметра замість установленної кювети поміщають кювету з досліджуваним розчином. Після відкриття шторок стрілка гальванометра відхиляється від нульового положення. Обертанням вимірювального барабана встановлюють стрілку гальванометра знову на нуль. Величину оптичної щільності розчину відраховують за поділками правого барабана.

При взаємодії фенолу з 4-аміноантипирином у лужному середовищі в присутності заліzosиньородистого калію утворюється забарвлена сполука, інтенсивність якої залежить від концентрації фенолу. При цьому відбувається така реакція:



Концентрацію фенолу в розведеному розчині C_1 , у мг/л визначають за калібрувальною кривою.

Концентрацію C_n розраховують з урахуванням зробленого розведення

$$C_n = C_1 \cdot n, \text{ мг/л}, \quad (7.9)$$

де n – кратність розведення.

Бажано, щоб концентрація C_1 , що визначається за калібрувальною кривою перебувала в її середній частині, цього досягають шляхом регулювання кратності розведення « n ».

Контрольні питання

1. Що називається сорбцією, адсорбцією, абсорбцією?
2. Суть фотоколориметричного визначення фенолів у стічних водах.
3. Феноли: фізико-хімічні властивості, будова, ізомерія.
4. Джерела утворення фенолів в природних водах.
5. Вплив фенолів на гідрохімічний режим водного об'єкта.
6. ГДК фенолів в водних об'єктах рибогосподарського призначення та господарсько-питного і культурно-побутового водокористування.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

ПОБУДОВА ІЗОТЕРМИ АДСОРБЦІЇ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ З ВОДИ

Загальні рекомендації

Органічні домішки можуть бути вилучені з водного розчину за допомогою адсорбентів, таких як активоване вугілля, зола, шлаки й інші тверді матеріали. Ефективність адсорбенту стосовно домішки оцінюється показником, що називають «величиною адсорбції». Цей показник зазвичай виражають у ммоль/г або мг/г (г/кг) адсорбенту. Оскільки його відносять до одиниці ваги адсорбенту, його називають «питомою адсорбцією». Величину адсорбції можна виражати у вагових відсотках. Порівнюючи значення питомої адсорбції будь-якої домішки на різних адсорбентах, можна визначити, який з них більш придатний для видалення цієї домішки з водного розчину.

Величина адсорбції залежить від температури, за якої відбувається цей процес, і її значення знижується з підвищенням температури.

При збільшенні концентрації розчиненої речовини величина адсорбції зростає.

Зв'язок між величиною адсорбції і рівноважною концентрацією домішок у розчині характеризується ізотермою адсорбції, яка описується:

$$\text{рівнянням Фрейндліха } a = K \cdot C^n,$$

$$\text{рівнянням Лангмюра } a = a_0 \frac{C}{C + B},$$

де a – питома адсорбція, ммоль/г (мг/г або % вага);

a_0 – гранична величина адсорбції для заданого адсорбенту, ммоль/г (мг/г);

C – рівноважна концентрація адсорбованої домішки у воді, що знаходиться в контактi з адсорбентом, ммоль/л (мг/л);

a_0, K, n, B – константи, що визначаються експериментально.

Ізотерму будують за експериментальними даними в системі координат, де по осі ординат відкладають питому адсорбцію, а по осі абсцис – рівноважну концентрацію домішок.

Початкова ділянка ізотерми більш точно описується рівнянням Фрейндліха, а послідуєча, більш полого ділянка – рівнянням Лангмюра. Для знаходження констант K і n у рівнянні Фрейндліха його логарифмують і воно набуває такого вигляду:

$$\lg a = \lg K + n \lg C.$$

За дослідною кривою, після підрахування значень $\lg a$ та $\lg C$, і відкладаючи їх на координатних осях, отримують пряму лінію. Тангенс кута нахилу прямої дає константу n , а відсікаємий нею на осі ординат відрізок – константу K .

Для визначення констант рівняння Ленгмюра його зручно перетворити так:

$$\frac{C}{a} = \frac{B}{a_0} + \frac{C}{a_0}$$

За дослідною кривою обчислюють значення $\frac{C}{a}$, потім, зображуючи графічно, в функції від $\frac{C}{a}$ отримують пряму, нахил якої визначає константу a_0 , а відрізок на осі ординат – константу B .

Визначивши вид рівняння ізотерми адсорбції і його константи, можна обчислити величину питомої адсорбції при будь-якій рівноважній концентрації розчину, а також необхідну дозу адсорбенту для досягнення заданого ефекту вилучення домішок зі стічної води.

Схема установки

Колби (1) з водним розчином, що досліджується і добавленим до нього адсорбентом встановлюють на платформу (2) апарата для струшування, який приводиться у рух за допомогою електромотора (3). Колби закріплюють на платформі апарата за допомогою затискачів (4). Перед включенням апарата у мережу змінного струму його необхідно заземлити. Увімкнення апарата здійснюють за допомогою тумблера, розташованого у електромотора.

Для виконання роботи підготовлюють 8 колб Ерленмеєра з плоским дном на 250 мл з пробками, мірний циліндр на 100 мл, 4 бюкси для зважування

активованого вугілля, 4 лійки для фільтрування, фільтрувальний папір, посуд и реактиви для фотоколориметричного визначення фенолу.

Проведення роботи

Побудову ізотерми здійснюють на прикладі адсорбції фенолів з водного розчину. У вихідній стічній воді визначають вміст фенолу.

У колби Ерленмеєра (4 шт.) заливають мірним циліндром по 100 мл досліджуваного розчину. Потім додають попередньо зважені на аналітичних вагах навіски активованого вугілля. В першу колбу 3,0 г, в другу – 2,5 г, в третю – 2,0 г, у четверту – 1,5 г. Колби закривають пробками, встановлюють в апарат для струшування і після включення його, вміст колб перемішують протягом 60 хв. Фіксують час початку досліду і температуру у приміщенні. Після виключення апарата водний розчин відстоюється від частинок вугілля протягом 15 хв, після чого розчини фільтрують через паперовий фільтр, відкидаючи перші порції (10–15 мл). Фільтрати збирають в підготовлені колби. У кожному фільтраті визначають вміст фенолів фотоколориметричним методом.

Обробка результатів спостереження

У журналі спостережень фіксують початок і кінець досліду, температуру, концентрацію фенолів у вихідному розчині C_0 г/л, об'єм вихідного розчину V мл, тип адсорбенту.

Результати дослідів заносять у таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 – Результати експерименту

Наважка адсорбенту m , г	Рівноважна концентрація фенолу у розчині C , г/л	Адсорбція a , % вага

Величину адсорбції визначають за формулою:

$$a = \frac{(C_0 - C) \cdot V \cdot 100}{100 \cdot m}, \% \quad (8.1)$$

За даними дослідів будують ізотерму, відкладаючи значення « a » у відсотках по осі ординат, а по осі абсцис – значення « C » в мг/л, потім знаходять константи рівнянь ізотерми адсорбції.

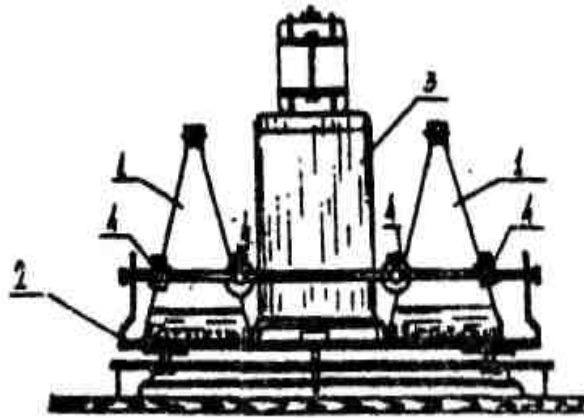


Рисунок 8.1 – Схема установки:

1– колба, 2– платформа, 3– електромотор,
4 – затискач

Контрольні питання

1. Від чого залежить величина адсорбції?
2. Які типи ізотерм адсорбції вам відомі?
3. Яким способом можна визначити форму ізотерми адсорбції?
4. Якими рівняннями описуються ізотерми адсорбції? Чим вони відрізняються?
5. Навести рівняння ізотерми адсорбції Ленгмюра.
6. Які відмінності в адсорбції на межах розділу: тверде тіло – газ, газ – розчин, розчин – тверде тіло.
7. Написати рівняння ізотерми Фрейндліха і вказати умови його застосування.
8. Як графічним шляхом визначаються постійні V і n в ізотермі Фрейндліха?

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

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

ТЕМА 1 ЗАСТОСУВАННЯ ВОДИ В ПРОМИСЛОВОСТІ

1. Особливості систем виробничого водопостачання.
2. Джерела водопостачання.
3. Типи водоспоживання.
4. Витрати води на промислових підприємствах.
5. Вимоги споживачів до якості води.

Контрольні питання

1. Системи водопостачання промислових підприємств.
2. Види споживання води у виробництві.
3. Норми водопостачання.
4. Які вимоги ставляться до якості охолоджуючої 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.

ТЕМА 2 СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Основні схеми виробничого водопостачання.
2. Раціональні системи водокористування на промислових підприємствах.
3. Критерії ефективності використання води у виробництві.

Контрольні питання

1. Існуючі схеми використання води на промислових підприємствах.
2. Послідовно-оборотні системи водопостачання. Їх переваги перед прямоточними системами.
3. Ускладнення в роботі діючих систем водопостачання та водовідведення промислових підприємств.

4. Чим відрізняються замкнені системи водопостачання від оборотних?
5. У чому полягає сутність раціонального використання води?
6. Сформулюйте основні тенденції раціонального водокористування на сучасному етапі.

ТЕМА 3 БАЛАНСИ ВОДИ ТА СОЛЕЙ В ОБОРОТНИХ ЦИКЛАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Втрати води в оборотних системах. Водний баланс оборотних систем.
2. Поняття коефіцієнта концентрування солей або коефіцієнта випаровування. Визначення K_k на підставі водного балансу системи.
3. Визначення коефіцієнта концентрування через сольовий баланс системи.
4. Водно-хімічний режим оборотних систем.

Контрольні питання

1. Поняття продувки й підживлення систем оборотного водопостачання.
2. Рівняння водно-сольового балансу.
3. Використання коефіцієнта концентрування добре розчинних солей для розрахунків водно-хімічного режиму роботи систем оборотного водопостачання.

ТЕМА 4 СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДИ

1. Класифікація систем охолодження.
2. Система водяного охолодження. Принцип і схеми.
3. Випарне охолодження, принцип і схеми.
4. Техніко-економічні показники систем охолодження.

Контрольні питання

1. Наведіть класифікацію систем охолодження води.
2. Від чого залежить витрата охолоджуючої води?
3. Як здійснюють охолодження холодною водою?
4. У чому полягають переваги випарного охолодження в порівнянні з водяним?

ТЕМА 5 ОХОЛОДЖУВАЧІ ВОДИ

1. Процеси охолодження в охолоджувачах.
2. Класифікація споруд для охолодження води.
3. Якісні і кількісні характеристики роботи охолоджувачів.
4. Водосховища-охолоджувачі.
5. Бризкальні басейни.
6. Класифікація градирень, їх конструкції.
7. Умови застосування охолоджувачів.

Контрольні питання

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

ТЕМА 6 ОБРОБКА ВОДИ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Причини та види заростання труб і теплообмінних апаратів.
2. Поняття стабільності води, рівняння вуглекислотної рівноваги.
3. Методи обробки води для попередження карбонатних відкладень, корозії труб і теплообмінних апаратів.

Контрольні питання

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

3. Назвіть основні методи запобігання щільним сольовим відкладенням в оборотних системах водопостачання.

4. Які методи запобігання сольовим відкладенням застосовують в системах водопостачання газоочисток конверторних цехів?

ЗМ 2 РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ВОДИ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

ТЕМА 7 МЕТОДИ ПІДГОТОВКИ ВОДИ ДЛЯ ПОТРЕБ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Особливості водопостачання підприємств теплоенергетики.
2. Основні методи й процеси підготовки води.
3. Попередня очистка (обробка) води у прояснювачах.
4. Фільтрування води. Класифікація фільтрів.
5. Прояснювальні (швидкі) фільтри. Конструкції і принцип роботи безнапірних і напірних фільтрів.

Контрольні питання

1. Основні технологічні процеси й споруди, що використовують при підготовці води.
2. Від чого залежить вибір способу обробки води?
3. Завдання попередньої очистки води.
4. Конструкція і принцип роботи безнапірних швидких кварцових і пінополістирольних фільтрів, напірних фільтрів.

ТЕМА 8 ЗМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ

1. Класифікація методів зм'якшення води, сутність процесу.
2. Зм'якшення води реагентними методами.
3. Зм'якшення води катіонуванням.
4. Na-катіонування, H-, H-Na-катіонування.

Контрольні питання

1. У чому полягає сутність катіонообмінного методу зм'якшення води?
2. Які основні типи катіонообмінних матеріалів?
3. Опишіть хімізм катіонообмінного процесу.
4. Які є типи катіонообмінних фільтрів?

5. Назвіть переваги й недоліки процесу Na-катіонування при його організації в один і два ступеня.

6. Опишіть схему Na-катіонітового зм'якшення води.

7. Що таке повна й робоча обмінна ємкість катіоніта?

8. Опишіть H-катіонітове зм'якшення води.

9. Опишіть H-Na-катіонування води.

ТЕМА 9 ЗНЕСОЛЕННЯ, ЗНЕКРЕМНЕННЯ ВОДИ

1. Часткове й повне знесолення води. Схеми установок для іонітового знесолення води.

2. Знекремнення води, основні методи, схема установки.

3. Повне знесолення і знекремнення води.

4. Випарні установки для знесолення води.

Контрольні питання

1. У чому полягає сутність технології іонообмінної підготовки води?

2. Як здійснюється процес регенерації іонітів?

3. Які є способи утилізації регенераційних розчинів?

4. Поясніть принцип дії іонітових фільтрів і фільтрів змішаної дії?

5. Реагентний метод знекремнення води.

6. Опишіть установку для реагентного знекремнення води.

7. Вплив температури та інших показників на процес знекремнення води.

8. Що таке знесолення і опріснення води?

9. Сутність іонообмінного способу знесолення води?

10. Опишіть установку для іонітового знесолення води.

11. Опишіть аніоніти, їх типи, хімізм процесу.

12. У чому суть випарного способу знесолення води?

13. Опишіть одноступеневу випарну установку.

ТЕМА 10 ВИДАЛЕННЯ З ВОДИ РОЗЧИНЕНИХ ГАЗІВ

1. Основи процесу дегазації.

2. Фізичні методи видалення газів з води, типи дегазаторів.

3. Хімічні методи видалення розчинених газів.

4. Видаленні з води вільної вуглекислоти (декарбонізація води).

5. Термічна деаерація води.

Контрольні питання

1. З якою метою організовують очистку води від розчинених газів?
2. Принципи очистки води від розчинених газів і типи дегазаторів.
3. Які реагенти використовують для хімічного зв'язування розчинених у воді O_2 і CO_2 ?

ТЕМА 12 БЕЗСТІЧНІ СХЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ НА ТЕС

1. Сучасні технології підготовки води на ТЕС.
2. Стоки установок хімічної підготовки води та їх вплив на навколишнє середовище.
3. Принципи створення маловідходних (безстічних) технологій водопідготовки. Створення безстічних схем зворотного охолодження на ТЕС.

Контрольні питання

1. За якими напрямками ведеться створення безстічних установок підготовки води?
2. Безстічні методи зм'якшення катіонуванням з відновленням й повторним використанням стічних вод.
3. Які питання вирішують під час створення замкнених систем водяного охолодження й систем з мінімальним скидом води на ТЕС?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водне господарство промислових підприємств : навч. посібник / Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 280 с.
2. Орлов В. О. Водопостачання та водовідведення : підручник / В. О. Орлов, Я. А. Тугай, А. М. Орлова. – Київ : Знання, 2011. – 359 с.
3. Орлов В. О. Водопостачання промислових підприємств : навч. посібник / В. О. Орлов, Л. Л. Литвиненко, А. М. Орлова. – Київ : Знання, 2014. – 278 с.
4. Запольський А. К. Фізико-хімічна теорія коагуляційного очищення води / А. К. Запольський ; Національний університет харчових технологій. – Київ : НУХТ, 2009. – 39 с.
5. Клименко Л. П. Техноекологія : посібник / Л. П. Клименко. – [2-ге вид., перероб. і доп.]. – Сімферополь : Фонд Екопринт, 2000. – 542 с.
6. 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.
7. Выбор и оптимизация параметров систем оборотного водоснабжения: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Комплексное использование водных ресурсов» / СПб. гос. архит.-строит. ун-т; сост. Ю. А. Феофанов. – СПб., 2007. – 27 с.
8. Ветошкин А. Г. Процессы и аппараты защиты гидросферы : учеб. пособие / А. Г. Ветошкин. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. – 188 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	0,0014	0,0015	0,0016

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

$T, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40
К	0,0007	0,0009	0,0011	0,0013	0,0015

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

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації
до виконання лабораторних робіт
та самостійного вивчення
із навчальної дисципліни

**«ТЕХНОЛОГІЯ ЕФЕКТИВНОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ У
ПРОМИСЛОВОСТІ»**

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальностей 192 – Будівництво та цивільна інженерія
і 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія
та водні технології)*

Укладач **АЙРАПЕТЯН** Тамара Степанівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *Т. С. Айрапетян*

План 2019, поз.110 М.

Підп. до друку 29.07.2021. Формат 60 × 84/16.
Електронне видання. Ум. друк. арк. 3,3.

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.