

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра екології та технології рослинних полімерів

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

***до проведення практичних занять
та до виконання самостійної роботи
з курсу “Фізико-хімічні основи очистки води”***

**для напрямку підготовки: 6.040106 „Екологія, охорона навколишнього
середовища та збалансоване природокористування”**

Київ 2012

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра екології та технології рослинних полімерів

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

***до проведення практичних занять
та до виконання самостійної роботи
з курсу “Фізико-хімічні основи очистки води”***

**для напрямку підготовки: 6.040106 „Екологія, охорона навколишнього
середовища та збалансоване природокористування”**

Рекомендовано Вченою радою
інженерно-хімічного факультету НТУУ «КПІ»
протокол № від грудня 2012 р.

Київ 2012

Методичні вказівки до проведення практичних занять та до виконання самостійної роботи з дисципліни «Фізико-хімічні основи очистки води» для студентів напрямку підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»/Укл. М.Д. Гомеля, О.В. Глушко, Ю.В. Носачова, 2012.- 50 с.

Укладачі: . М.Д. Гомеля, О.В. Глушко, Ю.В. Носачова

Рецензент: В.М. Радіонов, к.х.н., доцент

Відповідальний редактор: В. М. Радовенчик, д.т.н., професор

ЗМІСТ

Вступ	5
1. Загальні положення про практичні заняття.....	6
2. Тематика практичних занять.....	8
3. Загальні положення щодо самостійної роботи студентів.....	11
4. Організація контрольних заходів самостійної роботи студентів.....	13
5. Приклади виконання завдань по самостійній роботі.....	14
Список рекомендованої літератури.....	43
Додаток А.....	45
Додаток Б.....	48

ВСТУП

Дисципліна „Фізико-хімічні основи очистки води” відноситься до групи вибіркових дисциплін самостійного вибору навчального закладу за напрямком підготовки 6.040106 - „Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування”.

Згідно ОКХ курс „Фізико-хімічні основи очищення води” формує відповідні компетенції, а саме знання процесів освітлення та знебарвлення води, очищення води від розчинних органічних та неорганічних домішок, здатність проводити дослідження очищення води реагентними та фізико-хімічними методами, здатність забезпечити очищення води на станціях водо підготовки та очищення стічних вод, на промислових підприємствах та переробку і утилізацію елюатів та осадів, які утворюються у вигляді відходів при очищення води.

Процеси очищення води є основою сучасних технологій кондиціонування та підготовки води, очищення стоків, що забезпечують надійний захист природних водойм від антропогенного впливу. Вирішення основних проблем раціонального використання водних ресурсів можливе лише з позицій чистого виробництва та чистих технологій. Саме знання фізико-хімічних основ очищення води дозволить майбутнім фахівцям вирішувати завдання охорони гідросфери планети через впровадження ресурсозберігаючих технологій водокористування.

Мета курсу – дати студентам знання фізико-хімічних основ сучасних методів очищення води, необхідний комплекс умінь та навиків необхідних для проведення наукових досліджень в даному напрямку, для створення сучасних технологій водопідготовки та очищення стічних вод для кваліфікованого управління існуючими технологічними процесами.

В результаті вивчення теоретичних основ дисципліни, виконання лабораторних робіт студенти здатні:

- використовувати теоретичні основи сучасних методів кондиціонування та очищення води, основні підходи по організації ресурсозберігаючих маловідходних технологій водокористування, водопідготовки та водоочищення, основні напрямки розвитку науки в даній галузі при виборі процесів очищення води;

- проводити дослідження по основних сучасних напрямках водоочищення, аналізувати отримані наукові результати, вибирати напрямки впровадження отриманих результатів в реальні технології, розробляти технологічні рішення щодо вирішення проблем водоочищення, реалізувати процеси очищення води на практиці.

Студенти вивчають «Фізико-хімічні основи очистки води» протягом двох семестрів (5-го та 6-го). Курс базується на знаннях курсів «Загальної та неорганічної хімії», «Органічної хімії», «Аналітичної хімії». Знання, одержані студентами при вивченні методів очищення води, допоможуть їм в оволодінні ряду основних дисциплін, що вивчаються на інженерно-хімічному факультеті в рамках підготовки бакалаврів з напрямку 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування».

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

Практичні заняття є ефективною формою організації навчальних занять, з якими органічно поєднуються лекції та СРС.

Основними дидактичними цілями їх проведення є:

- Забезпечити педагогічні умови для поглиблення і закріплення знань студентів з основ курсу, набутих під час лекцій та у процесі вивчення навчальної інформації, що виноситься на самостійне опрацювання;

- Спонукаати студентів до колективного творчого обговорення найбільш складних питань навчального курсу, активізації їх до самостійного вивчення наукової та методичної літератури, формування у них навичок самоосвіти;

– Оволодіння методами аналізу фактів, явищ і проблем, що розглядаються, та формування умінь і навичок до здійснення різних видів майбутньої професійної діяльності.

Практичні заняття виконують такі основні функції:

- **Навчальну** (поглиблення, конкретизацію, систематизацію знань, засвоєних під час лекцій та у процесі самостійної підготовки до семінару);
- **Розвивальну** (розвиток логічного мислення студентів, набуття ними умінь працювати з різними літературними джерелами, формування умінь і навичок аналізу фактів, явищ, проблем тощо);
- **Виховну** (виховання економічної, екологічної культури і мислення, прищеплення інтересу до вивчення конкретної дисципліни та до фаху, формування потреби здорового способу життя тощо);
- **Діагностично-корекційну** (контроль за якістю засвоєння студентами навчального матеріалу, виявлення прогалин засвоєння та їх подолання) та ін.

Визначаючи методичну концепцію організації і проведення семінарських занять, слід виходит з того, що:

- Під час вивчення дисципліни студенти повинні засвоїти їх **провідні ідеї** (зміст понять, положень, законів, теорій та ін.); знати галузі їх використання; вмісти застосовувати набуті знання, вміння й навички під час вивчення фахових дисциплін, у майбутній практичній діяльності;
- До практичних занять ставлять **загальнодидактичні вимоги** (науковість, доступність, єдність форми і змісту, забезпечення зворотнього зв'язку, проблемність тощо);
- У методиці проведення практичних занять є **певні особливості**, зумовлені логікою викладання дисципліни;
- Необхідно забезпечити високий рівень **мотивації** (вивчення теми слід починати із з'ясування її значення для засвоєння даної чи інших дисциплін, у майбутній професійній діяльності);

- Дотримання принципу професійної спрямованості та здійснення різнорівневих міжпредметних зв'язків з іншими дисциплінами, практичним навчанням забезпечує формування єдиної системи знань, умінь та навичок студентів;

- Важливим є також формування професійної культури і мислення;
- У процесі проведення практичного заняття необхідно забезпечувати органічну єдність теоретичного і дослідницько-експериментального пізнання;
- Практичні заняття повинні органічно поєднуватися з лекційними, практичними і лабораторними заняттями та самостійною роботою студентів.

Відмінною особливістю практики як форми навчальних занять є:

- Активна участь самих студентів у з'ясуванні сутності проблем, питань, що були винесені на розгляд;
- Викладач надає студентам можливість вільно висловлюватися під час розгляду питань, що винесені на обговорення, допомагає їм вірно будувати свої міркування;
- Така навчальна мета практичного заняття вимагає, щоб студенти були добре підготовлені до заняття;
- Якщо студенти не підготовлені до заняття, то практичне заняття перетворюється у фронтальну бесіду (викладач задає питання, студенти відповідають на них).

2. ТЕМАТИКА ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ (5-Й СЕМЕСТР)

Тема 1. Показники якості води.

Практичне заняття 1. Фізичні та хімічні показники якості води. Визначення характеристик води для різних галузей виробництва. Еколого-гігієнічна класифікація якості поверхневих вод (2 год.)

Література: [1, 2, 3, 7, 23]

Тема 2. Реагентні методи очищення води.

Практичне заняття 2. Коагуляція в очищенні води. Флокуляція в очищенні води. Вибір технологічної схеми реагентного освітлення та опріснення води (2 год.)

Література: [1, 2, 3, 24]

Практичне заняття 3. Очищення води відстоюванням. Розрахунок ступеню освітлення води в залежності від дози коагулянту. Розрахунок витрати коагулянту на освітлення води в залежності від оптимальної дози коагулянту та добової продуктивності станції водопідготовки (2 год.)

Література: [1, 2, 3]

Практичне заняття 4. Кінетика коагулювання. Розрахунок констант швидкості коагулювання в залежності від типу коагуляції – молекулярно-кінетичної чи градієнтної (2 год.)

Література: [1, 2, 3, 24]

Практичне заняття 5. Розрахунок характеристичної в'язкості розчинів флокулянтів. Розрахунок середньої молекулярної маси флокулянту в залежності від характеристичної в'язкості його розчину та типу флокулянту (2 год.)

Література: [2, 3]

Практичне заняття 6. Визначення швидкості фільтрування для фільтрів із зернистим завантаженням. Розрахунок ступеню освітлення води та брудомісткості фільтрів (2 год.)

Література: [2, 3, 21]

Практичне заняття 7. Вивчення процесів флокуляції. Розрахунок ступеню освітлення води в залежності від дози флокулянту. Оцінка характеристик флокулянту при висадженні позитивно- та негативно заряджених золів (2 год.)

Література: [2, 3, 21]

Тема 3.

Практичне заняття 8. Напірна флотація. Фізико-хімічні основи процесу.

Розрахунок технологічних параметрів процесу (2 год.)

Література: [2, 9]

Практичне заняття 9. Пневматична флотація. Розрахунок ступеню очищення.

Визначення ступеню переходу розчину в піну (2 год.)

Література: [2, 9]

ТЕМАТИКА ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ (6-Й СЕМЕСТР)

Тема 4. Адсорбція в очищенні води

Практичне заняття 1. Сорбція в статичних умовах. Розрахунок ізотерми адсорбції на основні експериментальних даних (2 год).

Література: [3, 21]

Практичне заняття 2. Ізотерма адсорбції. Теоретичний розрахунок ізотерми адсорбції (2 год).

Література: [3, 7, 9]

Практичне заняття 3. Визначення сорбційної ємності іоніту в динамічних умовах, використання ізотерм адсорбції (2 год.)

Література: [3, 7, 9]

Тема 5. Іонний обмін в очищенні води

Практичне заняття 4. Розрахунок обмінної ємності іоніту в статичних та динамічних умовах. Розрахунок робочої обмінної ємності. Розрахунок часу захисної дії шару іоніту (2 год).

Література: [3, 7]

Практичне заняття 5. Вибір іонообмінних матеріалів для очищення води із заданими характеристиками. Обґрунтування технологічної схеми очищення води іонами (2 год).

Література: [3, 9]

Практичне заняття 6. Розрахунок витрати реагентів на регенерацію іонітів в залежності від типу іонів та іоніту. Визначення витрати води на промивку іоніту (2 год.)

Література: [3, 7, 9]

Тема 6. Мембранні методи очищення води

Практичне заняття 7. Визначення коефіцієнту затримання на мембрані розчинних речовин з розчинів заданої концентрації. Визначення об'ємного потоку через мембрану (2 год.)

Література: [3, 15]

Практичне заняття 8. Визначення залежності параметрів мембранного очищення від робочого тиску. Вибір та обґрунтування схеми мембранного очищення води (2 год.)

Література: [3, 15]

Тема 7.

Практичне заняття 9. Визначення виходу озону від напруги на електродах озонатора. Розрахунок питомої витрати озону на окислення органічних домішок (2 год.)

Література: [3, 15]

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

Самостійна робота студентів регламентується Положенням про організацію навчального процесу в вищих навчальних закладах України, затвердженого наказом Міністерства освіти України № 161 від 2 червня 1993 року та Положенням про систему нарахування балів за кредитно-модульною системою.

Положенням про організацію навчального процесу в вищих навчальних закладах України передбачено, що навчальний час, відведений для самостійної роботи студентів визначається робочим навчальним планом і повинен становити не менше 0,5 загального обсягу навчального часу студента, відведеного для вивчення конкретної дисципліни.

Мета самостійної роботи студентів:

- розвиток творчих здібностей та активізація розумової діяльності студентів;

- формування в студентів потреби безперервного самостійного поповнення знань;

- здобуття студентом глибокої системи знань;

- самостійна робота студентів як результат морально-вольових зусиль.

Завдання самостійної роботи студентів:

- навчити студентів самостійно працювати над літературою;

- творчо сприймати навчальний матеріал і його осмислювати;

- набути навички щоденної самостійної роботи в одержанні та узагальненні знань, вмінь.

Зміст самостійної роботи студентів з конкретної дисципліни визначається навчальною програмою дисципліни та робочою навчальною програмою вивчення дисципліни.

На самостійну роботу можуть виноситись:

- підготовка до лекцій;

- частина теоретичного матеріалу, менш складного за змістом;

- підготовка до семінарських занять;

- виконання індивідуальної роботи.

Самостійна робота над засвоєнням навчального матеріалу з конкретної дисципліни може виконуватись у бібліотеці, навчальних кабінетах, комп'ютерних класах (лабораторіях), а також у домашніх умовах.

Залежно від особливостей дисциплін викладач може видавати студентам різні види завдань самостійної роботи:

▼ переробка інформації отриманої безпосередньо на обов'язкових навчальних заняттях;

▼ робота з відповідними підручниками та особистим конспектом лекцій;

▼ самостійне вивчення окремих тем або питань із розробкою конспекту;

▼ робота з довідковою літературою;

▼ написання рефератів, повідомлень;

▼ творчі завдання (доповіді, проекти, есе, огляди тощо);

▼ виконання підготовчої роботи до лабораторних та практичних занять;

▼ виконання індивідуальних графічних, розрахункових завдань;

▼ виконання курсових робіт (проектів);

▼ підготовка письмових відповідей на проблемні питання;

▼ виготовлення наочності;

▼ складання картотеки літератури за змістом наступної фахової діяльності;

Успішне виконання завдання самостійної роботи можливе за умови наявності у студентів певних навичок: вміння працювати з книгою (складати план, конспект, реферат); проводити аналіз навчального матеріалу (складати різні види таблиць, проводити їх аналіз).

4. ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЬНИХ ЗАХОДІВ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

Контрольні заходи включають поточний і підсумковий контроль знань студентів.

Поточний контроль є органічною частиною навчального процесу і проводиться під час лекцій, семінарських, практичних і лабораторних занять.

Форми поточного контролю:

- усна співбесіда за матеріалами розглянутої теми на початку наступної лекції з оцінкою відповідей студентів (5-10 хв);
- письмове фронтальне опитування студентів на початку чи в кінці лекції (5-10 хв). Відповіді перевіряються і оцінюються у позааудиторний час;
- фронтальний безмашинний стандартизований контроль знань студентів за кількома темами, винесеними на самостійну роботу (5-10 хв). Проводиться на початку семінарських, практичних чи лабораторних занять;
- перевірка домашніх завдань;
- перевірка набутих вмінь на практичних, лабораторних заняттях;
- тестова перевірка знань студентів;
- інші форми.

При кредитно-модульній системі навчання самостійна робота впливає на загальний рейтинг з дисципліни. Контролюється після закінчення логічно завершеної частини лекцій та інших видів занять з дисципліни і її результати враховуються при виставленні підсумкової оцінки.

Навчальний матеріал навчальної дисципліни, передбачений робочим навчальним планом для засвоєння студентами у процесі самостійної роботи, виноситься на підсумковий контроль (екзамени у 5-у та 6-у семестрах).

5. ПРИКЛАДИ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ ПО САМОСТІЙНІЙ РОБОТІ

5.1 Пом'якшення води

Жорсткість води - сукупність властивостей, зумовлених вмістом у воді іонів Ca^{2+} та Mg^{2+} . Сумарна концентрація іонів Ca^{2+} (кальцієва жорсткість води) і Mg^{2+} (магнієва жорсткість води) називається загальною жорсткістю води. Розрізняють жорсткість тимчасову (карбонатну) і постійну (некарбонатну). Карбонатна жорсткість води відповідає тій частині іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} , яка еквівалентна гідрокарбонатам, що містяться у воді.

Розрізняють наступні типи води (по жорсткості):

Дуже м'які – 0...1,5 мг-екв/дм³;
 М'які - 1,5...3,0 мг-екв/дм³;
 Середньожорсткі - 3,0...4,5 мг-екв/дм³;
 Досить жорсткі - 4,5...6,5 мг-екв/дм³;
 Жорсткі - 6,5...11,0 мг-екв/дм³;
 Дуже жорсткі - понад 11,0 мг-екв/дм³.

Присутність у воді значної кількості солей кальцію або магнію робить воду непридатною для багатьох технічних цілей. Так, при тривалому живленні парових котлів жорсткою водою їх стінки поступово покриваються щільним шаром накипу. Такий шар вже при товщині в 1 мм сильно знижує передачу теплоти стінками котла і, відповідно, веде до збільшення витрати палива.

Крім того, вона може слугувати причиною утворення здуття і тріщин, як в кіп'ятильних трубах, так і на стінках самого котла.

Жорсткою водою не можна користуватися при проведенні деяких технологічних процесів, наприклад при фарбуванні.

Наведені вище приклади вказують на необхідність видалення з води, що застосовується для технічних цілей, солей кальцію і магнію. Видалення цих солей, так зване пом'якшення води, входить в систему водопідготовки - обробки природної води, яка використовується для живлення парових котлів і для різних технологічних процесів.

Існуючі в промисловості вимоги до якості води визначаються специфічними умовами тих чи інших технологічних процесів. Так, в охолоджувальних водооборотних системах загальна жорсткість води повинна бути в межах 1,5...7,0 мг-екв/дм³, карбонатна жорсткість - 1,5...3,0 мг-екв/дм³. Вимоги до якості води для підживлення систем охолодження залежать від типу системи:

Показник	Для оборотних систем	Для замкнутих систем
Жорсткість тимчасова	2 мг-екв/дм ³	0,9 мг-екв/дм ³
Жорсткість загальна	4 мг-екв/дм ³	1,9 мг-екв/дм ³

Вміст іонів жорсткості в енергетичній воді має бути в межах - 0,003...0,3 мг-екв/дм³.

Загальна жорсткість води господарсько-питного призначення повинна не перевищувати 7 мг-екв/дм³.

Пом'якшення і знесолення води - це основні процеси водопідготовки, які складаються з видалення солей кальцію, магнію та інших металів. Розрізняють фізичні, фізико-хімічні та хімічні способи пом'якшення води.

Фізичні способи - термічний (кип'ятіння), дистиляція і виморожування. Термічним способом видаляють солі тимчасової жорсткості. Дистильовану воду, що не містить солей, одержують перегонкою на спеціальних дистиляційних установках. Вона необхідна для приготування хімічно чистих реактивів, лікарських препаратів, в лабораторній практиці і т.п. Виморожування ґрунтується на різниці температур кристалізації води і домішок.

Фізико-хімічні способи - електрохімічні, основані на застосуванні електродіалізу, електроосмосу, електрокоагуляції, та іонообмінні, що одержали широке розповсюдження.

Хімічний спосіб пом'якшення води полягає в обробці її розчинами деяких хімічних сполук з метою зв'язування іонів Ca^{2+} , Mg^{2+} та інших в нерозчинні сполуки, що легко видаляються. Цей метод виправданий при відносно великих витратах води, оскільки пов'язаний з вирішенням ряду специфічних проблем: фільтрації осаду, точного дозування реагенту. Додаванням гашеного вапна усувають тимчасову (карбонатну) жорсткість. Додаванням соди - постійну (некарбонатну) жорсткість. З метою одночасного усунення обох видів жорсткості застосовують суміш гашеного вапна й соди - содово-вапняний метод. Кращим реагентом для усунення загальної жорсткості води є ортофосфат натрію Na_3PO_4 . Ортофосфати кальцію і магнію дуже погано розчиняються у воді, тому при його використанні досягається краще пом'якшення води.

Завдання 1

Визначити ступінь пом'якшення води (Z,%) залежно від рН розчину. При визначенні залишкової жорсткості 50 см³ проби води титрують 0,1 н розчином трилону Б.

Вихідні дані для вирішення завдання наведені в табл. 1.

Таблиця 1 - Залежність ефективності пом'якшення води з вихідною жорсткістю Жо від рН розчину

№ варіанта	Ж ₀ , мгекв/л	V _т , мл					Ж _{зал} , мгекв/л					Z				
		рН					рН					рН				
		9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	4,8	1,2	1,0	0,9	0,8	0,5										
2	5,7	1,4	1,3	1,1	1,0	0,6										
3	8,1	1,9	1,7	1,6	1,5	1,2										
4	7,8	2,1	2,0	1,9	1,7	1,5										
5	7,2	2,4	2,3	2,1	2,0	1,7										
6	4,9	1,3	1,2	1,0	0,8	0,6										
7	5,3	1,2	1,0	0,9	0,8	0,5										
8	6,0	1,4	1,3	1,1	1,0	0,6										
9	6,2	1,3	1,2	1,0	0,8	0,6										
10	6,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,7										
11	4,7	1,4	1,2	1,0	0,9	0,6										
12	8,3	1,9	1,7	1,6	1,5	1,2										
13	11,5	2,5	2,4	2,3	2,0	1,9										
14	6,0	2,1	1,9	1,7	1,4	1,0										
15	5,2	1,4	1,3	1,2	1,0	0,8										
16	5,8	1,6	1,5	1,3	1,0	0,7										
17	6,3	1,7	1,6	1,4	1,1	0,7										
18	6,2	2,1	1,9	1,8	1,5	1,2										
19	4,7	1,2	1,0	0,9	0,8	0,5										
20	5,1	1,4	1,3	1,1	0,9	0,6										

Приклад рішення задачі:

Визначити ступінь пом'якшення води (Z,%) з початковою жорсткістю 4,7 мгекв/дм³, при доведенні рН до 9,0, якщо при визначенні залишкової жорсткості на титрування проби води об'ємом 50 см³ пішло 1,3 см³ 0,1 н трилону Б .

Дано:

Ж₀= 4,7 мгекв/дм³

рН=9,0

V_т= 1,3 см³

C_Т=0,1 н

V_{пр}=50 см³

Z=?

Рішення:

Загальну жорсткість води визначають комплексометричним методом, який оснований на властивості трилону Б зв'язувати іони кальцію і магнію в комплексні сполуки, оптимальною умовою утворення яких є рН 8...10.

В якості індикаторів при комплексонометричній титруванні застосовують різні органічні речовини, в основному барвники, які утворюють комплекси з іонами металів (металлоіндикатори). Найбільшого поширення набули хромоген чорний ЕТ-00, кислотний хром темно-синій і мурексид.

Залишкову жорсткість води розраховують за формулою (1.1):

$$Ж_{ост} = \frac{C_T \cdot V_T \cdot 1000}{V_{пр}}, \text{ мг - экв / дм}^3 \quad (1.1)$$

де C_T - концентрація (нормальність використаного розчину трилону Б ($C_T = 0,1 \text{ Н}$);

V_T - об'єм трилону Б, см^3 , витраченого на титрування;

$V_{пр}$ - обсяг проби води взятої на аналіз, $V_{пр} = 50 \text{ см}^3$;

1000 - коефіцієнт перерахунку у мг-екв/ дм^3 .

Ступінь пом'якшення води ($Z, \%$) розраховують за формулою (1.2):

$$Z = \left(1 - \frac{Ж_{ост}}{Ж_0}\right) \cdot 100, \% \quad (1.2)$$

$$Ж_{ост} = \frac{C_T \cdot V_T \cdot 1000}{V_{пр}} = \frac{0,1 \cdot 1,3 \cdot 1000}{50} = 2,6 \text{ мг - экв / дм}^3$$

$$Z = \left(1 - \frac{2,6}{4,7}\right) \cdot 100 = 44,7\%$$

Відповідь: 44,7%.

Не дивлячись на те, що водні ресурси відносяться до категорії відновлювальних, їх інтенсивне використання в окремих районах і на деяких виробництвах нерідко невиправдано завищено, що призводить до виникненню їх дефіциту і, як наслідок, гальмує економічний і соціальний розвиток даної

території. Практично у всіх видах водоспоживання є суттєві резерви економії водних ресурсів. Особливо великі вони в промисловості. Для більшості промислових виробництв вимоги до якості використовуваної води значно менш жорсткі, ніж до складу вод, що підлягають скиданню у водний об'єкт або в міську систему водовідведення. Тому виробничі стічні води набагато вигідніше направляти на повторне використання в системах оборотного і послідовного водопостачання, ніж піддавати очищенню, що задовольняє умовам скиду. У системах оборотного водопостачання вода, використана в технологічному процесі, після відповідної обробки багаторазово використовується для виробничих потреб. У системах послідовного водопостачання вода, використана в одному технологічному процесі, після обробки або без такої направляється для використання в іншому технологічному процесі або на іншому виробництві. Обробка води забезпечує підтримання її властивостей відповідно до вимог конкретного технологічного процесу, що досягається охолодженням або очищенням від зайвого вмісту зважених речовин або плаваючих домішок, підвищеної мінералізації і т.д. Найбільшого поширення оборотні системи водопостачання отримали в теплообмінних циклах, де технологічна вода використовується для відведення зайвого тепла від працюючих агрегатів, після чого сама подається на охолодження. Охолодження води відбувається в градирнях (рис. 1) або в бризгальних басейнах (рис. 2).

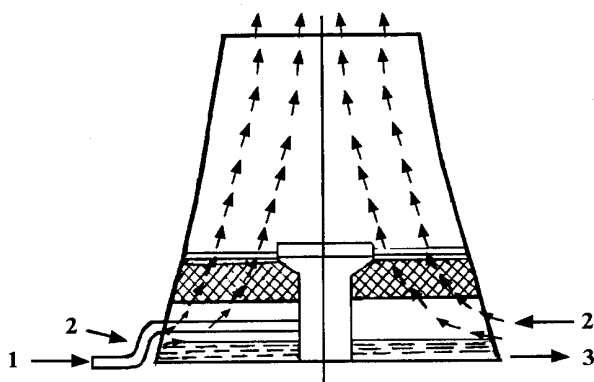


Рисунок 1 - Градирня баштового типу

1 - нагріта вода; 2 - подача повітря; 3 - охолоджена вода

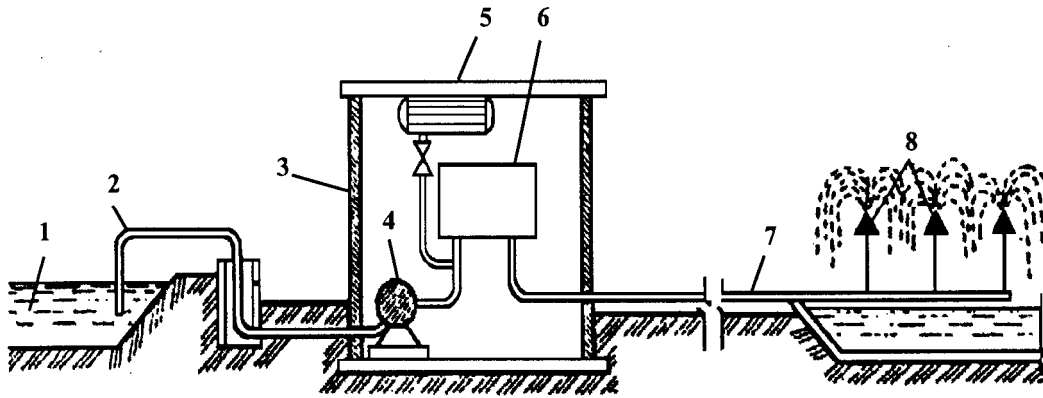


Рисунок 2 - Бризгальний басейн

1 - басейн з охолодженою водою; 2 - водозабір; 3 - будівля насосної; 4 - насос; 5 - запасний бак; 6 - конденсатор; 7 - трубопровід нагрітої води; 8 - фонтани

У процесі охолодження 2...3% води випаровується або розбризкується. Крім того, через негерметичності теплообмінної або водогінної мережі мають місце витіку води. Тому оборотні системи повинні постійно поповнюватися свіжою водою. За рахунок випаровування в оборотному циклі підвищуються мінералізація і жорсткість води, що призводить до відкладення солей (карбонатів кальцію і магнію) на стінках теплообмінної апаратури і водопровідних труб.

Для зниження мінералізації і жорсткості води в оборотній системі частина технологічної води (8...10%) періодично замінюють свіжою. Цей процес називається продувним циклом. Для повторного використання технологічної води, що мала контакт з сировиною або готовою продукцією, її піддають очистці відповідно до вимог технологічного процесу. Оборотноє водопостачання дозволяє в десятки разів зменшити споживання свіжої води. Так, наприклад, у виробництві синтетичного каучуку при використанні прямої системи водопостачання на кожну тону продукції витрачається 2100 м³ води, при оборотній системі додавання свіжої води становить 165 м³ на 1т каучуку.

Допустимий рівень жорсткості або вміст інших солей в свіжій воді, яка подається на підживлення системи, визначають з умов зберігання постійного складу оборотної води, яка циркулює в системі:

$$Q_{\text{св.}} \cdot Ж_{\text{доп.}} = (Q_{\text{к.в.}} + Q_{\text{п.п.}} + Q_{\text{продув.}}) \cdot Ж_{\text{об.}} \quad (1.3)$$

де $Ж_{\text{доп.}}$ - жорсткість свіжої води;

$Ж_{\text{об.}}$ - жорсткість води в оборотній системі;

$Q_{\text{к.в.}}$ - втрати води за рахунок краплинного виносу;

$Q_{\text{п.п.}}$ - виробничі втрати води;

$Q_{\text{продув.}}$ - скид води на продувку системи;

$Q_{\text{св.}}$ - подача свіжої води на підживлення.

Таким чином:

$$Ж_{\text{доп.}} = \frac{(Q_{\text{к.в.}} + Q_{\text{п.п.}} + Q_{\text{продув.}}) \cdot Ж_{\text{об.}}}{Q_{\text{св.}}}, \text{ мг-екв/дм}^3 \quad (1.4)$$

Подачу свіжої води на підживлення системи розраховують виходячи з рівняння матеріального балансу:

$$Q_{\text{св.}} = Q_{\text{к.в.}} + Q_{\text{п.п.}} + Q_{\text{продув.}} + Q_{\text{исп.}}, \text{ м}^3/\text{доб} \quad (1.5)$$

де $Q_{\text{исп.}}$ - втрати води на випаровування.

Завдання 2.

Визначити допустимий рівень жорсткості ($Ж_{\text{доп.}}$) свіжої води, що подається на підживлення водоциркуляційної системи охолодження, в залежності від обсягу води, що скидається на продувку системи. Вихідні дані для вирішення завдання наведені в табл. 2.

Таблиця 2 - Вихідні дані для розрахунку допустимого рівня жорсткості у воді подається на підживлення водоциркуляційної системи

№ варіанта	Общий объем системы, W , м^3	$Ж_{\text{об.}}$, мгэкв/дм^3	$Q_{\text{к.в.}}$, $\text{м}^3/\text{сут}$	$Q_{\text{исп.}}$, $\text{м}^3/\text{сут}$	$Q_{\text{п.п.}}$, $\text{м}^3/\text{сут}$	$Q_{\text{продув.}}$, $\text{м}^3/\text{сут}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	40000	5,0	0,3% W	2,0% W	0,9% W	0	4% W	8% W
2	50000	5,1	0,4% W	2,1% W	0,8% W	0	5% W	10% W
3	30000	4,8	0,5% W	2,5% W	1,0% W	0	6% W	12% W
4	70000	4,6	0,4% W	2,4% W	1,1% W	0	3% W	6% W
5	100000	4,5	0,3% W	2,3% W	1,2% W	0	4% W	8% W
6	80000	4,7	0,3% W	2,3% W	1,0% W	0	5% W	10% W
7	120000	5,2	0,4% W	2,5% W	0,9% W	0	7% W	14% W

8	90000	5,5	0,5% W	2,5% W	0,8% W	0	10% W	20% W
9	25000	5,3	0,5% W	2,6% W	0,7% W	0	3% W	6% W
10	140000	5,4	0,5% W	2,6% W	0,6% W	0	4% W	8% W
11	60000	4,7	0,4% W	2,5% W	0,9% W	0	3% W	7% W
12	50000	4,9	0,4% W	2,4% W	1,0% W	0	4% W	7% W
13	45000	5,2	0,5% W	2,5% W	1,0% W	0	3% W	6% W
14	95000	4,6	0,3% W	2,4% W	1,1% W	0	5% W	9% W
15	110000	4,3	0,4% W	2,5% W	1,2% W	0	5% W	10% W
16	35000	4,4	0,4% W	2,3% W	1,3% W	0	5% W	11% W
17	65000	4,2	0,3% W	2,5% W	1,4% W	0	4% W	8% W
18	48000	4,7	0,5% W	2,4% W	1,1% W	0	4% W	9% W
19	95000	5,1	0,5% W	2,3% W	1,4% W	0	4% W	10% W
20	105000	5,0	0,3% W	2,1% W	1,1% W	0	5% W	9% W

Приклад рішення задачі:

Визначити допустимий рівень жорсткості (Ждоп.) свіжої води, що подається на підживлення водооборотної системи охолодження, якщо загальний обсяг системи, $W - 92000 \text{ м}^3$; жорсткість води в оборотній системі, $Ж_{об.}, 4,5 \text{ мг-екв/дм}^3$; втрати води за рахунок краплинного виносу, $Q_{к.в.} - 0,3\% W \text{ м}^3/\text{доб}$; втрати води на випаровування, $Q_{исп.} - 2,5\% W \text{ м}^3/\text{доб}$, виробничі втрати води, $Q_{п.п.} 1,0\% W \text{ м}^3/\text{доб}$; скидання води на продувку системи, $Q_{продув.} - 4\% W \text{ м}^3/\text{доб}$.

Дано:

$$W = 92000 \text{ м}^3$$

$$Ж_{об.} = 4,5 \text{ мг-екв/дм}^3$$

$$Q_{к.в.} = 0,3\% W \text{ м}^3/\text{доб}$$

$$Q_{исп.} = 2,5\% W \text{ м}^3/\text{доб}$$

$$Q_{п.п.} = 1,0\% W \text{ м}^3/\text{доб}$$

$$Q_{продув.} = 4\% W \text{ м}^3/\text{доб}$$

$$Ж_{доп.} = ?$$

Рішення:

$$Q_{к.в.} = 0,003 \cdot 92000 = 276 \text{ м}^3 / \text{доб.}$$

$$Q_{исп.} = 0,025 \cdot 92000 = 2300 \text{ м}^3 / \text{доб}$$

$$Q_{п.п.} = 0,01 \cdot 92000 = 920 \text{ м}^3 / \text{доб}$$

$$Q_{продув.} = 0,04 \cdot 92000 = 3680 \text{ м}^3 / \text{доб}$$

$$Ж_{доп.} = \frac{(Q_{к.в.} + Q_{п.п.} + Q_{продув.}) \cdot Ж_{об.}}{Q_{к.в.} + Q_{п.п.} + Q_{продув.} + Q_{исп.}} = \frac{(276 + 920 + 3680) \cdot 4,5}{276 + 920 + 3680 + 2300} = 3,06 \text{ мг-екв-дм}^3$$

Відповідь: $3,06 \text{ мг-екв/дм}^3$.

5.2 КОАГУЛЮВАННЯ ДОМІШОК У ВОДІ

У переважній більшості випадків в процесах водопідготовки і очищення стічних вод виникає проблема видалення з води завислих дрібнодисперсних часток і колоїдних домішок.

Більшість речовин, які обумовлюють каламутність і кольоровість води, знаходяться в ній у колоїдному стані. Для освітлення та знебарвлення води використовують методи обробки, які базуються на застосуванні реагентів (коагулянтів і флокулянтів), що забезпечують переведення в осад колоїдно-дисперсних домішок і забруднень.

Коагулянти - це солі алюмінію і заліза, здатні гідролізуватися у воді з утворенням золів гідроксидів, які можуть коагулювати зі завислими і колоїдними частинками, присутніми у воді.

Крім коагуляції, процеси освітлення води інтенсифікують за рахунок адсорбції і адгезії домішок на розвинутій поверхні гідроксидів металу.

Укрупнення домішок, які знаходяться у воді, супроводжується підвищенням їх гідравлічної крупності, що підвищує ефективність відстоювання, а також ефективність фільтрування, за рахунок покращеної адгезії дисперсних і колоїдних частинок до фільтруючого завантаження.

Ступінь освітлення води розраховують за формулою (2.1):

$$Z^1 = \left(1 - \frac{M_{\text{ост}}}{M_0}\right) \cdot 100, \% \quad (2.1)$$

Ступінь знебарвлення води розраховують за формулою (2.2):

$$Z^2 = \left(1 - \frac{Ц_{\text{ост}}}{Ц_0}\right) \cdot 100, \% \quad (2.2)$$

Завдання 3.

Визначити необхідний об'єм розчину коагулянту (V_k) в залежності від його концентрації (C_k), об'єму оброблюваної води (V) і обраної дози коагулянту (D_k). Вихідні дані для вирішення завдання приведені в табл. 3.

Таблиця 3 - Залежність об'єму розчину коагулянту в залежності від обсягу оброблюваної води і дози коагулянту

№ вар.	С _к , мг/дм ³	V, дм ³	Д _к , мг/дм ³						V _к , см ³ (мл)					
			Проба						Проба					
			1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1000	0,2	5	10	15	20	25	30						
2	2000	0,9	2	7	15	20	25	30						
3	500	0,5	10	15	20	25	30	35						
4	1000	0,6	20	25	30	40	50	70						
5	500	0,4	20	40	60	80	100	120						
6	1000	0,8	5	15	25	40	50	70						
7	1500	0,8	5	10	20	30	40	50						
8	1000	0,9	50	70	100	150	200	250						
9	700	0,8	5	10	30	50	70	100						
10	800	1,0	10	20	30	50	70	100						
11	900	0,9	10	20	30	40	50	60						
12	1100	0,7	20	30	40	50	60	70						
13	1200	0,5	5	10	20	40	60	80						
14	1000	0,4	10	20	40	80	120	160						
15	900	0,8	5	15	25	35	50	60						
16	500	0,2	20	30	40	70	90	100						
17	800	0,4	15	30	45	70	100	150						
18	700	0,47	20	40	60	100	140	180						
19	600	0,5	5	10	20	30	50	70						
20	1000	0,5	10	20	30	40	50	70						

Приклад рішення задачі:

Визначити необхідний об'єм розчину коагулянту (V_к), якщо концентрація коагулянту С_к, 1100 мг/дм³, обсяг оброблюваної води V, 0,9 дм³, доза коагулянта (Д_к) - 20 мг/дм³.

Дано:

$$C_k = 1100 \text{ мг/дм}^3$$

$$V = 0,9 \text{ дм}^3$$

$$D_k = 20 \text{ мг/дм}^3$$

$$V_k = ?$$

Рішення:

$$C_k \cdot V_k = D_k \cdot V,$$

$$\text{звідси} \quad V_k = \frac{D_k \cdot V}{C_k}, \text{ см}^3$$

$$V_{\kappa} = \frac{20 \cdot 0,9 \cdot 1000}{1100} = 16 \text{ см}^3$$

Відповідь: 16 см³.

Завдання 4.

Визначити ступінь освітлення води ($Z^1, \%$) і ступінь її знебарвлення ($Z^2, \%$) залежно від вихідної каламутності (M_0) і кольоровості води (K_0), каламутності ($M_{\text{ост}}$) і кольоровості ($K_{\text{зал}}$) очищеної води.

Вихідні дані для вирішення завдання наведені в табл. 4.

Приклад рішення задачі:

Визначити ступінь освітлення води ($Z^1, \%$) і ступінь її знебарвлення ($Z^2, \%$) якщо вихідна каламутність розчину (M_0) становила 120 мг/дм³, кольоровість води (K_0) - 190 град. Після обробки проби коагулянтном залишкова каламутність ($M_{\text{зал}}$) склала - 60 мг/дм³, кольоровість ($K_{\text{зал}}$) - 97 град.

Дано:

$$M_0 = 120 \text{ мг/дм}^3$$

$$K_0 = 190 \text{ град}$$

$$M_{\text{ост}} = 60 \text{ мг/дм}^3$$

$$K_{\text{ост}} = 97 \text{ град.}$$

$$Z^1, \% = ?$$

$$Z^2, \% = ?$$

Рішення:

Ступінь освітлення розраховують по формулі (2.1):

$$Z^1 = \left(1 - \frac{60}{120}\right) \cdot 100 = 50\%$$

Ступінь знебарвлення розраховують по формулі (2.2):

$$Z^2 = \left(1 - \frac{97}{190}\right) \cdot 100 = 48,95\%$$

Відповідь: 50%, 48,95%.

Таблиця 4 - Вихідні дані для розрахунку ступеня освітлення (Z^1) та ступеня пом'якшення води, в залежності від залишкової каламутності (M_o) і кольоровості (K_o) води

[illegible]

5.3 ФІЛЬТРУВАННЯ ВОДИ

При підготовці води для цілей господарсько-питного та виробничого водопостачання, а також для очищення стічних вод промислових підприємств у переважній більшості випадків використовують фільтрувальні споруди та окремі установки, основним елементом яких є шар зернистою фільтруючого завантаження (кварцевий пісок, подрібнений керамзит, клиноптилоліт, антрацит та ін.)

Фільтруванням, в широкому сенсі, називають процес розділення суспензій з використанням пористих перегородок, які затримують тверду фазу і пропускають рідку фазу.

Механічне фільтрування є необхідним елементом попереднього очищення води перед системами знесолення, будь це зворотньоосмотична установка або іонний обмін. Від якості механічного очищення безпосередньо залежить ефективність, надійність і довговічність систем знесолення. Основні функції механічного фільтрування полягають у відділенні грубих домішок, у тому числі зважених твердих речовин, колоїдного заліза, органічних комплексів, скупчень бактерій і вірусів.

В якості фільтруючого завантаження широко використовується річковий або кар'єрний кварцевий пісок.

Кварцевий пісок - природний матеріал, який характеризується високим вмістом оксиду кремнію і незначною кількістю розчинних сполук кальцію, заліза і марганцю. Кварцевий пісок інертний, недорогий і широко поширений матеріал. Він вигідно відрізняється мономінеральністю, однорідністю за гранулометричним складом для вибраної фракції.

Фільтруюче завантаження є основним робочим елементом фільтрувальних споруд, тому правильний вибір його параметрів має першорядне значення для їх нормальної роботи. Використання зернистих матеріалів для відділення механічних домішок з водного середовища викликано особливістю будови їх шару, в якому частинки матеріалу чергуються з порожнечами, що називаються порами шару. З'єднуючись між собою, пори шару утворюють порові канали, по

яких протікає вода. Від форми, розміру і кількості таких каналів в одиниці об'єму шару буде залежати не тільки гідравлічний режим руху води, але і якість її очищення.

До кварцевого піску для фільтрування води, особливо питної, висуваються строгі вимоги за вмістом кремнію (не менше 98%) і глинистих домішок (їх прагнуть мінімізувати). Регламентується хімічна стійкість зерен до взаємодії з водою, що фільтрується і механічну міцність частинок кварцевого піску - наскільки легко вони подрібнюються і стираються.

В залежності від типу фільтрів використовується від 2 до 5 різних фракцій кварцу, для нижніх шарів - більші частки, для верхніх - дрібний кварцовий пісок. Для фільтрування води, нафтопродуктів та інших рідин віддається перевага середнім фракціям піску.

Завдання 5. Розрахувати основні геометричні характеристики кварцевого піску за результатами ситового аналізу. Вихідні дані для вирішення завдання наведені в табл. 5. Маса проби піску 100 г.

Таблиця 5 - Результати ситового аналізу проби піску ($m = 100$ г)

№ варіанта	Об'єм пор, V_p , см^3	Об'єм шару піску, V_0 , см^3	Залишок (г), на ситі з діаметром отворів, d , мм						
			0,25	0,41	0,56	0,68	0,80	1,01	1,28
1	24	58	9	6	36	30	6	3	2
2	25	59	8	7	35	31	5	4	3
3	26	60	7	8	37	32	4	3	2
4	27	62	8	4	38	30	6	4	2
5	28	62	9	5	37	32	5	4	2
6	23	57	8	6	36	30	7	3	3
7	24	58	8	7	35	32	6	3	3
8	25	59	9	5	37	31	5	4	2
9	26	60	7	5	38	32	6	3	3
10	24	59	6	7	36	31	7	4	2
11	23	57	8	6	35	31	7	3	2
12	25	60	9	5	36	32	6	3	2
13	26	61	9	3	37	34	7	2	2
14	26	59	8	6	36	32	5	3	2
15	27	62	7	8	35	32	5	3	3
16	28	63	8	7	37	30	6	3	3
17	28	64	7	7	38	29	7	4	3
18	26	61	9	6	36	32	6	4	3
19	24	58	8	7	38	31	5	3	3
20	23	57	7	8	36	30	7	3	3

Приклад рішення задачі:

Розрахувати основні геометричні характеристики кварцового піску, якщо маса проби піску 100 г, об'єм пор, $V_{\text{п}}$, 23 см³, об'єм шару піску, V_0 , 57 см³. За результатами ситового аналізу залишок на ситі діаметром 0,25 см склав 7г; 0,41 см - 8г; 0,56 см - 36г; 0,68 см - 30 г; 0,80 см - 7г; 1,01 см - 3 г; 1,28 см - 3г.

Дано:

$m=100\text{г};$	$m_1=7\text{ г}$
$V_{\text{п}}=23\text{ см}^3$	$m_2=8\text{ г}$
$V_0=57\text{ см}^3$	$m_3=36\text{ г}$
$d_1=0,25\text{ мм}$	$m_4=30\text{ г}$
$d_2=0,41\text{ мм}$	$m_5=7\text{ г}$
$d_3=0,56\text{ мм}$	$m_6=3\text{ г}$
$d_4=0,68\text{ мм}$	$m_7=3\text{ г}$
$d_5=0,80\text{ мм}$	
$d_6=1,01\text{ мм}$	
$d_7=1,28\text{ мм}$	

Розрахувати основні геометричні характеристики кварцового піску.

1. Для проведення розрахунків необхідно визначити залишок на ситі в частках від вихідної маси q_i

$$q_i = \frac{m_i}{m}, \quad (3.1)$$

де m_i – маса заклишка на ситі визначеного діаметру;

m – загальна маса наважки піску.

$$q_1 = \frac{7}{100} = 0,07$$

$$q_2 = \frac{8}{100} = 0,08$$

$$q_3 = \frac{36}{100} = 0,36$$

$$q_4 = \frac{30}{100} = 0,3$$

$$q_5 = \frac{7}{100} = 0,07$$

$$q_6 = \frac{3}{100} = 0,03$$

$$q_7 = \frac{3}{100} = 0,03$$

2. Діаметр зерен піску (d_i) визначається як середньоарифметичне значення між розмірами отворів сита (d_0) через яке пісок пройшов і на якому затримався:

$$d_i = \frac{d_{0_{i+1}} + d_{0_i}}{2}, \text{ мм} \quad (3.2)$$

де $d_{0_{i+1}}$ – діаметр отвору сита, через яке пісок пройшов;

d_{0_i} – діаметр сита, на якому пісок затримався.

$$d_1 = \frac{0,25 + 0,41}{2} = 0,33_{\text{мм}}$$

$$d_2 = \frac{0,56 + 0,41}{2} = 0,485_{\text{мм}}$$

$$d_3 = \frac{0,68 + 0,56}{2} = 0,62_{\text{мм}}$$

$$d_4 = \frac{0,8 + 0,68}{2} = 0,74_{\text{мм}}$$

$$d_5 = \frac{1,01 + 0,8}{2} = 0,905_{\text{мм}}$$

$$d_6 = \frac{1,28 + 1,01}{2} = 1,145_{\text{мм}}$$

3. Пористість шару піску (E) розраховують як відношення об'єму пір ($V_{\text{пор}}$) до об'єму шару піску (V_c).

$$E = \frac{V_{\text{пор}}}{V_c} \quad (3.3)$$

$$E = \frac{23}{57} = 0,4$$

4. Середній поверхневий діаметр зерен d розраховують за формулою (3.4):

$$d = \frac{1}{\sum \frac{q_i}{d_i}}, \text{ мм} \quad (3.4)$$

$$d = \frac{1}{\frac{0,07}{0,33} + \frac{0,08}{0,485} + \frac{0,36}{0,62} + \frac{0,3}{0,74} + \frac{0,07}{0,905} + \frac{0,03}{1,145}} = 0,68_{\text{мм}}$$

5. Питому поверхню шару піску (S_0) розраховують за формулою (3.5):

$$S_0 = 6 \sum \frac{q_i}{d_i}, \text{ см}^{-1} (\text{см}^2 / \text{см}^3) \quad (3.5)$$

$$S_0 = 6 \cdot \left(\frac{0,07}{0,33} + \frac{0,08}{0,485} + \frac{0,36}{0,62} + \frac{0,3}{0,74} + \frac{0,07}{0,905} + \frac{0,03}{1,145} \right) = 8,77 \text{ см}^{-1}$$

6. Еквівалентний діаметр каналів (d_E) розраховують за формулою (3.6):

$$d_E = \frac{4E}{S_0(1-E)}, \text{ мм} \quad (3.6)$$

$$d_E = \frac{4 \cdot 0,4}{8,77 \cdot (1 - 0,4)} = 0,3, \text{ мм}$$

7. Коефіцієнт форми (α_ϕ) (відношення найбільшого розміру до найменшого) розраховують за формулою (3.7):

$$\alpha_\phi = \frac{3d_E(1-E)}{2 \cdot E \cdot d} \quad (3.7)$$

$$\alpha_\phi = \frac{3 \cdot 0,3 \cdot (1 - 0,4)}{2 \cdot 0,4 \cdot 0,68} = 0,99$$

8. Коефіцієнт неоднорідності (η) розраховують за формулою (3.8):

$$\eta = \frac{d_{80}}{d_{10}} \quad (3.8)$$

де d_{80} і d_{10} – діаметри отворів сит, через які проходить 80 і 10% зерен піску;

$$d_{10} = d_m + \frac{(d_{m+1} - d_m)(10 - p_m)}{p_{m+1} - p_m} \quad (3.9)$$

де d_m - діаметр найближчого сита, через яке пройшло менше 10% всього матеріалу;

d_{m+1} - теж, але більше 10%;

p_m - процентна кількість матеріалу, який пройшов через сито діаметром d_m ;

p_{m+1} - теж саме для сита діаметром d_{m+1} .

$$d_{80} = d_k + \frac{(d_{k+1} - d_k)(80 - p_k)}{p_{k+1} - p_k} \quad (3.10)$$

де d_k - діаметр сита, через яке пройшло менше 80% всього матеріалу;

d_{k+1} - теж саме, але більше 80%;

p_k - процентна кількість матеріалу, який пройшов через сито діаметром d_k ;

p_{k+1} - процентна кількість матеріалу, який пройшов через сито діаметром d_{k+1} .

Так як маса наважки 100г, то кожен грам піску відповідає 1%.

*Процентна кількість
матеріалу, яка пройшла
через сито діаметром d, %*

Залишок на ситі, г

*Діаметр отворів,
d, мм*

97%	3г	1.28мм
94%	3г	1.01мм
87%	7г	0.8мм
57%	30г	0.68мм
21%	36г	0.56мм
13%	8г	0.41мм
6%	7г	0.25мм

$$6 \langle 10 \Rightarrow d_m = 0,25 \text{ мм}$$

$$13 \rangle 10 \Rightarrow d_{m+1} = 0,41 \text{ мм}$$

$$d_{10} = 0,25 + \frac{(0,41 - 0,25)(10 - 6)}{13 - 6} = 0,34 \text{ мм}$$

$$87 \rangle 80 \Rightarrow d_{k+1} = 0,8 \text{ мм}$$

$$57 \langle 80 \Rightarrow d_k = 0,68 \text{ мм}$$

$$d_{80} = 0,68 + \frac{(0,8 - 0,68)(80 - 57)}{87 - 57} = 0,77 \text{ мм}$$

$$\eta = \frac{0,77}{0,34} = 2,26$$

Завдання 6.

За залежністю залишкової каламутності води після фільтрування (C) від висоти шару завантаження (x) визначити коефіцієнти в рівнянні

$$y = ax + b,$$

$$\text{де, } y = \frac{C}{C_0}$$

C_0 - вихідна каламутність води; x - висота шару завантаження.

Для кожного значення розрахувати ступінь освітлення води по формулі (3.11):

$$Z = (1 - \frac{C}{C_0}) \cdot 100, \% \quad (3.11)$$

Вихідні дані для вирішення завдання наведені в табл. 6.

Таблиця 6 - Залежність залишкової каламутності води (С) при початковій каламутності (С₀) від висоти шару завантаження

№ вар.	С ₀ , мг/дм ³	Залишкова каламутність води, С, мг/дм ³					
		Висота шару завантаження, см					
		10	12	14	16	18	20
1	30	12,0	10,0	8,0	6,0	4,0	1,5
2	50	14,5	12,2	10,0	7,9	6,0	4,1
3	70	22,3	18,0	13,7	10,1	5,9	2,2
4	60	24,3	21,0	18,0	14,8	12,1	8,9
5	40	14,1	11,0	7,9	5,2	1,9	0,0
6	30	16,0	12,9	10,1	6,8	4,2	1,0
7	40	18,1	14,9	12,1	8,8	6,1	2,9
8	80	29,0	25,1	20,8	17,2	12,9	9,0
9	100	32,0	27,1	21,9	16,9	12,2	6,9
10	90	33,0	26,9	21,1	14,9	9,1	3,0
11	80	28,0	24,0	20,2	15,8	12,1	8,2
12	70	29,2	24,0	18,9	14,1	8,9	4,1
13	60	16,0	12,9	10,1	6,8	4,2	1,0
14	50	14,1	11,0	7,9	5,2	1,9	0,0
15	80	22,3	18,0	14,0	10,0	5,8	2,1
16	90	29,0	25,1	20,8	17,2	12,9	9,0
17	110	32,0	27,1	21,9	16,9	12,2	6,9
18	100	24,3	21,0	18,0	14,8	12,1	8,9
19	120	33,0	26,8	21,2	15,0	9,2	3,0
20	50	16,0	12,9	10,1	6,9	4,1	1,0

Приклад рішення задачі:

При пропусканні води з початковою каламутністю 50 мг/дм³ через шар фільтруючого завантаження 10 см залишкова каламутність води, С, склала 16 мг/дм³; 12 см - 12,9 мг/дм³; 14 см - 10,1 мг/дм³; 16 см - 6,9 мг/дм³; 18 см - 4,1 мг/дм³; 20 см - 1,0 мг/дм³. За залежністю залишкової каламутності води після фільтрування (С) від висоти шару завантаження (х) визначити коефіцієнт в рівнянні $y = ax + b$. Для кожного значення розрахувати ступінь освітлення води.

Дано:

С ₀ =50 мг/дм ³	С ₁ =16 мг/дм ³
х ₁ =10 см	С ₂ =12,9 мг/дм ³
х ₂ =12 см	С ₃ =10,1 мг/дм ³
х ₃ =14см	С ₄ =6,9 мг/дм ³
х ₄ =16см	С ₅ =4,1 мг/дм ³
х ₅ =18см	С ₆ =1,0 мг/дм ³
х ₆ =20см	

а=? b=? Z₁=? Z₂=? Z₃=? Z₄=? Z₅=?
Z₆=?

Рішення:

Рівняння $y = ax + b$ – математична залежність, що описує ефективність очистки від висоти шару завантаження.

де $y = C/C_0$, C_0 – вихідна каламутність води, мг/дм³;

C – залишкова каламутність води, мг/дм³

x – висота шару завантаження.

$$x_1 = 10,$$

$$y_1 = \frac{16}{50} = 0,32$$

$$x_2 = 12,$$

$$y_2 = \frac{12,9}{50} = 0,258$$

$$x_3 = 14,$$

$$y_3 = \frac{10,1}{50} = 0,202$$

$$x_4 = 16,$$

$$y_4 = \frac{6,9}{50} = 0,138$$

$$x_5 = 18,$$

$$y_5 = \frac{4,1}{50} = 0,082$$

$$x_6 = 20,$$

$$y_6 = \frac{1}{50} = 0,02$$

Для того, щоб обчислити значення коефіцієнтів a і b необхідно розв'язати систему рівнянь:

$$\left. \begin{array}{l} 0,32 = 10a + b \\ 0,258 = 12a + b \\ 0,202 = 14a + b \\ 0,138 = 16a + b \\ 0,082 = 18a + b \\ 0,02 = 20a + b \end{array} \right\}$$

Вирішивши систему рівнянь, отримаємо:

$$a = -0,031$$

$$b = 0,63$$

2 Ступінь освітлення води розраховують за формулою (3.11):

$$Z_1 = (1 - \frac{16}{50}) \cdot 100 = 68\%$$

$$Z_2 = (1 - \frac{12,9}{50}) \cdot 100 = 74\%$$

$$Z_3 = (1 - \frac{10,1}{50}) \cdot 100 = 79,8\%$$

$$Z_4 = (1 - \frac{6,9}{50}) \cdot 100 = 86,2\%$$

$$Z_5 = (1 - \frac{4,1}{50}) \cdot 100 = 91,8\%$$

$$Z_6 = (1 - \frac{1}{50}) \cdot 100 = 98\%$$

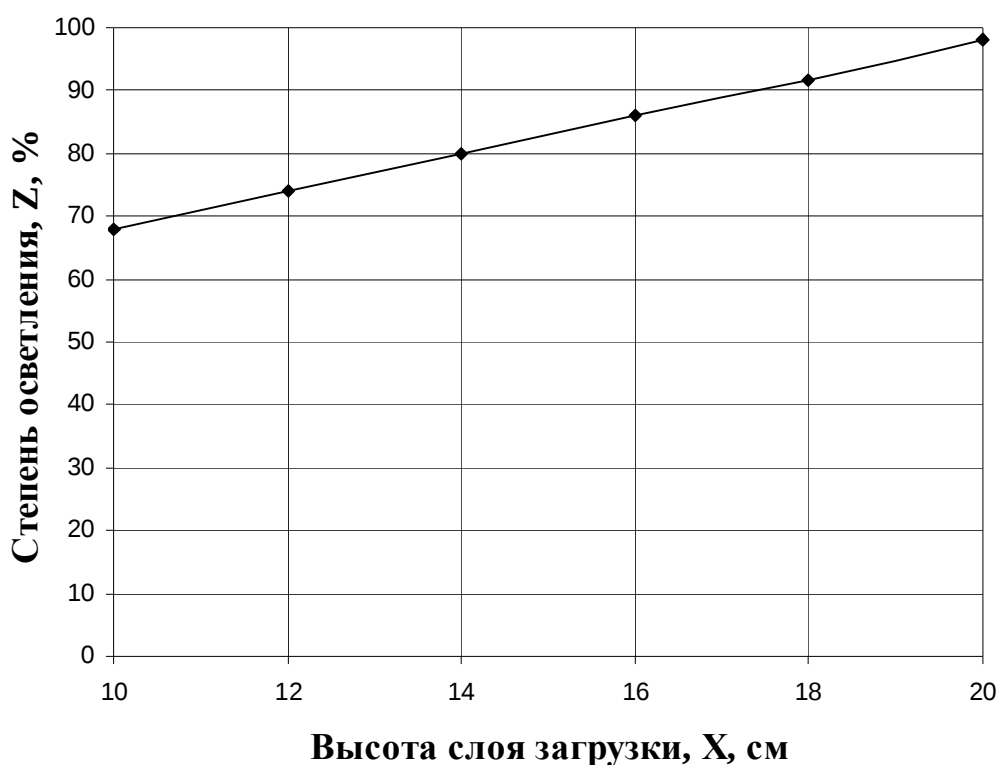


Рисунок 4 - Залежність ступеня освітлення води від висоти шару фільтруючого завантаження

Відповідь: $a=-0,031$; $b=0,62$; $Z_1=68\%$; $Z_2=74\%$; $Z_3=79,8\%$; $Z_4=86,2\%$; $Z_5=91,8\%$; $Z_6=98\%$.

5.4 ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ІОНООБМІННОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ХРОМАТІВ НА АНІОНІТІ АВ-17-8

Сполуки хрому у вигляді солей хромової кислоти Cr^{3+} містять стічні води ряду виробництв. Останнім часом розроблено велика кількість методів очищення води від сполук хрому. До найбільш поширених методів відносять:

реагентний метод, електрокоагуляцію, гальванокоагуляцію, іонний обмін, відновлення на активованому вугіллі.

Кожен з цих методів має свої переваги і недоліки і може бути використаний в залежності від конкретних умов. При утилізації розчинів, що містять великі концентрації хроматів (до 300 г/дм^3), доцільно використовувати колони, заповнені активованим вугіллям. Проте залишкові концентрації хроматів у воді будуть значно перевищувати рівень гранично-допустимої концентрації (ГДК). Найбільш ефективним при очищенні малоконцентрованих стічних вод від хроматів (при концентрації хроматів до 100 мг/дм^3) є іонообмінний метод. У разі його використання забезпечується значна економія природної води за рахунок організації замкнутих схем водопостачання, регенерується основна кількість хроматів.

Процес іонного обміну - це процес, при якому відбувається обмін протиіонов іонообмінного матеріалу на іони, які знаходяться у воді.

Іонообмінний матеріал - це водонерозчинний природний або синтетичний матеріал, на поверхні якого фіксовані аніонні, катіонні або і ті й інші групи. Тип іоніту залежить від виду протиіонов. Якщо протиіонами є аніони, то це аніоніт з фіксованими катіонними групами; якщо протиіонами є катіони, то це катіоніт з фіксованими аніонними групами. Іоніти, в яких фіксованими групами є катіони і аніони, а відповідно протиіонами є аніони і катіони називаються поліамфолітом.

В залежності від способу отримання та призначення іоніти випускають в різних товарних формах: у вигляді порошку, сферичних гранул, волокнистого матеріалу, листів або плівок (іонітових мембран). На міжнародному ринку іоніти надходять під фірмовими назвами: амберліти (США, Японія), дуоліти (США, Франція), дауекси (США), зероліти (Великобританія), леватіти (Німеччина), вофатіти (Німеччина) та багато ін. Основні промислові марки вітчизняних іонітів: катіоніти КУ-1, КУ-2, СГ-1, КБ-2, КБ-4, аніоніти АВ-16, АВ-17, АН-1, АН-2Ф, АН- 18, АН-31, ЕДЕ-10П.

Для характеристики іонообмінного матеріалу використовують поняття ємності іоніту. Ємність іоніту - це кількість іонів (мг-екв), які здатні сорбуватись одиницею об'єму або маси іоніту. Найчастіше визначається в г-екв/м³.

Завдання 7.

Побудувати вихідну криву адсорбції хроматів в залежності від вихідної концентрації розчину (C_0), об'єму проби (V_p), обсягу іоніту (V_i), обсягу пропущеного розчину. Визначити обмінну ємність іоніту до проскоку, повну обмінну динамічну ємність іоніту. Вихідні дані наведені в табл. 7.

Таблиця 7 - Залежність вихідної концентрації хроматів від пропущеного об'єму розчину

№ вар.	C_0 , г/дм ³	V_p , дм ³	V_i , см ³	Залежність концентрації хроматів, C , г/дм ³ від номеру проби								
				1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,250	1,0	20	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,050	0,100	0,200	0,250
2	0,350	1,0	30	0,000	0,000	0,001	0,002	0,003	0,060	0,200	0,320	0,350
3	0,250	2,0	40	0,000	0,000	0,002	0,003	0,010	0,080	0,150	0,250	0,250
4	0,250	3,0	50	0,000	0,001	0,001	0,005	0,090	0,200	0,250	0,250	0,250
5	0,200	4,0	60	0,000	0,000	0,000	0,003	0,004	0,050	0,190	0,200	0,200
6	0,400	2,0	70	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,010	0,090	0,250	0,400
7	0,300	3,0	80	0,000	0,000	0,000	0,003	0,008	0,012	0,150	0,270	0,300
8	0,450	3,0	90	0,000	0,000	0,000	0,050	0,150	0,320	0,450	0,450	0,450
9	0,400	3,0	100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,170	0,340	0,360	0,400
10	0,300	2,0	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,150	0,240	0,300	0,300
11	0,300	2,0	40	0,000	0,000	0,000	0,010	0,090	0,210	0,300	0,300	0,300
12	0,300	3,0	60	0,000	0,000	0,000	0,012	0,100	0,200	0,290	0,300	0,300
13	0,400	2,0	70	0,000	0,000	0,000	0,007	0,009	0,050	0,280	0,380	0,400
14	0,350	3,0	80	0,000	0,000	0,001	0,002	0,009	0,070	0,220	0,350	0,350
15	0,450	1	30	0,000	0,001	0,010	0,040	0,170	0,340	0,450	0,450	0,450
16	0,150	4,0	50	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,010	0,050	0,140	0,150

Концентрацією проскоку може бути будь-яка мінімально фіксована концентрація, а може бути обрана певна концентрація, виходячи з вимог до якості очищеної води.

Для визначення обмінної ємності іоніту до проскоку необхідно визначити масу сорбованих хроматів до проскоку. Це значення визначають за формулою (4.1) як добуток вихідної концентрації на пропущений об'єм розчину до проскоку (V_p^{np}) (4.1):

$$m_c^{np} = C_0 \cdot V_p^{np}, \text{ г} \quad (4.1)$$

де C_0 - вихідна концентрація розчину, г/дм³;

$$V_p^{np} = V_p \cdot n, \text{ дм}^3;$$

V_p - об'єм проби, дм^3 ;

n - число проб відібраних до проскоку.

Загальну масу сорбованих хроматів визначають за формулою (4.2):

$$m_c^n = V_p \cdot [(C_0 - C_1) + (C_0 - C_2) + \dots + (C_0 - C_n)], \text{ г} \quad (4.2)$$

де $C_1, C_2, \dots, C_n$ - концентрація хроматів відповідно в 1-й, 2-й, ..., n -й відібраних після фільтрування пробах, мг/дм^3 .

Обміна динамічна ємність іоніту до проскоку розраховується по формулі (4.3):

$$E_{np} = \frac{m_c^{np}}{V_i}, \quad \text{г/см}^3 \quad (4.3)$$

Повна обмінна динамічна ємність іоніту визначається за формулою:

$$E_{полн} = \frac{m_c^n}{V_i}, \quad \text{г/см}^3 \quad (4.4)$$

Приклад рішення задачі:

Через аніоніт об'ємом $V_i = 40 \text{ см}^3$ пропускають розчин, що містить (C_0) $0,15 \text{ г/дм}^3$ хроматів, відбирають проби по (V_p) 8 дм^3 і визначають залишковий вміст іонів хрому. У першій пробі залишковий вміст хромат-іонів склав $C_1 = 0 \text{ г/дм}^3$; другий - $C_2 = 0,001 \text{ г/дм}^3$; третій - $C_3 = 0,007 \text{ г/дм}^3$; четвертий - $C_4 = 0,07 \text{ г/дм}^3$. Необхідно побудувати вихідну криву адсорбції хроматів в залежності від вихідної концентрації розчину (C_0), об'єму проби (V_p), об'єму іоніту (V_i), об'єму пропущеного розчину. Визначити обмінну ємність іоніту до проскакування (E_{np}), повну обмінну динамічну ємність іоніту ($E_{повн}$).

Дано:

$$V_i = 40 \text{ см}^3$$

$$C_0 = 0,15 \text{ г/дм}^3$$

$$V_p = 8 \text{ дм}^3$$

$$C_1 = 0 \text{ г/дм}^3$$

$$C_2 = 0,001 \text{ г/дм}^3$$

$$C_3 = 0,007 \text{ г/дм}^3$$

$$C_4 = 0,07 \text{ г/дм}^3$$

$$C_5 = 0,15 \text{ г/дм}^3$$

$$E_{np} = ? \quad E_{повн} = ?$$

Рішення:

Графік залежності залишкової концентрації хроматів від обсягу пропущеного розчину представлений на рис. 5.

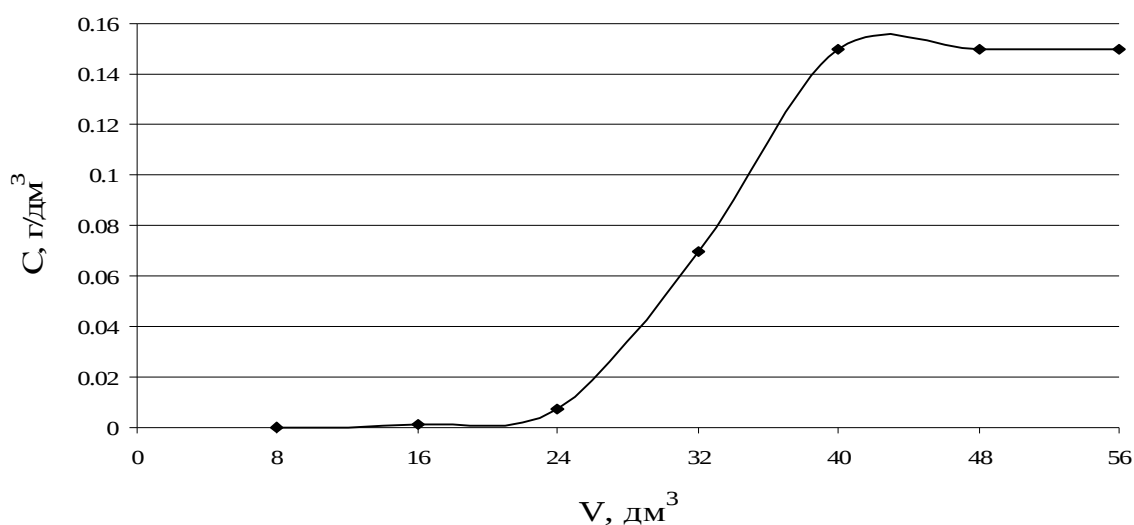


Рисунок 5 – Залежність залишкової концентрації хроматів від об'єму пропущеного розчину

Концентрацією проскоку будемо вважати мінімально фіксовану концентрацію, тобто проскок наступив у другій пробі.

1. Відповідно до формули (4.1): $m_c^{np} = 0,15 \cdot 2 \cdot 8 = 2,4 \text{ г}$;

2. По формулі (4.2):

$$m_c^n = 8[(0,15 - 0) + (0,15 - 0,001) + (0,15 - 0,007) + (0,15 - 0,07) + (0,15 - 0,15)] = 4,176 \text{ г}$$

3. По формулі (4.3): $E_{np} = \frac{2,4}{40} = 0,06 \text{ г/см}^3$

4. По формулі (4.4): $E_{полн} = \frac{4,176}{40} = 0,1 \text{ г/см}^3$

Відповідь: $E_{np}=0,06 \text{ г/см}^3$; $E_{полн}=0,1 \text{ г/см}^3$.

Процес відновлення ємності іоніту є дуже важливим етапом іонообмінного очищення води. Враховуючи високу вартість іонообмінних матеріалів, можна сказати, що застосування іоніту може бути економічно доцільним лише при ефективній регенерації іоніту. Процес регенерації іоніту зводиться до переведення іоніту у вихідну форму після вичерпання його ємності в процесі іонного обміну.

Для переведення катіоніту у вихідну Na^+ - форму його обробляють 10% - им розчином хлориду натрію. Для переведення аніоніту у вихідну OH^- - форму іоніт обробляють 4%-им розчином лугу.

Процес регенерації іоніту описується вихідною кривою десорбції іонів. Крива будується як залежність концентрації іонів, які десорбується з об'єму пропущеного регенераційного розчину, або відносної витрати регенераційного розчину, який визначається як відношення об'єму регенераційного розчину до об'єму іоніту (4.5)

$$q_{\text{уд}} = \frac{V}{V_i}, \text{ см}^3/\text{см}^3 \quad (4.5)$$

де V - об'єм пропущеного розчину визначається як, см^3 .

де n - число відібраних проб;

V_p - об'єм відібраних проб, см^3 ;

Ступінь регенерації і-ою пробою розраховують за формулою (4.6) як відношення маси десорбованих іонів до загальної маси сорбованих іонів:

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^i m_{\text{д.с.}}}{m_c^n} \cdot 100, \% \quad (4.6)$$

де m_c^n - маса сорбованих іонів, г (формула (4.2));

$m_{\text{д.с.}}$ - маса десорбованих іонів: $m_{\text{д.с.}} = V_p \cdot C_i$, г

C_i – концентрація хроматів в і-ій пробі регенераційного розчину, г/дм^3 ;

V_p - об'єм відібраних проб, дм^3 .

Завдання 8.

Побудувати вихідну криву десорбції хроматів з аніоніту АВ-17-8 при пропусканні розчину, який містить 100 г/дм^3 NaOH і 100 г/дм^3 NaCl . Об'єм проби розчину (V_p) дорівнює об'єму іоніту (V_i). Кількість проб $n = 10$. Вихідні данні приведені в табл. 8.

Таблиця 8 - Залежність вихідної концентрації десорбції хроматів від об'єму пропущеного розчину

№ вар.	$V_p, \text{см}^3$	$V_i, \text{см}^3$	Залежність концентрації хроматів, C , г/дм ³ від номеру проби									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	20	20	5	18	32	15	3	1	0,5	0,4	0,3	0,2
2	30	30	6	20	27	16	2	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1
3	40	40	6	28	20	19	1	0,5	0,2	0,3	0,1	0,1
4	50	50	5	35	18	6	1	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1
5	60	60	4	34	23	5	2	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1
6	70	70	8	32	20	5	2	0,4	0,5	0,3	0,1	0,1
7	80	80	8	32	20	4	1	0,3	0,3	0,4	0,1	0,1
8	90	90	9	33	21	5	2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1
9	100	100	9	30	22	6	1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1
10	50	50	6	34	20	5	1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1
11	40	40	5	30	20	8	1	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1
12	60	60	8	30	20	4	1	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1
13	70	70	7	33	21	4	1	0,5	0,4	0,3	0,3	0,1
14	80	80	9	30	21	4	1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
15	30	30	6	20	27	15	2	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1
16	50	50	8	32	19	5	1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1

Приклад рішення задачі:

Через відпрацьований іоніт об'ємом 40 см³ (маса сорбованих хромат іонів - див. завдання 7) пропускають розчин, що містить 100 г/дм³ NaOH і 100 г/дм³ NaCl. Відбирають проби об'ємом 40 см³ і визначають вміст хроматів: $C_1 = 10$ г/дм³; $C_2 = 35$ г/дм³; $C_3 = 20$ г/дм³; $C_4 = 3$ г/дм³; $C_5 = 0,5$ г/дм³. Необхідно побудувати вихідну криву десорбції хроматів з іоніту в координатах - вихідна концентрація хроматів (C) від питомої витрати розчину (q_n). Визначити ступінь регенерації іоніту.

Дано:

$$m_c^n = 4,176 \text{ г}$$

$$V_p = 40 \text{ см}^3$$

$$V_i = 40 \text{ см}^3$$

$$C_1 = 10 \text{ г/дм}^3$$

$$C_2 = 35 \text{ г/дм}^3$$

$$C_3 = 20 \text{ г/дм}^3$$

$$C_4 = 3 \text{ г/дм}^3$$

$$C_5 = 0,5 \text{ г/дм}^3$$

$$Z = ?$$

Рішення:

Для визначення ступеня регенерації необхідно визначити масу десорбованих іонів в кожній пробі: $m_{д.с.} = V_p \cdot C_i$:

$$m_{д.с.1} = 10 \cdot 0,04 = 0,4г$$

$$m_{д.с.2} = 35 \cdot 0,04 = 1,4г$$

$$m_{д.с.3} = 20 \cdot 0,04 = 0,8г$$

$$m_{д.с.4} = 3 \cdot 0,04 = 0,12г$$

$$m_{д.с.5} = 0,5 \cdot 0,04 = 0,02г$$

По формулі (4.6) визначаєм ступінь регенерації іоніту кожною пробою.

$$Z_1 = \frac{0,4}{4,176} \cdot 100 = 9,6\%$$

$$Z_2 = \frac{0,4 + 1,4}{4,176} \cdot 100 = 43\%$$

$$Z_3 = \frac{0,4 + 1,4 + 0,8}{4,176} \cdot 100 = 62\%$$

$$Z_4 = \frac{0,4 + 1,4 + 0,8 + 0,12}{4,176} \cdot 100 = 65\%$$

$$Z_5 = \frac{0,4 + 1,4 + 0,8 + 0,12 + 0,02}{4,176} \cdot 100 = 66\%$$

Графік залежності концентрації хроматів від питомої витрати регенераційного розчину представлений на рис. 6.

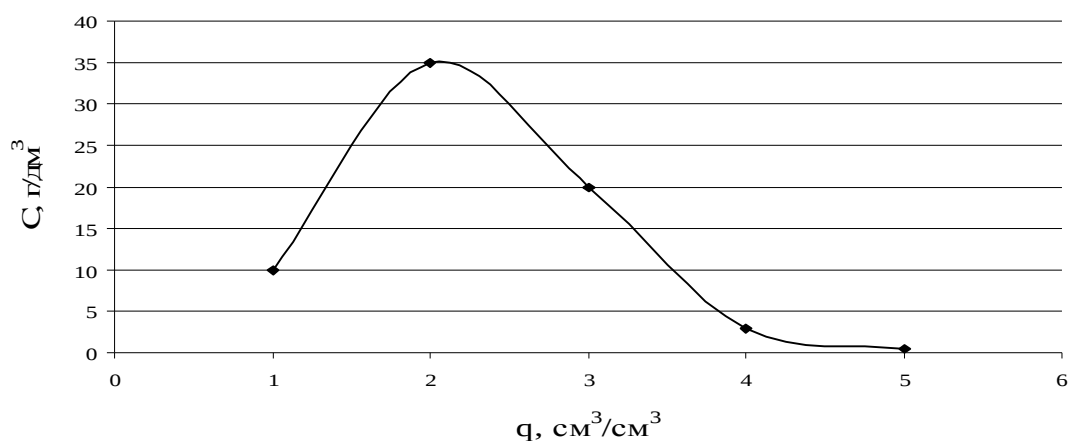


Рисунок 6 – Залежність концентрації хроматів від питомої витрати регенераційного розчину

Відповідь: 9,6%, 43 %, 62%, 65%, 66%.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Л.А. Кульский. Теоретические основы и технология кондиционирования воды. Киев: Наук. думка, 1983.-560 с.
2. Л.А. Кульский, П.П. Строкач. Технология очистки природных вод. Киев: «Вища школа», 1986.-352 с.
3. А.К. Запольський, Н.А. Мішкова-Клименко, І.А. Астрелін, М.Т. Брик, П.І. Гвоздяк, Т.В. Князькова. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: Підручник. – К. Лібра. 2000-552 с.
4. Ю.П. Беличенко. Замкнутые системы водообеспечения химических производств. Москва. «Химия», 1990-208 с.
5. Л.А. Кульский, В.Д. Гребенюк, В.К. Колосов и др./ Под. общ. ред. Л.А. Кульского/ Определение качества воды. Киев, Наук. думка, 1980.-96 с.
6. Л.С. Стерман, В.К.Покровский. Химические и термические методы обработки воды на ТЭС. М.: «Энергия», 1981.-232 с.
7. А.М. Когановський. Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод. Киев: Наук. думка, 1983.-239 с.
8. Сенявик М.М. Ионный обмен в технологии и анализе неорганических веществ.-М.: Химия, 1980.-272 с.
9. А.М. Когановский, К.А. Клименко, Т.М. Левченко и др. Очистка и повторное использование промышленных сточных вод в промышленном водоснабжении. М.: Химия, 1983.-288 с.
10. С.В. Яковлев, Я.А. Карелик, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов. Очистка производственных сточных вод. М: Стройиздат. 1985.-335 с.
11. Гомеля М.Д., Крисенко Т.В., Омельчук Ю.А. Методи та технології очищення стічних вод: Навч. посіб. – Севастополь, 2012. – 244 с.
12. М.К. Ротмистров и др. Микробиологическая очистка воды. Киев: Наук. думка, 1978.-268 с.

ДОДАТКОВА ЛІТЕРАТУРА

13. С.С. Ставская. Биологические разрушение анионных ПАВ. К.: Наук. думка, 1981.-116 с.
14. Л.А. Кульский. Основы химии и технологии воды. Киев: Наук. думка, 1991.-568 с.
15. В.Д. Гребенюк, А.А. Мазо. Обессоливание воды ионитами. Москва, «Химия», 1980.-256 с.
16. В.Д. Гребенюк. Электродиализ. К.: «Техніка», 1976.-160 с.
17. М.Т. Брык, В.Н. Толубев, А.П. Чагаровский. Мембранная технология в пищевой промышленности. Киев.: Урожай, 1991.- 221 с.
18. П.И. Гвоздяк. 50 вопросов и 49 ответов по новой биотехнологии очистки воды. – К.: Знание, 1990.-28 с.
19. В.Д. Семенюк, А.М. Когановский, А.К. Волоников. Эксплуатация бессточных промышленных комплексов водоснабжения. Киев.: - «Техніка», 1985.- 168 с.
20. В.В. Гончарук, Э.Б. Страхов, А.М. Волошинова. Воднохимическая технология ядерных энергетических установок. Киев, Наук. думка. 1993.-448 с.
21. І.Г. Вахнін, В.І. Максін, Ю.А. Рахманні та ін. Кондиціонування опрісненої дистиляцією води. - Киев. Наук. Думка, 1990.-120 с.
22. Вейцер Ю.И., Минц Д.М. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод. – М.: Стройиздат, 1984.-200 с.
23. Костюк В.И. Бессточное нефтеперерабатывающее производство.- К.: Техніка, 1979.-123 с.
24. Гончарук В.В. и др. Экологические аспекты современных технологий охраны водной среды.- К.: Наукова думка, 2005.-399 с.
25. Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия. – М.: Высшая школа. – 445 с.

Питання до контрольних робіт (5-й семестр)

Частина 1

Варіант 1.

1. Неповна та повна еколого-гігієнічна оцінка якості води. Інтегральний показник якості води.
2. Колоїдні частки. Будова. Фізичне пояснення стабільності ліюфобних колоїдних систем.

Варіант 2.

1. Еколого-гігієнічна класифікація якості поверхневих вод. Основні показники якості води.
2. Будова подвійного електричного шару. Теорія стійкості іонстабілізованих колоїдних систем.

Варіант 3.

1. Екологічний стан поверхневих джерел водопостачання.
2. Умови коагуляції ліюфобних колоїдних систем.

Варіант 4.

1. Вимоги до якості технічних вод.
2. Кінетика коагулювання гідрофобних золів.

Варіант 5.

1. Вимоги до якості води господарсько-питного призначення.
2. Стабілізація суспензій поверхнево-активних речовин.

Варіант 6.

1. Класифікація забруднень по фазово-дисперсному складу.
2. Структурно-механічний бар'єр в ліюфільній стабілізації ліюфобних часток.

Варіант 7.

1. Органолептичні та бактеріологічні показники якості води.
2. Гідроліз коагулянтів.

Варіант 8.

1. Фізичні показники якості води.
2. Алюмінієві коагулянти.

Варіант 9.

1. Хімічні показники якості води.
2. Умови дестабілізації ліюфільних колоїдних систем.

Варіант 10.

1. Фізичні та хімічні властивості води.
2. Залізні коагулянти.

Частина 2

Варіант 1.

1. Отримання синтетичних катіонних флокулянтів.
2. Класифікація флокулянтів.

Варіант 2.

1. Отримання синтетичних аніонних флокулянтів.
2. Структура молекул флокулянтів.

Варіант 3.

1. Синтетичні неіонні флокулянти.
2. Параметри, що характеризують розміри та форму макромолекул.

Варіант 4.

1. Отримання аніонованих крохмалів.
2. Механізм флокуляції.

Варіант 5.

1. Катіоновані крохмалі.
2. В'язкість водних розчинів флокулянтів.

Варіант 6.

1. Флокулянти на основі крохмалів.
2. Визначення середньої молекулярної маси флокулянтів.

Варіант 7.

1. Неорганічні флокулянти. Активована кремнієва кислота.

2. Стан макромолекул флокулянтів у водному середовищі.

Частина 3

Варіант 1.

1. Визначення технологічних параметрів при пінному фракціонуванні.
2. Класифікація методів адсорбційної бульбашкової сепарації за властивостями домішок, що видаляються з води.

Варіант 2.

1. Визначення технологічних параметрів при пневматичній флотації.
2. Фізико-хімічні основи пінної флотації.

Варіант 3.

1. Визначення технологічних параметрів при напірній флотації.
2. Флотація. Основні поняття та визначення.

Варіант 4.

1. Загальні технологічні параметри пінної флотації та пінного фракціонування.
2. Фізико-хімічні основи пінного фракціонування.

Варіант 5.

1. Фізико-хімічні основи електрофлотації.
2. Класифікація методів флотації за способом диспергування газів у воді.

Питання до контрольних робіт (6-й семестр)

Частина 1

Варіант 1.

1. Кінетика процесу адсорбції.
2. Енергія адсорбції. Правило Траубе.

Варіант 2.

1. Динаміка адсорбції.
2. Фізична, активована адсорбція, хемосорбція

Варіант 3.

1. Вплив іонізації молекул на їх адсорбцію.
2. Вибірковість адсорбції. Питома адсорбційна ємність. Ізотерма адсорбції.

Варіант 4.

1. Вплив міцелоутворення на адсорбцію органічних речовин.
2. Виведення рівняння ізотерми адсорбції розчиненої речовини.

Варіант 5.

1. Оцінка основних технологічних параметрів адсорбційного очищення води від розчинних органічних речовин.
2. Адсорбенти.

Варіант 6.

1. Визначення коефіцієнту захисної дії сорбенту за рівнянням Шилова.
2. Адсорбція. Основні поняття та визначення.

Варіант 7.

1. Лімітуюча стадія в процесі адсорбції. Критерій БЮ.
2. Обчислення ізотерми адсорбції.

Частина 2

Варіант 1.

1. Основні типи аніонітів.
2. Селективність іонітів.

Варіант 2.

1. Класифікація іонітів.
2. Еквівалентність іонного обміну.

Варіант 3.

1. Кінетика іонного обміну. Лімітування зовнішньої та внутрішньої дифузії.
2. Форма іоніту. Регенерація іоніту.

Варіант 4.

1. Основні типи катіонітів.
2. Іонний обмін. Основні поняття та визначення.

Варіант 5.

1. Поліамфоліти.
2. Ємність іоніту в динамічних умовах.

Варіант 6.

1. Швидкість процесу іонного обміну.
2. Визначення ємності іоніту в статичних умовах. Ізотерма адсорбції.

Варіант 7.

1. Динаміка іонного обміну.
2. Основні положення теорії Грегора.

Частина 3

Варіант 1.

1. Вплив температури на процеси мембранного розділення розчинів.
2. Концентраційна поляризація іонообмінних мембран.

Варіант 2.

1. Механізм напівпроникності мембран.
2. Суть методу електродіалізу.

Варіант 3.

1. Мембрани. Методи їх отримання.
2. Вплив концентраційної поляризації на роботу мембран.

Варіант 4.

1. Використання непористих мембран. Мембранна дистиляція
2. Електропровідність та селективність іонообмінних мембран.

Варіант 5.

1. Баромембранні процеси.
2. Дифузійна, осматична та електроосматична проникність мембран.

Варіант 6.

1. Селективність та продуктивність мембран.
2. Вплив концентрації та природи компоненту на мембранні процеси розділення.

Варіант 7.

1. Мембранні методи очищення води.
2. Електрохімічні характеристики іонообмінних мембран.