

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

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

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до організації самостійної роботи,  
проведення практичних занять  
і виконання розрахунково-графічної роботи  
з навчальної дисципліни

**«САНІТАРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ОЧИСНИХ СПОРУД»**

*(для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня всіх форм навчання  
спеціальності*

*194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології)*

**Харків  
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова  
2022**

Методичні рекомендації до організації самостійної роботи, проведення практичних занять і виконання розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни «Санітарно-технологічний контроль очисних споруд» (для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня всіх форм навчання спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Г. І. Благодарна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 75 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. Г. І. Благодарна

Рецензент

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

*Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення і очищення вод, протокол №1 від 27.08.2020.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	5
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ.....	13
3 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО- ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73
ДОДАТОК А.....	74

## ВСТУП

**Мета навчальної дисципліни** «Санітарно-технологічний контроль очисних споруд» – формування системних знань, пов'язаних зі способами визначення ефективності роботи водоочисних і водопідготовчих споруд, а також установок з обробки осаду, методами та технологіями лабораторно-виробничого контролю за якістю природних, водопровідних і стічних вод.

**Програмний результат вивчення** дисципліни «Санітарно-технологічний контроль очисних споруд»:

– уміння розробити стратегію розвитку організації, прийняти управлінське рішення зі складної управлінської проблеми в екстремальних умовах, оцінити документально оформлене управлінське рішення;

– здатність застосовувати набуті теоретичні знання з фундаментальних і прикладних дисциплін в інженерній практиці;

– здатність аналізувати ефективність проектних та технічних рішень та пропонувати заходи з ресурсо- та енергозбереження; програмний результат навчання;

– розробляти програми заходів щодо зниження негативних наслідків антропогенної діяльності та здійснювати керівництво її виконанням;

У результаті вивчення навчальної дисципліни студенти повинен:

– знати величини та параметри, які характеризують роботу мереж і споруд водопостачання та водовідведення, раціональне використання водних ресурсів і знезараження природних і стічних вод;

– знати нормативно-правову базу лабораторного контролю; нормативно-технічні документи, основні положення та вимоги державних стандартів до системи водопостачання та водовідведення;

– запропонувати раціональну схему чи метод для поліпшення якості води;

– знати шляхи вирішення проблем підвищення технічного рівня водогосподарських об'єктів та ефективності їхньої роботи.

– виконувати науково-технічний пошук із питань проектування та роботи систем водопостачання та водовідведення, зокрема споруд для очищення природних та стічних вод;

– виконувати розрахунки, креслення та науково-технічний пошук із питань проектування й роботи систем водопостачання та водовідведення, зокрема споруд очищення природних та стічних вод;

– оцінити роботу систем водопостачання та водовідведення, зокрема споруд очищення природних та стічних вод і згідно з нормативними документами;

– розробляти заходи з питань охорони навколишнього середовища у зв'язку з порушенням роботи систем водопостачання та водовідведення, зокрема споруд для очищення природних та стічних вод.

# 1 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

## ТЕМА 1 ОЦІНКА ЯКОСТІ ПРИРОДНИХ І ТЕХНІЧНИХ ВОД

1. Домішки і оцінка якості природних вод.
2. Вимоги, що ставляться до джерел водопостачання.
3. Нормування якості питної води.

### *Контрольні питання*

1. Що таке якість природної води?
2. Дайте оцінку якості природних і технічних вод.
3. Як домішки впливають на якість води?
4. Наведіть класифікацію домішок за їхнім фазово-дисперсним станом.
5. Які аналізи потрібно робити за класифікацією у кожній групі домішок?
6. Назвіть усі види жорсткості.
7. За якими показниками оцінюється якість природних вод?
8. Які аналізи виконують під час визначення якості води?
9. Які вимоги ставляться до джерел водопостачання?
10. Як нормується якість питної води?
11. Як нормуються органолептичні властивості води?
12. Наведіть основні показники санітарно-хімічного аналізу й дайте їхню технологічну оцінку.

## ТЕМА 2 ЛАБОРАТОРНО-ВИРОБНИЧИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ВОДИ В СИСТЕМАХ ГОСПОДАРЧО-ПИТНОГО І ВИРОБНИЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Метрологічне забезпечення вимірювань.
2. Внутрішній лабораторний контроль якості вимірювань:
  - фізико-хімічні дослідження;
  - мікробіологічні дослідження.
3. Регуляторні обмеження небезпечних факторів діяльності лабораторій:
  - прекурсори;
  - патогенні мікроорганізми.
4. Кадрове забезпечення лабораторій.

### *Контрольні питання*

1. Що включає повний санітарно-хімічний аналіз води?
2. Яку частину технологічних показників визначають з метою контролю за умовами перебігу процесу обробки води?
3. Як якість води залежить від обробці її реагентами?
4. Назвіть технологічні аналізи води, що дозволяють оцінити її якість з точки зору можливості обробки води тим чи іншим методом.
5. Від чого залежить загальна кількість аналізованих проб для населення, що обслуговується?
6. У чому полягає контроль водопідготовки й водного режиму в промисловості?
7. Яким може бути виробничий контроль?
8. Для якого контролю на водопідготовчих станціях будь-якого призначення необхідно передбачати установку приладів?
9. З яких основ складається метрологічне забезпечення?
10. Назвіть основні критерії атестації лабораторії.
11. Що повинна мати лабораторія відповідно до заявленої галузі атестації?
12. Що таке внутрішній лабораторний контроль?
13. Назвіть, що мається на увазі під комплексом зовнішніх і внутрішніх факторів, які виконуються в лабораторії.
14. Що належить до факторів контролю?
15. Назвіть особливість санітарно-мікробіологічних досліджень води.
16. Перелічіть найвагомші об'єктивні фактори, що впливають на результат аналізу.
17. Назвіть основні напрями організації внутрішнього контролю якості.
18. Перелічіть основні небезпечні фактори діяльності лабораторій водоканалів і чому їх так називають?

### **ТЕМА 3 КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ПРИРОДНИХ ВОД**

1. Організація контролю якості води.
2. Контроль процесів попередньої обробки води.
3. Контроль процесів коагулювання води.
4. Контроль процесу відстоювання води.
5. Контроль процесу фільтрування води.

### *Контрольні питання*

1. Наведіть, як здійснюється контроль процесів попередньої обробки води.
2. Наведіть, як здійснюється контроль процесів коагулювання води.
3. Що включає повний санітарно-хімічний аналіз води при обробці її реагентами?
4. Як здійснюється контроль процесів коагулювання води?
5. Наведіть, як здійснюється контроль процесів відстоювання на водопровідних очисних спорудах.
6. Як здійснюється контроль процесу фільтрування?
7. Як впливає температура, рН і лужність при обробці води?
8. Яку частину технологічних показників визначають з метою контролю за умовами протікання процесу обробки води?
9. Від чого залежить ефективність процесу коагуляції?
10. Коли та на якому етапі контролюється якість води під час її очищення?
11. Для чого проводять попередню обробку води?
12. Які методи попередньої обробки застосовують при обробці води?
13. Для чого при попередній обробці застосовують хлорування?
14. Для чого при попередній обробці застосовують вуглевання?
15. Для чого при попередній обробці застосовують мікрофільтри?
16. Що в процесі коагулювання відіграє вирішальну роль?
17. Що входить до санітарно-хімічного аналізу вихідної води й коли він виконується?
18. У чому полягає контроль за станом фільтруючого завантаження?
19. Який аналіз виконують у фільтрі, коли а скільки разів?

### **ТЕМА 4 КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСІВ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ**

1. Хлорування.
2. Озонування.
3. Бактерицидне опромінення.

### *Контрольні питання*

1. Яке головне завдання знезараження?
2. У чому полягає бактеріологічний аналіз?
3. Чим викликана необхідність гідробіологічного контролю якості води?
4. У чому полягає механізм бактерицидної дії хлорування та які дози

застосовуються для знезараження?

5. Коли застосовують знезараження хлоруванням з амонізацією?
6. Як проводиться контроль дози реагентів, що застосовуються для знезараження природних вод?
7. Які переваги застосування озону над хлором?
8. Коли застосовують бактерицидні установки та які переваги знезараження води?
9. Наведіть, як здійснюється контроль процесів знезараження води на водопровідних очисних спорудах.

## **ТЕМА 5 КОНТРОЛЬ ОСОБЛИВИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ВОДИ**

1. Контроль процесів пом'якшення води.
2. Контроль процесів очищення води від сполук заліза й марганцю.
3. Контроль процесів очищення води від сірководню.
4. Контроль процесів корегування вмісту фтору у воді.
5. Контроль процесів опріснення та знесолення води.
6. Контроль процесу знекремнювання води.
7. Контроль процесу стабілізаційної обробки води.

### *Контрольні питання*

1. Які методи застосовують для необхідного ефекту зниження жорсткості води?
2. Від яких факторів залежить глибина пом'якшення та швидкість процесу?
3. Від чого залежить якість пом'якшеної води?
4. Як можна здійснити контроль за процесом реагентного пом'якшення?
5. У чому полягає головне завдання технологічного контролю за роботою іонообмінних установок?
6. Наведіть один з основних напрямів у технологічному контролі іонітових фільтрів.
7. На що має бути спрямований технологічний контроль при знезалізненні води?
8. На що звертають особливу увагу в процесі експлуатації фільтрів при знезалізненні води?
9. Як здійснюють контроль за процесом очищення від марганцю?
10. Наведіть, як здійснюється контроль процесів знефторювання води.
11. Наведіть, як здійснюється контроль процесів знесолення води.
12. Наведіть, як здійснюється контроль процесів опріснення води.



13. Як здійснюється контроль процесів пом'якшення води катіонами?
14. Як здійснюється контроль процесів реагентного пом'якшення води?
15. Наведіть, як здійснюється контроль процесів очищення води від сірководню при водопідготовці.
16. Наведіть як здійснюється контроль процесів видалення кисню.
17. Як здійснюється контроль процесів стабілізаційної обробки води?
18. Як здійснюється контроль процесів очищення води від сполук заліза?
19. Наведіть як здійснюється контроль процесів знекремлювання води.
20. Як здійснюється контроль процесів фторування води?

## **ТЕМА 6 КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСІВ ГІДРОХІМІЧНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ЗВОРОТНИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖУВАННЯ. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДИ**

### *Контрольні питання*

1. Які можливі відкладення в зворотному водопостачанні?
2. За допомогою чого здійснюється контроль карбонатних відкладень у системі гарячого водопостачання та опалення?
3. Як здійснюється боротьба з біообрастанням у системах зворотного водопостачання?
4. Наведіть, як здійснюється контроль процесів охолодження води.
5. Наведіть, як здійснюється контроль процесів гідрохімічного режиму роботи зворотних систем охолодження.
6. Перелічить охолоджувачі зворотної води, в чому полягає технологічний контроль за цими спорудами.
7. При яких концентраціях завислих речовин погіршується робота теплообмінного обладнання?
8. Чого не повинно бути у циркуляційній воді у системах зворотного водопостачання?

## **ТЕМА 7 СКЛАД СТІЧНИХ ВОД**

1. Класифікація стічних вод.
2. Види забруднення й методи їх видалення.
3. Поняття про санітарно-хімічний аналіз.
4. Основні показники санітарно-хімічного аналізу та їх технологічна оцінка.

5. Відбір, консервація та зберігання проб стічних вод.
6. Норми забруднень. Нерівномірність складу стічних вод.

### *Контрольні питання*

1. Що називають стічною водою та як її класифікують?
2. Наведіть види забруднення стічної води й методи їх видалення.
3. Які аналізи застосовують для характеристики складу стічних вод?
4. Наведіть основні показники санітарно-хімічного аналізу та їх технологічну оцінку.
5. Що впливає на процес осадження в стічній воді?
6. Які показники застосовують для оцінки роботи та проектування споруд біологічного очищення?
7. Що потрібно розуміти під жорсткими умовами окислення?
8. У яких співвідношеннях необхідна присутність біогенних елементів?
9. На вміст чого виконується аналіз під час проведення оцінки якості стічної води?
10. Як потрібно робити відбір, консервацію та зберігання проб стічних вод?
11. Наведіть норми забруднень і нерівномірність складу стічних вод.

## **ТЕМА 8 КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД**

1. Контроль роботи решіток, дробарок.
2. Контроль роботи піскоуловлювачів.
3. Контроль роботи первинних відстійників.

### *Контрольні питання*

1. Наведіть, як проводити контроль роботи решіток, дробарок.
2. Наведіть, як проводити контроль роботи піскоуловлювачів.
3. Наведіть, як проводити контроль роботи первинних відстійників.
4. Від яких факторів залежить ефективність затримання зважених речовин первинними відстійниками?

## **ТЕМА 9 КОНТРОЛЬ РОБОТИ СПОРУД АЕРОБНОГО БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД**

1. Процеси біологічного очищення та їх технологічна оцінка.
2. Контроль роботи аеротенків.
3. Контроль роботи біофільтрів.
4. Контроль роботи вторинних відстійників і мулоущільнювачів.
5. Контроль процесів преаерації та біокоагуляції.
6. Споруди для аеробної мінералізації мулу.
7. Поля зрошення й поля фільтрації.
8. Біологічні ставки.

### *Контрольні питання*

1. Наведіть процеси біологічного очищення й дайте їх технологічну оцінку.
2. Як проводити контроль роботи аеротенків?
3. Наведіть, як проводити контроль роботи біофільтрів.
4. Як проводити контроль роботи вторинних відстійників?
5. Наведіть, як проводити контроль роботи мулоущільнювачів.
6. Наведіть, як проводити контроль роботи при аерації та біокоагуляції.
7. Як проводити контроль роботи споруд для аеробної мінералізації мулу?
8. Як проводити контроль роботи полів зрошення й полів фільтрації?
9. Наведіть, як проводити контроль роботи біологічних ставків.

## **ТЕМА 10 КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСІВ ДООЧИЩЕННЯ І ЗНЕЗАРАЖЕННЯ СТІЧНИХ ВОД**

1. Контроль процесів доочищення стічних вод.
2. Видалення завислих речовин і зниження БСК.
3. Видалення біогенних елементів.
4. Контроль процесів знезараження стічних вод.

### *Контрольні питання*

1. Як проводити контроль процесів доочищення стічних вод?
2. Як здійснюється контроль процесів видалення завислих речовин у стічних водах?
3. Наведіть, як здійснюється контроль процесів зниження БСК у стічних водах.
4. Наведіть, як здійснюється контроль процесів видалення біогенних елементів.

5. Як здійснюється контроль процесів біологічного очищення стічних вод і дайте їх технологічну оцінку.

6. Наведіть як здійснюється контроль процесів знезараження стічних вод.

## **ТЕМА 11 КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ОСАДІВ**

1. Процеси метанового бродіння та їх технологічна оцінка.

2. Контроль процесів сушіння та зневоднення.

### *Контрольні питання*

1. Наведіть, як здійснюється контроль процесів обробки осадів.

2. Наведіть, як проводити контроль роботи метантенків.

3. Наведіть, як здійснюється контроль процесів метанового бродіння осадів та дайте їм технологічну оцінку.

4. Наведіть, як проводити контроль роботи споруд зневоднення осаду на каналізаційних очисних спорудах.

5. Наведіть, як проводити контроль роботи споруд термічної сушки осаду.

6. Наведіть, як здійснюється контроль процесів сушіння у природних умовах.

7. Наведіть, як здійснюється контроль процесів зневоднення осаду на вакуум-фільтрах.

8. Наведіть, як здійснюється контроль процесів зневоднення осаду на центрифугах.

## **ТЕМА 12 КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ПРОМИСЛОВИХ СТОКІВ І МЕТОДИ ВИЛУЧЕННЯ З НИХ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН**

1. Методи обробки виробничих стічних вод.

2. Підготовча обробка стічних вод і контроль процесів.

3. Методи вилучення забруднень зі стічних і контроль процесів.

4. Методи очищення стічних вод: біологічні методи очищення, методи хімічного окислення.

### *Контрольні питання*

1. Наведіть методи обробки виробничих стічних вод.

2. Наведіть, як здійснюється контроль процесів при підготовчій обробці стічних вод.

3. Наведіть, як проводити контроль деструктивних методів очищення стічних вод.

## 2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

### ТЕМА 1 ОЦІНКА ЯКОСТІ ПРИРОДНИХ І ТЕХНІЧНИХ ВОД

#### Перевірка правильності виконання аналізу води

Під якістю природної води розуміють сукупність її властивостей, обумовлених характером і концентрацією домішок, що містяться у воді [1]. Домішки природних вод підрозділяються на неорганічні й органічні. Відповідно до класифікації домішок на основі їхньої фазово-дисперсної характеристики розробленої під керівництвом академіка Л. А. Кульського, за ступенем дисперсності можуть бути поділені на чотири групи.

До *першої групи* домішок належать завислі речовини – суспензії та емульсії, середній розмір частинок яких становить  $10^{-3}$ – $10^{-5}$  см. Склад домішок цієї групи дуже різноманітний: це частки глини й піску, малорозчинні гідроксиди металів, частинки мулу, емульсії мінеральних масел, нафтопродукти, планктон (у тому числі і бактерії).

У сукупності ці домішки обумовлюють каламутність води. Повніше уявлення про склад домішок першої групи можна отримати на підставі хімічного, гідробіологічного та бактеріологічного аналізів. Для цього зазвичай визначають завислі речовини та їх зольність, якісний і кількісний склад гідробіонтів, мікробне число й число бактерій групи кишкової палички.

До *другої групи* належать колоїдно-розчинні домішки й високомолекулярні органічні сполуки з ступеням дисперсності  $10^{-5}$ – $10^{-6}$  см. Високомолекулярні сполуки можуть утворитися не тільки колоїдні, але і істинні розчини. До домішок цієї групи належать мінеральні й органо-мінеральні частинки ґрунтів, колоїдні сполуки заліза та гумусу, що утворюються в результаті хімічного та біохімічного розпаду рослинних залишків безпосередньо у водоймі та що потрапляють в нього з атмосферними і талими водами із ґрунту.

У складі гумусових речовин цієї групи розрізняють колоїдні сполуки гумінових кислот і фульвокислот, які надають воді кольоровість. Наявність колоїдних домішок збільшує і каламутність води, хоча на показник зважених речовин вони не впливають, оскільки частинки колоїдного ступеня дисперсності не затримуються фільтром.

*Третю групу* домішок становлять молекулярно-розчинені речовини з розміром частинок  $10^{-6}$ – $10^{-7}$  см. Розчинні гази, насамперед кисень і вуглекислий газ, практично завжди вміщуються у природній воді, іноді може бути присутнім сірководень. До розчинних органічних сполук належать продукти

життєдіяльності й розкладання бактерій, актиноміцетів, плісняви, водоростей, макрофітів та інших водних організмів, а також феноли та істинно розчинені фульвокислоти. Вміст органічних речовин може збільшуватися при спуску у водойм недостатньо очищених побутових і виробничих стічних вод.

У зв'язку з неможливістю індивідуального аналітичного визначення усіх присутніх у воді органічних сполук вдаються до сумарної оцінки їхнього змісту за величиною окиснюваності, інтенсивності запаху та присмаку тощо.

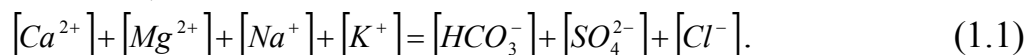
Отже, домішки третьої групи суттєво впливають на якість води, змінюючи її органолептичні показники та збільшуючи окиснюваність. Деякі пофарбовані молекулярно-розчинені органічні сполуки обумовлюють кольоровість води.

Четверта група домішок представлена речовинами, дисоціюють у воді на іони, зі ступенем дисперсності менше  $10^{-7}$  см. Це насамперед, солі, концентрація яких визначає ступень мінералізації води. Загальний вміст солей у воді приблизно оцінюють за величиною щільного залишку, під яким мається на увазі сума всіх домішок води, який визначається шляхом випарювання та подальшого висушування попередньо профільтрованої проби.

У практиці водопідготовки щільний залишок зазвичай називають сухим залишком, хоча останній визначається з нефільтрованої проби, і в такий спосіб до його складу входять усі домішки, зокрема й нерозчинені.

Повніше уявлення про склад домішок четвертої групи дає вивчення іонного складу води. Для переважної більшості природних вод загальний солевміст достатньо точно визначається катіонами  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  і аніонами  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ . Решта іони зазвичай присутні в дуже незначних кількостях, але можуть істотно впливати на властивості та якість води.

Вода електронейтральна, тому суми концентрацій катіонів і аніонів, виражені в  $\text{мг}\cdot\text{екв}/\text{дм}^3$ , рівні. Зважаючи на переважання в природних водах перерахованих семи іонів, можна записати:



Співвідношення вмісту окремих іонів у природній воді залежить від загального солевмісту. Мало мінералізовані води річок і прісні артезіанські води вміщують переважно катіони кальцію та аніони  $\text{HCO}_3^-$ . У міру підвищення мінералізації вміст  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  у воді збільшується.

Іонний склад води обумовлює один з найважливіших показників її якості – лужність.

ДСанПіН 2.2.4-171-10 визначає загальну лужність як показник, що характеризує властивість води, зумовлену наявністю в ній аніонів слабких кислот, головним чином вугільної кислоти (карбонатів, гідрокарбонатів).

Визначення загальної лужності рекомендується виконувати за ДСТУ ISO 9963-1:2007 [9].

Як уже відзначалося, лужність є функцією концентрації гідрокарбонату, карбонату та гідроксиду.

Лужність природних вод через їхній контакт з атмосферою та вапняками зумовлена вмістом у них гідрокарбонатів і карбонатів, які роблять значний внесок у мінералізацію води. Сполуки першої групи можуть міститися також у стічних і забруднених поверхневих водах.

Між концентрацією (активністю) водневих і гідроксильних іонів у природних водах існує певне співвідношення, кількісно пов'язане з концентрацією вільної вуглекислоти, гідрокарбонатів і карбонатів, що відповідають певним величинам рН.

Наприклад, при рН = 0–4 у природних водах можуть знаходитися сильні мінеральні кислоти; при рН = 4–8,36 – вугільна кислота в рівновазі з гідрокарбонатами; при рН = 8,36–12 – гідрокарбонати в рівновазі з карбонатами; при рН = 12–14 – сильні луги.

Лужність зумовлена присутністю у воді речовин, що містять гідроксоаніон, а також речовин, що реагують із сильними кислотами (соляною, сірчаною):

1) сильні луги (KOH, NaOH) та леткі основи (наприклад  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), а також аніони, що зумовлюють високу лужність у результаті гідролізу у водному розчині при рН > 8,4 ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{S}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$  та ін.);

2) слабкі луги та аніони летких і нелетких слабких кислот ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ,  $\text{HS}^-$ , аніони гумінових кислот та ін.).

Лужність проби води визначається кількістю сильної кислоти (зазвичай використовують соляну кислоту), що пішла на нейтралізацію розчину.

При нейтралізації до значень рН 8,0–8,2 як індикатор використовують фенолфталеїн. Визначену в такий спосіб величину називають **вільною лужністю**.

При нейтралізації до значення рН 4,2–4,5 як індикатор використовують метиловий оранжевий. Визначену в такий спосіб величину називають **загальною лужністю**.

Дані аналізів іонного складу води зручно зображувати графічно. Для цього в певному масштабі на двох паралельних дотичних смугах у порядку, зазначеному на рисунку 1.1, відкладають концентрації катіонів та аніонів у мг·екв/дм<sup>3</sup>. Графічне зображення результатів аналізу дозволяє представити

гіпотетичний склад солей у воді. Наприклад, у воді, за результатами аналізу якої складена діаграма, наведена на рисунку 1.1, в, гіпотетично присутні  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ . При відомих концентраціях катіонів та аніонів можна обчислити і концентрації цих солей.

$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+ + \text{H}^+$
$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$

$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$
$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$

в)

$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$
$\text{HCO}_3^-$		$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$

Рисунок 1.1 – Діаграма гіпотетичного складу солей у воді

Аніони на діаграмі розташовуються в порядку збільшення їхніх кислотних властивостей. Розташування катіонів обумовлено тим порядком, у якому вони будуть утворювати малорозчинні з'єднання при поступовому збільшенні значення рН. Саме такий прийом обробки, тобто збільшення лужності середовища, лежить в основі процесів реагентного пом'якшення та знезалізнення води аерацією або вапнуванням.

Отже, якість природних вод оцінюється комплексом різних хімічних, фізико-хімічних, санітарно-бактеріологічних і гідробіологічних показників, визначених відповідним аналізом.

### Визначення загальної, карбонатної та некарбонатної жорсткості

Придатність того чи іншого джерела для цілей водопостачання визначається на підставі даних його санітарного обстеження з урахуванням результатів гідрогеологічних, гідрологічних і топографічних вишукувань.

ДСанПіН 2.2.4-171-10 визначає загальну жорсткість ( $J_{\text{заг}}$ , мг-екв/кг) дорівнює доданку карбонатної та не карбонатної жорсткості

$$J_{\text{заг}} = J_{\text{к}} + J_{\text{н}} \quad (1.2)$$

Крім того ще, як показник, що характеризує властивість води, зумовлену наявністю в ній розчинених солей кальцію та магнію (сульфатів, хлоридів,





оскільки не відбувається ні випадання карбонатів, ні їх додаткового розчинення.

Якщо кількість розчиненої вуглекислоти більше її рівноважної концентрації, рівновага реакції (7) з рисунку 1.2 зрушиться вправо, що призведе до розчинення  $\text{CaCO}_3$ . Надлишок  $\text{CO}_2$  понад рівноважної концентрації називається агресивною вуглекислою. Контакт агресивної води з бетонними спорудами призводить до вимивання з них карбонату кальцію.

У разі нестачі  $\text{CO}_2$  порівняно з рівноважною концентрацією реакція (7) з рисунку 1.2 перебігає справа наліво, що приводить до додаткового утворення та випадання в осад малорозчинного карбонату кальцію.

Стабільність води може бути оцінена експериментально або шляхом обчислення індексу насичення води карбонатом кальцію за результатами визначення у воді температури, загального солемісту, концентрації іонів кальцію та загальної лужності. Основним і більш точнішим методом є експериментальний. Суть його полягає у визначенні загальної лужності або величини рН у вихідній пробі й після струшування її з карбонатом кальцію протягом 1–2 год.

Якщо у воді одночасно виявляється кілька речовин, нормованих за органолептичним або санітарно-токсикологічним показниками, то сумарна концентрація їх, виражена в частках ГДК кожної речовини, не повинна перевищувати одиниці

$$\frac{c_1}{C_1} + \frac{c_2}{C_2} + \dots + \frac{c_n}{C_n} \leq 1, \quad (1.4)$$

де  $c$  – виявлені концентрації речовин,  $\text{мг/дм}^3$ ;

$C$  – ГДК для тих самих речовин,  $\text{мг/дм}^3$ .

Безпека води в санітарно-епідеміологічному плані гарантується за умови дотримання вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10 за мікробіологічними показниками. Загальна кількість мікроорганізмів в  $1 \text{ см}^3$  питної води не повинна перевищувати 100. Кількість бактерій групи кишкової палички в 1 л питної води (колі-індекс) не повинно бути більше трьох. У питній воді повинні бути відсутніми організми, що розрізняються неозброєним оком.

У разі забруднення питної води невідомими токсичними сполуками та хімічними речовинами, для визначення яких відсутні методи дослідження, рекомендується застосовувати допоміжний інтегральний (експресний) показник якості питної води – індекс токсичності питної води, розрахований за результатами біологічних тестів (біотестування) [2]:

$$T = \frac{I_k - I_0}{I_k} \cdot 100 \%, \quad (1.5)$$

де  $T$  – індекс токсичності проби досліджуваної води;

$I_k$  – величина тест-реакції у контрольній пробі;

$I_0$  – величина тест-реакції у досліджуваній пробі.

Індекс токсичності питної води, яка не містить неідентифікованих компонентів, не повинен перевищувати 50 % незалежно від використовуваних тест-об'єктів, якими можуть бути дафнії, інфузорії тощо.

### *Завдання до практичного заняття з теми 1*

1. Перевірте правильність виконання аналізу води, результати якого наведені нижче.

Концентрація, мг/дм <sup>3</sup>	
Ca <sup>2+</sup> .....	35,8
Mg <sup>2+</sup> .....	24,8
Na <sup>+</sup> .....	23
K <sup>+</sup> .....	7,8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	73,2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .....	120
Cl <sup>-</sup> .....	46,1
Щільний залишок .....	320
Загальна жорсткість, мг-екв/дм <sup>3</sup> .....	3,8
Карбонатна жорсткість, мг-екв/дм <sup>3</sup> .....	1,2

2. Що можна сказати про воду, якщо при експериментальному визначенні її стабільності значення рН до експерименту дорівнювало 6,2, а після експерименту виявилось дорівнює 6,9.

3. Визначити чи придатна вода для питних цілей, якщо вона задовольняє вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 за органолептичними й бактеріологічними показниками, а з речовин, нормованих за санітарно-токсикологічним показником шкідливості, виявлені іони свинцю [Pb] = 0,01 мг/дм<sup>3</sup>, стронцію [Sr] = 3,64 мг/дм<sup>3</sup>, молібдену [Mo] = 0,1 мг/дм<sup>3</sup>.

4. Визначити загальну й некарбонатну жорсткість за результатами аналізу води, зображеним графічно на рисунку 1.1 а (масштаб 1 см – 2 мг-екв/дм<sup>3</sup>).

5. Визначити, для якої з трьох проб води, результати аналізу, яких представлені на рисунку 1.1, рівні: 1) загальна і карбонатна жорсткість; 2) карбонатна жорсткість і лужність; 3) карбонатна жорсткість, лужність та кальцієва жорсткість.

## ТЕМА 2 ЛАБОРАТОРНО-ВИРОБНИЧИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ВОДИ В СИСТЕМАХ ГОСПОДАРЧО-ПИТНОГО І ВИРОБНИЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Якість питної води оцінюється комплексом різних показників, визначених санітарно-хімічними та гідробіологічними аналізом [4].

Повний санітарно-хімічний аналіз води включає кілька десятків визначень: температури, запаху, забарвленості, каламутності, зважених речовин та їхньої зольності (для вихідної води); жорсткості загальної, карбонатної і некарбонатної; лужності; вмісту сульфатів, хлоридів, нітритів, нітратів, фосфатів, силікатів, аміаку сольового й альбуміноїдного; іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  (залишковий),  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , F; щільного залишку; вуглекислоти вільної та зв'язаної; розчиненого кисню; окислованості, БСК<sub>5</sub> (для вихідної води), рН, загальної кількості бактерій; кількості бактерій групи кишкової палички.

Крім перелічених визначень, вихідна вода не рідше одного разу на рік аналізується на вміст радіоактивних речовин, сполук селену, стронцію, іонів  $\text{Mo}^{2+}$ ,  $\text{Be}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{As}^{3+}$ ,  $\text{As}^{5+}$ , і в разі їх постійного виявлення ці визначення включаються в повний аналіз.

Повсякденний контроль якості води забезпечується значно меншою кількістю аналізів. Характер і кількість показників, за якими здійснюється повсякденний контроль, можуть значно змінюватися залежно від виду водопостачання, методів обробки води та вимог, що ставляться до води споживачем.

Вимоги до якості води, що використовується для потреб промислових і сільськогосподарських підприємств або іншими споживачами, в кожному конкретному випадку обґрунтовуються фахівцями, що відповідають за якість виробленої продукції або послуг, що надаються.

Для кожної централізованої системи питного водопостачання експлуатаційною організацією розробляється спеціальна програма, в якій обґрунтовується перелік контрольованих показників і регламент проведення контролю. Програма узгоджується з органами Держсанепідемнагляду.

Необхідність і частота визначення того чи іншого показника залежать від мети, з якою виконується аналіз. Основні показники, що швидко змінюються в процесі очищення, наприклад мутність і кольоровість, за якими нормується якість води, визначаються часто. Для їх визначення на великих станціях застосовують автоматичні реєструвальні прилади. Якщо на очисній станції передбачено кондиціонування іонного складу води, постійно контролюється

показник, за яким здійснюється кондиціонування. Часто визначаються й показники, що характеризують санітарний стан води.

Частину технологічних показників визначають з метою контролю за умовами перебігу процесу обробки води. До них належить, наприклад, температура, рН, лужність. Функцією температури є в'язкість води, а отже, і сили опору частинок у процесі їх осадження. Від температури залежить розчинність у воді газів і швидкість окислювальних процесів. Температура істотно впливає на швидкість і глибину процесу пом'якшення. Різкі коливання температури навіть на 1–2 °С ускладнюють роботу освітлювачів водопом'якшувальних установок.

Активна реакція середовища є технологічним параметром при процесах коагуляції, пом'якшення, знезалізнення. Значенням рН визначається стан хімічної рівноваги у воді, розчинність гідроксидів алюмінію та заліза. Величина рН – найважливіший показник при оцінці корозійних властивостей води та її стабільності.

Визначення лужності є одним із варіантів технологічного контролю деяких процесів. Від величини лужності вихідної води залежать дози реагентів.

При обробці води її якість залежить і від залишкових концентрацій реагентів. Концентрації алюмінію, поліакриламід, заліза та інших з'єднань строго нормуються в питній воді. Визначення залишкових концентрацій хлору й озону проводиться безперервно автоматичними реєструвальними приладами, а в разі неможливості такого контролю – один раз на годину. Настільки часте виконання цих аналізів диктується необхідністю підтримки певної залишкової концентрації окислювача для досягнення необхідного бактерицидного ефекту. Крім того, за цими показниками контролюється доза окислювача.

Однак для вихідної води дані повного санітарно-хімічного аналізу ще не можуть дати повного уявлення про властивості води.

У зв'язку з цим у практиці водопідготовки широко застосовують технологічні аналізи води, що дозволяють оцінити її якість з точки зору можливості обробки води тим чи іншим методом і вибрати оптимальні дози реагентів. До таких аналізів належать пробне коагулювання, вуглевання, хлорування, знезалізнення, стабілізація води тощо.

Як правило, якість води контролюють на всіх етапах її обробки, тому перед кожною спорудою та після неї необхідно передбачити пристрої для відбору проб. Якість води контролюють не тільки на очисній станції, але й у розподільній мережі. При цьому місця відбору проб вибирають так, щоб можна було оцінити якість води у всіх основних магістральних водопровідних лініях і в найбільш віднесених і тупикових ділянках вуличної розподільчої мережі.

Загальна кількість аналізованих проб повинно бути при чисельності населення, що обслуговується: до 10 тис. осіб – не менше 2; до 20 тис. осіб – не менше 10; до 50 тис. осіб – не менше 30; до 100 тис. осіб – не менше 100 і при більшій чисельності населення – не менше 200 аналізів на місяць. У всіх відібраних пробах визначається загальне мікробне число, кількість загальних і термотолерантних коліформних бактерій, зміст коліфагів, каламутність, забарвленість, запах і присмак води.

### *Завдання до практичного заняття з теми 2*

1. При аналізі проби води, взятої з водоносного горизонту, отримані такі результати: запах 1 бал, каламутність 1,2 мг/дм<sup>3</sup>, забарвленість 8 град, рН = 7,6, [Ca<sup>2+</sup>] = 36,8 мг/дм<sup>3</sup>, [Mg<sup>2+</sup>] = 19,8 мг/дм<sup>3</sup>, залізо загальне 0,22 мг/дм<sup>3</sup>, [Cl<sup>-</sup>] = 7 мг/дм<sup>3</sup>, [SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] = 30 мг/дм<sup>3</sup>, щільний залишок 140 мг/дм<sup>3</sup>. Чи можна цю воду використовувати для цілей питного водопостачання і чи відповідає виконаного аналізу для такої оцінки?

2. Встановити число (n) паралельних проб підземної води для аналізу вмісту в ній загального заліза, щоб випадкова помилка аналітичного визначення середнього арифметичного значення вибірки з n проб з імовірністю 95 % перебувала в межах  $\Delta F_{\text{общ}} = \pm 0,025 \text{ мг/дм}^3$ . Результати аналізів підземної води на вміст у ній загального заліза, виконаних протягом однієї доби, наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вміст розчиненого заліза в пробах підземної води та розрахунок середнього квадратичного відхилення (a) для них

Номер проби	Концентрація Fe <sub>заг</sub> , мг·екв/дм <sup>3</sup>	Середнє арифметичне значення Fe <sub>заг</sub> , мг·екв/дм <sup>3</sup>	Квадрати відхилень від середнього, мг/дм <sup>3</sup>
1	1,12	5,66:5 = 1,13	0,000 1
2	1,15		0,000 4
3	1,11		0,000 4
4	1,16		0,000 9
5	1,12		0,000 1
$\Sigma F_{\text{заг}} = 5,66$			$\Sigma(\Delta F_{\text{заг}}) = 0,000 19$

3. На прикладі водопостачання м. Харків розглянути організацію контролю якості водопровідної води.

## ТЕМА 3 КОНТРОЛЬ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ВОДИ, ПРОЦЕСІВ КОАГУЛЮВАННЯ, ВІДСТОЮВАННЯ, ФІЛЬТРУВАННЯ

### 1 Контроль процесів попередньої обробки води

Попередня обробка води проводиться з метою підвищення ефективності процесів освітлення та знебарвлення і зниження дози коагулянту, ліквідації специфічних домішок, які не будуть видалені з води в основному технологічному циклі, а також для поліпшення санітарного стану споруд. Залежно від характеру й концентрації домішок у воді джерела при попередній обробці вирішуються всі перелічені завдання або деякі з них.

До числа методів попередньої обробки води належать окислення, вуглевання, підлужування або підкислення, якщо це необхідно для подальшого процесу обробки.

Як окиснювачі використовують хлор, озон, перманганат калію. Найпоширенішими є поширення набуло попереднє хлорування. У результаті обробки води хлором окислюється частина речовин, які обумовлюють забарвленість води, і руйнуються органічні захисні колоїди, що перешкоджають процесу коагуляції. Залежно від складу гумусових речовин шляхом попередньої обробки води хлором вдається знизити забарвленість води на 25–60 %, що відчутно позначається на витраті коагулянту. Одночасно зі зниженням забарвленості відбувається знезараження води, що значно поліпшує санітарний стан споруд.

Доза хлору для попереднього хлорування в середньому становить 3–6 мг/дм<sup>3</sup>, але на практиці в окремі періоди може досягати 12–15 мг/дм<sup>3</sup>. Обов'язковою умовою є забезпечення в оброблюваній воді концентрації залишкового вільного хлору 0,5 мг/дм<sup>3</sup>. Дозу хлору одночасно контролюють за його витратою.

Застосування великих доз хлору зазвичай призводить до необхідності дехлорування води. Видалення надлишку хлору досягається обробкою води сірчистим газом. Контроль процесу здійснюється за залишковим хлором.

Одним із найважливіших завдань попереднього хлорування є зниження чисельності живих організмів – фіто- й зоопланктону. У періоди цвітіння водойм ускладнюється робота очисних споруд: збільшується витрата коагулянту, зростає кількість промивань фільтрів, вода набуває неприємні запахи та присмак. У цих умовах зростає значення попередньої обробки, яку необхідно проводити з максимальною ефективністю, щоб перешкодити накопиченню планктонних організмів в завантажених фільтрах.

Встановлено, що попереднє хлорування є головним альгіцидним фактором при очищенні води та дозволяє знизити кількість клітин фітопланктону в середньому на 80–85 %.

Не менш важливо забезпечити загибель організмів зоопланктону, оскільки мертві організми добре видаляються з води в процесі коагуляції, тоді як у живому стані багато представників зоопланктону (зокрема нижчі ракоподібні), володіючи великою рухливістю, легко вибираються з хлопку скоагульованих зважених речовин.

Найбільший ефект попереднього хлорування досягається при проведенні його в ковші. Хлор уводиться в початок ковша, у наслідок чого забезпечується тривалий контакт його з водою. Одночасно відбувається виділення частини зважених речовин. Ефективність роботи ковша оцінюється на основі санітарно-хімічного й гідробіологічного аналізів вихідної та обробленої води.

При концентрації планктону у воді понад 1 000 клітин в 1 мл доцільно як попередній ступень очищення застосовувати мікрофільтри. Ефективність затримання фітопланктону на мікрофільтрах становить 60–95 % в залежності від переважаючого типу водоростей.

Застосування мікрофільтрів дозволяє знизити дозу коагулянту, скоротити кількість промивок і витрата промивань води для фільтрів, збільшити тривалість фільтроциклу. При контролі роботи мікрофільтрів заміряють втрату напору (до 5 КПа) і витрату води на промивання (1,5 % від витрати оброблюваної води). Часткове відмивання сітчастих полотен здійснюють зворотним струмом води, а повне очищення сіток виробляють уручну з витяганням сітки з корпусу фільтра. Гідробіологічний аналіз води до й після мікрофільтрів дозволяє оцінити ефективність їхньої роботи.

Найбільш поширеними схемами предочисток при хімічній обробці води для живлення парових котлів є: коагуляція в освітлювачах + фільтрування; безсатураторне вапнування в освітлювачах + фільтрування; безсатураторне вапнування (іноді з коагуляцією) + відстоювання в зашламлених освітлювачах + фільтрування [5]. Дози реагентів визначають розрахунком [6] і уточнюють експериментально спрощеними методами. Під час вапнування залишкова жорсткість відстоюної та профільтрованої води визначається за формулою

$$Ж_{зал} = Ж_{н.к.} + D_k + (0,8 - 1,5), \text{ мг-екв/дм}^3, \quad (3.1)$$

де  $Ж_{н.к.}$  – некарбонатна жорсткість, мг-екв/дм<sup>3</sup>;

$D_k$  – витрата коагулянту, мг-екв/дм<sup>3</sup>.

У процесі содо-вапнуванні мінералізованих вод залишкова жорсткість повинна знаходитися в межах 0,3–0,6 мг-екв/дм<sup>3</sup>, а високо-мінералізованих –



1,0–2,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

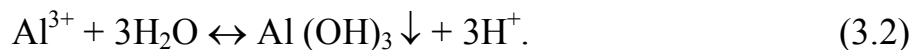
Оскільки гідроліз коагулянту призводить до зниження рН, то в разі нестачі природної лужності у воду додають вапно або соду, розраховуючи їхні дози відповідно до рекомендацій [6].

Незважаючи на те, що коагуляція вже давно й широко застосовується для обробки води з різними цілями, ще не знайдений параметр, який міг би повністю характеризувати процес коагуляції. При введенні у воду коагулянтів зміні піддається низка якісних показників: змінюється сольовий склад води і, зокрема, вміст сульфатів і хлоридів, електропровідність, збільшується каламутність та ін.

### Контроль процесів коагулювання води

Обробку води коагулянтами застосовують для інтенсифікації та підвищення ефективності процесів освітлення та знебарвлення. Як коагулянт використовують сірчаноокислі солі алюмінію та заліза. Найпоширенішим є сірчаноокислий глинозем.

У водному розчині ця сіль дисоціює з утворенням іонів  $Al^{3+}$ , які частково адсорбуються колоїдами й зваженими речовинами природної води, частково гідролізуються:



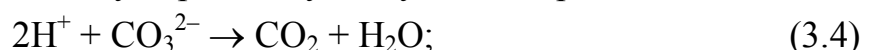
У результаті реакції утворюється колоїд малорозчинного гідроксиду алюмінію. Отже, при введенні коагулянту у воду, що містить колоїдні гумусові речовини й мінеральні зважені частинки утворюється складна система, що складається з різних за характером колоїдних речовин і суспензій. Коагуляція такої системи може бути викликана обмінної адсорбції катіонів, взаємною нейтралізацією різнойменно заряджених колоїдних частинок, порушенням стійкості будь-якого одного компонента системи.

Варто мати на увазі, що гідроліз коагулянту призводить до зниження рН води завдяки іонам водню, що виділяються (реакція (3.3)). Іони  $H^+$  перешкоджають гідролізу глинозему й таким спосіб погіршують умови коагуляції  $Al(OH)_3$ .

Оскільки природні води завжди мають запас лужності, іони  $HCO_3^-$  пов'язують іони  $H^+$  за реакцією:



Якщо запасу природного лужності води не вистачає для нейтралізації  $H^+$ , то до води додають вапно або соду. При цьому відбуваються реакції:





Реагент для підлужування потрібно вибрати з урахуванням допустимого зниження значення рН. З рівнянь реакції (3.3, 3.4 і 3.5) видно, що найнижчим значенням рН виявиться в разі нейтралізації водню за рахунок природної лужності води. Найвище значення рН забезпечується при додаванні вапна, оскільки в цьому випадку не виділяється  $\text{CO}_2$ .

З усього сказаного випливає, що підтримка рН на певному рівні дуже важливо для швидкої та ефективної коагуляції. Оптимальне значення рН визначається з умов забезпечення мінімальної розчинності гідроксиду алюмінію та швидкої коагуляції золю з обов'язковим урахуванням якості вихідної води.

У процесі коагулювання вирішальну роль відіграє вибір і підтримання оптимальної дози коагулянту, тобто тої мінімальної її кількості, при додаванні якої досягається необхідний ступінь освітлення та знебарвлення води. Доза реагенту залежить не тільки від величини каламутності й забарвленості, але й від ступеня дисперсності зважених речовин і характеру речовин, які обумовлюють забарвленість. При одній і тій самій каламутності води може знадобитися різна доза реагенту, якщо в одному випадку у воді переважають грубодисперсні домішки, а в іншому – дрібні зважені частинки, що важко осідають.

### Контроль процесу відстоювання води

Виділення з води пластівців гідроксиду алюмінію разом з основною масою забруднень здійснюється у відстійниках різних типів і в освітлювачах зі зваженим шаром осаду.

Для оцінки ефективності роботи відстійників і освітлювачів виконують санітарно-хімічний і гідробіологічний аналізи води. Скорочений аналіз освітленої води проводять один раз на добу. Частіше, 1–2 рази на зміну, виконують аналіз на мутність і кольоровість. На підставі результатів аналізу визначають ефективність процесів коагуляції та освітлення.

При розрахунку ефективності відстоювання води вихідну концентрацію зважених речовин  $C_{\text{вих}}$  доводиться визначати розрахунковим шляхом, оскільки вона залежить не тільки від каламутності  $K$  і забарвленості  $Z$  вихідної води, але й від дози коагулянту  $D_k$  і кількості нерозчинених речовин, що вводяться у воду з вапном у процесі підлужування  $V$ . Розрахунок концентрації зважених речовин  $C_{\text{вих}}$  ведуть за формулою:

$$C_{\text{вих}} = K + k D_k + 0,253 + B, \quad (3.6)$$

де  $k$  – коефіцієнт переведення маси коагулянту в масу сухого осаду, що утворюється в процесі коагулювання, для очищеного сірчаноокислого алюмінію  $K = 0,55$ , для неочищеного – 1, для хлорного заліза – 0,8.

Накопичення осаду у відстійнику контролюється періодичними вимірами висоти шару осаду по довжині відстійника. Висота шару не повинна перевищувати 2–2,5 м. Залежно від каламутності та забарвленості вихідної води й конструкції відстійника період накопичення осаду може становити 6–24 год 2–3 тижні або 2–3 місяці.

Надмірне накопичення осаду або порушення гідравлічного режиму роботи відстійника може привести до вторинного виносу зважених речовин через взмучування шару осаду, що випав.

Дані санітарно-хімічного аналізу дозволяють підрахувати кількість осаду, що утворюється при освітленні води. Для підрахунку необхідно крім концентрації зважених речовин у вихідній і освітленій воді знати час між скиданням осаду, пропускну здатність станції за цей період і вологість осаду. Крім того, враховується розведення осаду водою під час його розвантаження. При обробці води коагулянтами вологість осаду залежно від вихідної концентрації зважених речовин і часу ущільнення осаду коливається в межах 94 – 99,4 %.

### **Контроль процесу фільтрування води**

Процес освітлення та знебарвлення води завершується на фільтрах. Фільтрування через шар зернистого завантаження дозволяє майже повністю звільнити воду від зважених речовин і здебільшого мікроорганізмів. Фільтрована вода повинна задовольняти вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 за показниками «каламутність» і «забарвленість» [1].

При великому вмісті в складі залишкових забруднень бактерій, клітин гідробіонтів і органічних речовин роблять санітарну обробку фільтра хлором. При цьому споруда працює як зазвичай, але фільтрат спускають у стік, а у воду що надходить, подають хлор у кількості 50–100 мг/дм<sup>3</sup>. Обробку ведуть протягом 2 годин, після припинення подачі хлору фільтрат спускають у стік ще протягом 0,5 годин. Потім фільтр промивають водою та пускають у роботу.

До основних завдань технологічного контролю за роботою фільтрів входить цілодобова підтримка якості фільтрату (очищеної води). Проби відбираються від кожного фільтра окремо та зі збірного каналу, що відводить

фільтрат у резервуар чистої води.

У фільтраті визначають мутність, забарвленість, рН.

### *Завдання до практичного заняття з теми 3*

1. Підрахувати справжню дозу коагулянту в перерахунку на технічний продукт, якщо під час контрольних визначень лужності в процесі коагулювання зафіксовано її падіння з 4 мг·екв/дм<sup>3</sup> до 3,25 мг·екв/дм<sup>3</sup>. Зміст активної частини в глиноземі становить 62 %.

2. Оцінити, як зміниться кількість осаду, що утворюється при коагулюванні та відстоюванні, якщо каламутність води збільшилася з 50 мг/дм<sup>3</sup> до 220 мг/дм<sup>3</sup>, забарвленість – з 64 град до 81 град, лужність знизилася з 3 мг·екв/дм<sup>3</sup> до 1,5 мг·екв/дм<sup>3</sup>, а концентрація зважених речовин у відстояній воді в тому та в іншому випадку дорівнює 10 мг/дм<sup>3</sup>.

3. Дати технологічну оцінку змінам складу води в процесі її попередньої обробки (табл. 3.1). Попередня обробка передбачає хлорування води з подальшим відстоюванням в ковші.

Таблиця 3.1 – Якість води до обробки й після

Показники	Значення показника для води	
	вихідна	після попередньої обробки
Каламутність, мг/дм <sup>3</sup>	83	50
Окиснюваність, мг/дм <sup>3</sup>	10	1
Залишковий хлор, мг/дм <sup>3</sup>	–	0,54
Забарвленість, град	45	30
Число клітин в 1 мл:		
фітопланктону	1 200	180
зоопланктону	650	94
Запах, бали	4	2
Мікробне число	250	14
Колі-індекс	54	5

4. За результатами, наведеними в таблицях 3.2 і 3.3, дати технологічну оцінку роботи фільтра за два періоди (I і II).

Таблиця 3.2 – Показники для розрахунку

Показник	Значення показника в період роботи фільтра	
	I	II
Швидкість фільтрування, м/год	10	6
Тривалість фільтроциклу, год	24	16
Тривалість промивання, хв	6	10
Витрата води на одне промивання, м	400	600

Таблиця 3.3 – Результати вимірів для розрахунку

Показник	Значення показників			
	води, що надходить на фільтр		фільтрату	
	I період	II період	I період	II період
Каламутність, мг/дм <sup>3</sup>	1,4	12	0,7	2,4
Забарвленість, град	18	17	11	11
Фітопланктон, кл/мл	54	594	3	95
Число організмів, видимих неозброєним оком	4	10	немає	6

#### ТЕМА 4 КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСІВ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ

Одним з основних завдань очисних споруд водопроводу є запобігання можливого поширення через воду кишкової палички. Освітлення та знебарвлення води з коагулюванням і подальшим відстоюванням і фільтруванням навіть за умови попереднього хлорування не забезпечує повного видалення з води бактеріальної мікрофлори. Приблизно 1–10 % бактерій, серед яких можуть виявитися й патогенні, зберігають свою життєздатність.

Бактеріологічний аналіз включає два визначення: загального числа в 1 мл води (мікробне число) і числа бактерій групи кишкової палички в 1 л води.

Необхідність гідробіологічного контролю якості води викликана тим, що у питній воді повинні бути відсутніми організми, видимі неозброєним оком, клітини фіто- й зоопланктону. Водночас можливе проскакування цих організмів через фільтри, особливо в період підвищеного вмісту планктону у воді. Особливу увагу гідробіологічним спостереженнями повинна приділятися в разі наявності у воді хлоро-стійких організмів, наприклад, протикокових і вольвоксових водоростей.

Відповідно до вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10 у питній воді через 30 хвилин після ведення хлору концентрація залишкового вільного хлору повинна бути не менше  $0,3 \text{ мг/дм}^3$ , але не більше  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ .

Необхідну дозу хлору приймають на підставі пробного хлорування, за результатами якого будують графік хлоропоглинальності води. Переймаючись необхідної концентрацією залишкового вільного хлору, за цим графіком визначають бактерицидну дозу хлору. Для знезараження обробленої води поверхневих джерел зазвичай потрібна доза хлору  $2\text{--}3 \text{ мг/дм}^3$ .

#### *Завдання до практичного заняття з теми 4*

1. Визначити колі-індекс досліджуваної води. При виконанні колі-тесту через мембранний фільтр пропущено  $0,5 \text{ л}$  води, при посіві на середовище Ендо виросло п'ять колоній, типових для бактерій Coli.

2. Визначити колі-індекс, якщо колі-титр річкової води дорівнює 20.

3. Автоматичний прилад, який контролює залишковий хлор у воді, зафіксував його падіння. Черговий оператор збільшив дозу хлору, але концентрація залишкового хлору продовжувала падати. Чим це можна пояснити?

4. Дві проби води піддавалися озонуванню. Ефект знезараження для першої проби становить  $95 \%$ , для другої –  $99,5 \%$ . Чи можна судити про глибину знезараження тільки за цими цифрами?

5. Визначити ефективну бактерицидну дозу хлору по кривій хлоропоглинання знезаражують води, наведеної на рисунку 4.1.

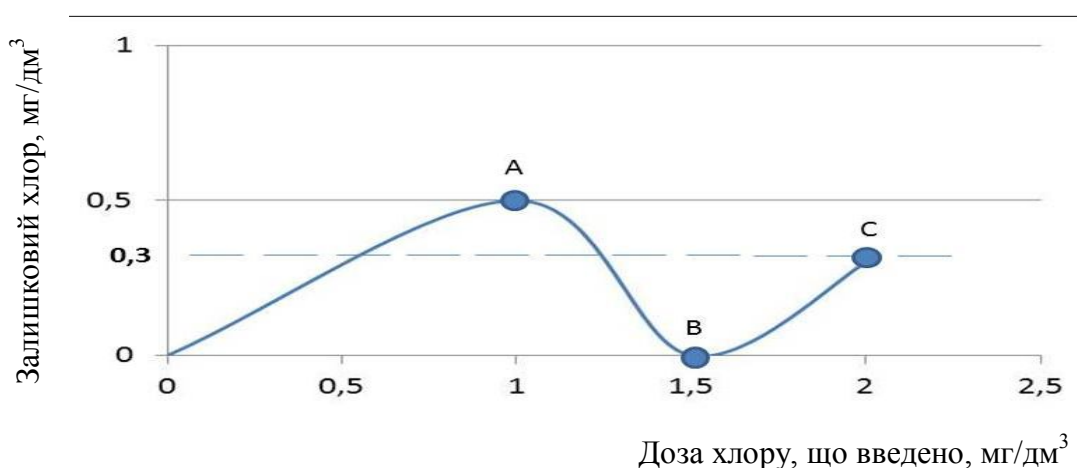


Рисунок 4.1 – Хлоропоглинання води

## ТЕМА 5 КОНТРОЛЬ ОСОБЛИВИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ВОДИ

### Контроль процесів пом'якшення води

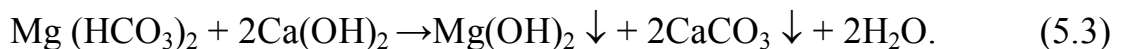
Під пом'якшенням води розуміють повне або часткове видалення з води катіонів  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$ , які обумовлюють її жорсткість. Залежно від якості вихідної води й необхідного ефекту зниження жорсткості застосовують реагентний, термохімічний, іонітовий методи пом'якшення або різні комбінації їх.

Реагентні методи засновані на здатності катіонів  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  утворювати нерозчинні та малорозчинні сполуки при обробці води реагентами. Як реагенти найчастіше використовується вапно й сода.

У процесі вапнування води усувається тільки карбонатні жорсткість і одночасно знижується лужність води. Вапно, що додається у воду частково витрачається на зв'язування розчиненої у воді вуглекислоти:

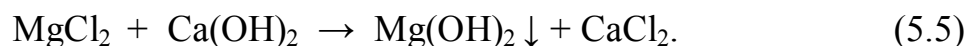
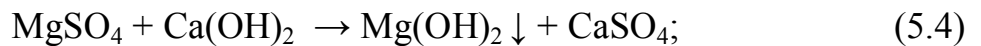


Зниження карбонатної жорсткості води відбувається внаслідок таких реакцій:



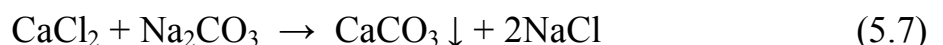
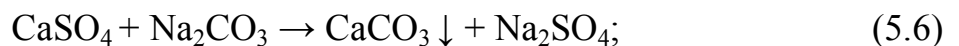
Одночасно відбувається еквівалентне зниження лужності.

Магнієві солі некарбонатної жорсткості переводяться в кальцієві:



Жорсткість при цьому не знижується, а тільки переходить з магнієвої в кальцієву.

Для усунення некарбонатних жорсткості у воду після вапнування додають соду, унаслідок чого обмінні реакції призводять до випадання в осад солей кальцію:



Глибина пом'якшення та швидкість процесу залежать від багатьох факторів і насамперед від складу вихідної води, температури, дози реагенту, значення рН, забезпеченості повного контакту оброблюваної води з осадом, що раніше утворився. Перелічені фактори визначають основні напрями в технологічному контролі за процесом пом'якшення.

Підвищення температури забезпечує швидший перебіг хімічних реакцій і повніше осадження  $\text{CaCO}_3$  і  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , оскільки при підвищенні температури до

35–40 °С значно зменшується розчинність сполук, що утворюються.

Якість пом'якшеної води залежить від правильності розрахунку доз реагентів. Теоретично оптимальні дози реагентів можна розрахувати за реакціями (5.1, 5.2, 5.3, 5.4 і 5.5), знаючи концентрацію у вихідній воді іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  та вільної вуглекислоти. Для забезпечення повноти осадження сполук кальцію та магнію необхідний деякий надлишок реагентів. Встановлено, що для осадження іонів кальцію потрібно збільшити дозу вапна на 0,5 мг·екв/дм<sup>3</sup> порівняно з розрахунковою, іонів  $\text{Mg}^{2+}$  – на 1 мг·екв/дм<sup>3</sup>. При більшому надлишку вапна підвищуються залишкова жорсткість і гідратна лужність обробленої води.

Контроль правильності дозування реагентів здійснюється за величиною рН. Оптимальне для процесу пом'якшення значення рН можна визначити розрахунком за формулою:

$$pH_{opt} = pH_s + \Delta pH, \quad (5.8)$$

де  $pH_s$  – значення рН, при якому досягається рівноважний стан між осадом  $\text{CaCO}_3$  або  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  і розчином;

$\Delta pH$  – надмірне значення рН, необхідне для повноти осадження катіонів  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  і прискорює процес пом'якшення.

Для розрахунку показника нестабільності  $\Delta Щ$  визначають лужність води після відстоювання  $Щ_1$  і фільтрування  $Щ_2$ . Тоді  $\Delta Щ$  визначиться як різниця цих величин, тобто

$$\Delta Щ = Щ_1 - Щ_2. \quad (5.9)$$

Допустиме в експлуатації значення показника нестабільності залежить від температури та приймається при температурі води, °С, не більше:

10.....	0,25
10–20.....	0,15
30–40.....	0,1

### **Контроль процесів очищення води від сполук заліза і марганцю**

Залізо з підземних вод видаляють фільтруванням у поєднанні з попередньою обробкою, в завдання якої входить перетворення  $\text{Fe}^{2+}$  у форму  $\text{Fe}^{3+}$ . Процес окислення може бути здійснено киснем повітря, хлором, перманганатом калію. Вибір методу попередньої обробки залежить від концентрації та форми, в якій залізо присутнє у воді, наявності супутніх домішок, необхідної ефективності очищення та проводиться на підставі результатів пробного знезалізнєння.



У результаті окислення тривалентне залізо, що утворилося гідролізується з утворенням гідроксиду, що видаляється з води в процесі фільтрування:



Швидкість процесу залежить від наявності достатньої кількості  $\text{O}_2$  і зростає при збільшенні значення рН.

Якщо концентрація заліза у воді не перевищує  $10 \text{ мг/дм}^3$ ,  $\text{pH} \geq 6,8$ , лужність  $\text{L} \geq (1 + \text{Fe}^{2+}/28)$  і вміст сірководню не більше  $2 \text{ мг/дм}^3$ , то знезалізнення здійснюється методом спрощеної аерації з фільтруванням. Вода збагачується киснем при зливі з трубопроводу, що подає з висоти  $0,5\text{--}0,6 \text{ м}$  у розподільну камеру фільтрів. У процесі фільтрування води через зернистий шар завантаження на поверхні зерен утворюється каталітична плівка, що складається переважно з гідроксиду заліза. Ця плівка інтенсифікує процес окиснення й виділення заліза з води. Для утворення каталітичної плівки необхідно присутність у воді розчиненого  $\text{O}_2$  у кількості  $0,6\text{--}0,9$  на  $1 \text{ мг Fe}^{2+}$ .

### **Контроль процесу стабілізаційної обробки води**

Сутність стабілізаційної обробки полягає в тому, щоб привести різні форми вуглекислоти до такого співвідношення, при якому не відбувається ні розчинення карбонатів, ні їх випадіння в осад, унаслідок чого вода не робить корозійної дії на трубопроводи та не спричиняє їх заростання карбонатом кальцію [1].

У початковий період експлуатації водопровідних систем по трубопроводах транспортують воду, пересичений карбонатом кальцію. У результаті відкладення  $\text{CaCO}_3$  на внутрішній поверхні труб утворюється захисна плівка, що перешкоджає безпосередньому контакту води з металом. Для збереження сформованого захисного шару вода, що транспортується по трубах, повинна бути стабільна.

Оцінку стабільності води проводять не менше чотирьох разів на рік (по одному разу в сезон). Вода може виявитися нестабільною після обробки її мінеральними коагулянтами в процесі знезалізнення й пом'якшення. При позитивному індексі насичення воду обробляють кислотою, гексаметафосфатом або триполіфосфатом натрію. При індексі насичення  $+0,5$  обробку проводять протягом  $8\text{--}10$  міс на рік. При негативному індексі насичення виробляють підлуження води вапном.

## **Завдання до практичного заняття з теми 5**

1. Визначити оптимальне значення рН процесу декарбонізації для зниження кальцієвої жорсткості до  $0,5 \text{ мг екв/дм}^3$ , якщо пом'якшення здійснювалося при температурі  $40^\circ \text{C}$  і оброблена вода повинна мати вміст солі  $200 \text{ мг/дм}^3$  і лужність  $1,5 \text{ мг екв/дм}^3$ .

2. Визначити, чи буде стабільною вода після її обробки глиноземом з дозою  $20 \text{ мг/дм}^3$ , якщо лужність води  $2 \text{ мг-екв/дм}^3$ , вміст вільної вуглекислоти  $4 \text{ мг/дм}^3$ , температура  $10^\circ \text{C}$ . Загальний солевміст обробленої води  $150 \text{ мг/дм}^3$ , а концентрація іонів кальцію становить  $80 \text{ мг/дм}^3$ .

3. Вода, що надходить на знезалізнення, має  $t = 20^\circ \text{C}$ ,  $\text{pH} = 7$ ,  $\text{Fe}^{2+} = 8 \text{ мг/дм}^3$ ,  $\text{CO}_2_{\text{вил}} = 30 \text{ мг/дм}^3$ , лужність  $= 3 \text{ мг-екв/дм}^3$  і щільний залишок  $200 \text{ мг/дм}^3$ . Оцінити, які зміни відбудуться в складі води при повному видаленні заліза.

4. Для видалення заліза з води використовується його здатність утворювати нерозчинний у воді гідроксид заліза  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , константа розчинності якого дорівнює  $4,0 \cdot 10^{-38}$ . Визначити кількість заліза, що залишається в розчині при  $\text{pH} = 5$  і  $10$ .

5. Визначити, чи стабільна вода в озері, і намітити програму її стабілізації. Озерна вода має такий фізико-хімічний склад: температура  $6^\circ \text{C}$ ,  $\text{pH} = 6,2$ , вміст солі  $160 \text{ мг/дм}^3$ , лужність  $0,08 \text{ мг-екв/дм}^3$ , вміст,  $\text{мг/дм}^3$ :  $\text{Ca}^{2+} = 6$ ;  $\text{CO}_2 = 8$ ;  $\text{SiO}_2 = 0,1$ ;  $\text{Cl}^- = 83$ ;  $\text{SO}_4^{2-} = 8$ ;  $\text{Mg}^{2+} = 4$ ;  $\Sigma A_n = 2,55 \text{ мг-екв/дм}^3$ . Натурні спостереження за корозійною стійкістю конструкційних сталей мережі й обладнання показують, що вони в процесі експлуатації піддаються інтенсивному руйнуванню під час контакту з водою.

## **ТЕМА 6 КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСІВ ГІДРОХІМІЧНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ЗВОРОТНИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖУВАННЯ**

### **Контроль процесів гідрохімічного режиму роботи зворотних систем охолодження**

При гідрохімічному контролі зворотної системи водопостачання спочатку перевіряється дотримання таких водних балансів:

$$q_{\text{св}} = q_{\text{СТ}} + q_{\text{бв}} = q_{\text{T}} + q_{\text{П}}; \quad (6.1)$$

$$q_{\text{бв}} = q_{\text{ВИП}} + q_{\text{КАП}} + q_{\text{В.П}}; \quad (6.2)$$

$$q_{\text{СТ}} = q_{\text{ПР}} + q_{\text{ВИД}}; \quad (6.3)$$

$$q_{\text{ВІД}} = q_{\text{ВІД}}^{\text{РІД}} + q_{\text{ВІД}}^{\text{ОС}}, \quad (6.4)$$

де  $q_{\text{пр}}$ ,  $q_{\text{вип}}$ ,  $q_{\text{кап}}$  і  $q_{\text{в.п}}$  – витрати води на відповідно продування системи, випаровування, крапельний винос і втрати води у виробничих процесах;

$q_{\text{ВІД}}$  – витрата відпрацьованої води;

$q_{\text{ВІД}}^{\text{РІД}}$  – сумарна витрата вод, що надходить із заводської каналізованої території;

$q_{\text{ВІД}}^{\text{ОС}}$  – витрата води, що скидається з опадами;

$q_{\text{Т}}$ ,  $q_{\text{П}}$ ,  $q_{\text{СТ}}$ ,  $q_{\text{СВ}}$ ,  $q_{\text{ЗВ}}$  і  $q_{\text{БВ}}$  – витрати води відповідно до технічної (яка підживлює), питної, стічної, свіжої, зворотної та води, що повторно використовувалась, а також безповоротне водоспоживання.

З формул (6.1) і (6.2) випливає:

$$q_{\text{СТ}} = q_{\text{Т}} + q_{\text{П}} - q_{\text{ВІП}} - q_{\text{КАП}} - q_{\text{В.П.}}. \quad (6.5)$$

Коефіцієнт упарювання води в системі зворотного водопостачання, що характеризує технічну досконалість її роботи, визначається за формулою

$$K_y = \frac{q_{\text{ВІП}} + q_{\text{КАП}} + q_{\text{В.П.}}}{q_{\text{КАП}} + q_{\text{ВІП}}} = \frac{C_{\text{Ц}}}{C_{\text{П}}} \quad (6.6)$$

де  $C_{\text{Ц}}$  і  $C_{\text{П}}$  – концентрація консервативних іонів (наприклад хлориду або магнію) відповідно в циркуляційній і воді, яка підживлює.

Чим вище  $K_y$ , тим менше  $q_{\text{СВ}}$ , але більше капіталовкладення на підготовку циркуляційної води. Середнє значення  $K_y$  на підприємствах – 1,2. У більшості промислово розвинених країнах світу  $K_y$  на порядок і більше вище.

### ***Завдання до практичного заняття з теми 6***

1. Визначити коефіцієнт упарювання води в системі охолодження зворотного водопостачання та встановити, чи йде процес випадіння солей [ $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$  і  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ], що містять кальцій, в осад у ній. Режим роботи цієї системи запроєктований у такий спосіб. Додавання підживлювальної води компенсує тільки втрати циркуляційної води на випаровування та крапельні винесення. Продування системи й оброблення циркуляційної води хлором, а також інгібіторами корозії і накипоутворення не виробляються. Охолодження нагрітого продукту здійснюється в кожухотрубному теплообміннику.

Через рік після початку експлуатації системи у воді, яка підживлює, і циркуляційній воді визначено вміст іонів кальцію та хлоридів. Встановлено такі їхні концентрації:

	Вода, яка підживлює	Циркуляційна вода
Ca <sup>2+</sup> , мг-екв/дм <sup>3</sup>	1,8	2,5
СГ, мг/дм <sup>3</sup>	41	82

2. Розглянути способи спрощеного якісного аналізу відкладень у системах технічного водопостачання.

3. Потрібно модернізувати конструкцію малогабаритної поперечно-точної градирні з нижнім розташуванням вентилятора, підвищивши її продуктивність завдяки інтенсифікації тепломасообміну між водою та повітрям, а також зменшення викиду вологи. Сітчасті елементи зрошувача, повітророзподільного пристрою та водоуловлювача виконані з порожнистих з ґратчастої поверхнею довгомірних елементів трикутного перетину. Останні виготовлені у вигляді призми із поліетилену низького тиску марки 273-79.

## ТЕМА 7 СКЛАД СТІЧНИХ ВОД

На процес осадження впливає температура стічної води: чим вище температура, тим менше в'язкість води й тим більше швидкість осадження зважених речовин. Несприятливий вплив на відстоювання завислих речовин надає присутність у воді СПАР при їхній концентрації понад 50 мг/дм<sup>3</sup>, що, однак, в умовах роботи міських очисних станцій зустрічається досить рідко.

Для оцінки роботи та проектування споруд біологічного очищення основне значення мають показники вмісту органічних домішок і їхні якості, наявності біогенних елементів і можливих інгібіторів процесу, реакції середовища, температури. Комплексний вміст органічних речовин у воді оцінюється величинами ХСК, БСК, перманганатна окиснюваність.

Зазначені три показники є кисневими еквівалентами вмісту органічних речовин. Вони також висловлюють кількість органічної речовини, а кількість кисню, яка споживається на окислення цих речовин: хімічним шляхом у жорстких умовах (перманганатна окиснюваність) і біологічним шляхом (БСК). При оцінці складу стічних вод, як правило, нехтують вмістом окиснюваних неорганічних речовин, зазвичай випадків дуже малим.

При біохімічному окисленні роль окиснювача виконують бактерії, які використовують органічні речовини стічних вод як джерело живлення. Органічні речовини переробляються бактеріями в процесах обміну (тобто окислюються ними з використанням кисню або мінералізуються), при цьому частина речовин окислюється до кінця (використовувана не енергетичні

потреби клітини), а частина – не до кінця (використовувана на приріст біомаси). Зі сказаного випливає, що для більшості індивідуальних органічних речовин ХСК більше БСК (за будь-який термін інкубації) і більше (дуже рідко дорівнює) окиснюваності перманганатній. Співвідношення між БСК і перманганатною окиснюваністю можуть бути різними.

Для стічних вод ці співвідношення зберігаються, однак від характеру домішок залежить, наскільки  $ХСК > БСК$ . Уважається, що при  $БСК/ХСК \geq 0,5$ , стічні води доцільно очищаються біологічним шляхом. Якщо ж  $БСК/ХСК < 0,5$ , то ефективніше застосовувати фізико-хімічну обробку. Однак у будь-якому разі остаточне рішення приймається на підставі техніко-економічного порівняння можливих варіантів очищення стоків. Для стічних вод, з яких більше важко окиснюваних речовин, що видалені (наприклад відстоюванням видалені завислі речовини); співвідношення БСК/ХСК чисельно збільшується. У процесі біологічного очищення співвідношення БСК/ХСК помітно змінюється: воно зменшується тим значніше, ніж «глибше» очищена вода.

Якщо відомий хімічний склад домішок, то ХСК можна підрахувати, написавши для цього стехіометричні рівняння окислення. Розрахункова ХСК може виявитися більше, що визначається експериментом у зв'язку з неповним окисленням домішок в умовах проведення реакції. Значення БСК і перманганатної окиснюваності, точно кажучи, розрахунком встановити не можна, оскільки заздалегідь невідомо, як взаємно впливають присутні домішки одна на іншу, невідомі також склад продуктів окислення та кількість речовини, що використовуються на конструктивний і енергетичний обмін, тощо. Для біологічного окислення необхідна присутність біогенних елементів, з яких особлива увага приділяється азоту амонійних солей і фосфору у вигляді фосфатів. Згідно з рекомендаціями [5], вміст азоту й фосфору повинно задовольняти співвідношенню:

$$БПК : N : P = 100 : 5 : 1 \quad (7.1)$$

Якщо азоту й фосфору менше, ніж зазначено в рекомендаціях, то їх додають у вигляді хлористого амонію та фосфатів.

Для біологічних процесів необхідна підтримка реакції середовища в межах 6–8,5, у зв'язку з чим у воді обов'язково контролюють величину рН. Температура води – також один із важливих параметрів процесу, оскільки вона впливає на розчинність кисню у воді, а також на швидкість біохімічних реакцій (аналогічно впливу температури на швидкість хімічних реакцій).

У каналізаційній техніці широко користуються поняттям добової норми забруднень на жителя, введеним проф. С. Н. Строгановим (1923 р). Їм було

встановлено, що кількість амонійного азоту в стічних водах у розрахунку на одного жителя коливається в дуже вузьких межах – від 6 г до 8 г; це відповідає нормальній добовій нормі засвоєння білка. С. Н. Строганов вказував, що «ні клімат, ні побутові умови, ні культурність населення не впливають на цю стійку норму». Встановлено також, що нормальне споживання кухонної солі дає в стічних водах вміст хлоридів від 8 г до 9 г на одну людину. Для фосфатів отримана норма 1,5–1,8 г/добу на одну людину. Усі ці результати дали можливість рекомендувати норми для розрахунку складу забруднень побутових стічних вод на одного жителя на добу. У таблиці 7.1 показані норми забруднень, введені в ДБН В.2.5-75:2013, а також певні раніше С. Н. Строгановим [1].

Таблиця 7.1 – Норми забруднень на жителя на добу

Інгредієнт	Маса забруднень, г	
	за нормами	за С. Н. Строгановим
Зважені речовини	65	35–60
БСК <sub>5</sub> рідини: неосвітленої	54	–
освітленої	35	35
БСК <sub>повн</sub> рідини: неосвітленої	75	–
освітленої	40	40–50
Азот амонійних солей (у перерахунку на N)	8	7–8
Фосфати (в перерахунку на P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3,3	1,5–1,8
Зокрема від миючих засобів	1,6	–
Калій (у перерахунку на K <sub>2</sub> O)	–	3
Хлориди	9	8,5–9
Перманганатна окиснюваність	–	5–7
СПАР	2,5	–

Порівняння норм, запропонованих понад 50 років тому у використовуваних у сучасній практиці проектування, показує, що по ряду показників, що відображають забруднення води фізіологічними виділеннями людини, їхні чисельні значення змін не зазнали. До таких показників належать: азот амонійних солей, хлориди харчові, фосфати (за вирахуванням фосфатів синтетичних миючих засобів) з'явилися нові види забруднень, зокрема СПАР, яких ще не було в 20-х роках нашого століття. Істотно змінені норми по

зважених речовинах і БСК, що відображають різке підвищення добробуту й санітарної культури людини.

За нормами на жителя розраховують концентрацію забруднень  $C$ , мг/дм<sup>3</sup>, у стічній воді за окремими показниками:

$$C = \frac{a \cdot 1000}{q}, \quad (7.2)$$

де  $a$  – норма забруднень на одного жителя на добу, г;

1 000 – кількість міліграмів в 1 г;

$q$  – норма водовідведення на одну жителя на добу, л.

Розраховуються за формулою (7.2) концентрації характеризують середньодобову пробу побутових стічних вод. У зв'язку з певним життєвим укладом (циклом) людини концентрація забруднень у побутових водах змінюється протягом доби. Зміни по сезонах і навіть по містах відображають впливу клімату та пов'язаних з ним норм водоспоживання, культурних навичок, характеру харчування тощо.

### ***Завдання до практичного заняття з теми 7***

1. Визначити концентрації забруднень у побутових стічних водах при нормі водовідведення на одну людину на добу 250 л.

2. Як зміниться концентрація забруднень у побутових водах залежно від норми водовідведення?

3. Визначити, чи потрібне додавання біогенних елементів для обробки побутових стічних вод біологічним шляхом.

4. Змішуються стічні води з витратою 2, 10 і 100 тис. м<sup>3</sup>/добу та концентраціями по БСК<sub>повн</sub> відповідно 500, 380 і 220 мг/дм<sup>3</sup>, або 0,5; 0,38; 0,22 г/м<sup>3</sup>. Визначити БСК<sub>повн</sub> суміші й відзначити умови, при яких задача може бути вирішена.

5. Підрахувати БСК<sub>5</sub> і ХСК розчину етилового спирту з концентрацією 200 мг/дм<sup>3</sup>, якщо константа  $k$  процесу окислення (при визначенні БСК) дорівнює 0,2 добу<sup>-1</sup>. Питома БСК<sub>повн</sub> спирту 1,82 мг О<sub>2</sub>/мг.

6. Знайти середню статистичну формулу беззольної речовини та питому ХСК мулу, якщо аналізом за методом спалювання проби активного мулу знайдено, що беззольна речовина має такий склад: 49 % С, 8 % Н, 10 % N, 33 % О.

7. Порахувати БСК<sub>повн</sub> і константу швидкості окислення, якщо БСК<sub>3</sub> = 100 мг/дм<sup>3</sup> і БСК<sub>6</sub> = 150 мг/дм<sup>3</sup>.

8. Аналізом знайдено, що стічні води різних колекторів мають показники забруднень, наведені в таблиці 7.2

Таблиця 7.2 – Показники забруднень стічних вод різних колекторів

Проба стічної води	Концентрація забруднень, мг/дм <sup>3</sup>		
	Завислі речовини	БСК <sub>повн</sub>	ХСК
I	180	215	260
II	200	250	200
III	50	0	850

9. У біохімічно очищеній воді знайдено 1,5 мг/дм<sup>3</sup> азоту нітритів і 10 мг/дм<sup>3</sup> нітратів. Визначити запас хімічно пов'язаного кисню, що забезпечує компенсацію залишкової БСК води, а отже стабільність очищеної води.

10. Розрахувати константу швидкості окислення, якщо експериментально визначено, що БСК<sub>повн</sub> спостерігається на 13-у добу інкубації проби. Яку частку від БСК<sub>повн</sub> в цьому випадку становить БСК<sub>5</sub>?

11. Оцініть результати аналізів, якщо при експериментальному визначенні БСК<sub>5</sub> проб стічних вод отримані наступні дані: БПК<sub>5(1:50)</sub> = 220 мг/дм<sup>3</sup> і БСК<sub>5(1:500)</sub> = 500 мг/дм<sup>3</sup>.

## ТЕМА 8 КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Кількість знятих забруднень враховується шляхом збору їх у контейнер певного обсягу. Одночасно фіксується кількість стічних вод, що пройшли через решітки. У звітних даних показують кількість забруднень у літрах на 1 000 м<sup>3</sup> стічної води.

На дуже великих станціях (пропускною спроможністю 500 тис. м<sup>3</sup> і більше) кількість забруднень, які знімають з решіток, зазвичай знаходиться в межах 10–16 л на 1 000 м<sup>3</sup> стічних вод.

У характеристиці знятих із решіток забруднень вказується вологість маси, що видаляється (70–80 %), зольність (5–7 %) і зміст ганчір'я та паперу. Аналіз забруднень виконують шляхом їх ручного сортування, висушування виділених фракцій забруднень на водяній бані та зважування на технічних вагах. Кількість ганчір'я та паперу становить зазвичай близько 80 % загальної маси знімаються з решіток. Щільність забруднень змінюється залежно від складу в незначних межах і для розрахунків застосовується рівною 750 кг/м<sup>3</sup>. Кількість і склад відходів із решіток і осаду з піскоуловлювачів певною мірою характеризують



культурний рівень населення, що користується каналізацією, технічний рівень системи та якість її експлуатації.

Кількість піску зазвичай визначається об'ємним способом, для чого пісок гідроелеватором перекачують у вимірювальний лоток; результат вимірювання виражають у літрах піску, виділеного з 1 000 м<sup>3</sup> стічної води. На великих очисних станціях піскоуловлювачами вловлюється від 10 дм<sup>3</sup> до 30 дм<sup>3</sup> піску з 1 000 м<sup>3</sup> стічної води, до того ж це значення коливається переважно залежно від норми водовідведення, стану й рівня експлуатації міських каналізаційних мереж і споруд. На середніх і малих станціях при менших нормах водовідведення на одного жителя кількість піску, що затримується піскоуловлювачами досягає 30–50 дм<sup>3</sup> із 1 000 м<sup>3</sup> стічної води.

Щільність піску при розрахунках із ДБН В.2.5-75:2013 приймають рівною 1,5 т/м<sup>3</sup>. Фактично, за результатами експериментальних вимірювань, щільність затриманого піску коливається від 1,3 т/м<sup>3</sup> до 2 т/м<sup>3</sup>, що близько до значень, прийнятим в нормах проектування.

Комплекс споруд механічного очищення закінчується первинними відстійниками, призначення яких видаляти з води забруднення, що знаходиться в підвищеному стані. Процес очищення заснований на седиментації зважених речовин. Тривалість перебування води в первинних відстійниках може коливатися в широких межах – від 0,5 год до 2,5 год, але найчастіше становить 1,5–2 год.

У відстійниках видаляються з води найважчі й найбільші завислі речовини. Крім завислих речовин, в осад потрапляють винесений з пісковловлювачів пісок, роздроблені забруднення, великі домішки, які були невловимі решітками.

Осад, який видаляється з відстійників, має на пів густу консистенцію, зазвичай темно-сірий колір і містить велику кількість сторонніх включень – ганчір'я, палиць, волосся, кухонних відходів. Осад рясно заражений яйцями глистів і патогенною мікрофлорою. Вологість осаду коливається в межах 91,5–96 %, зольністю – 25–35 %, вміст піску в осаді зазвичай становить не більше 5–8 %.

### ***Завдання до практичного заняття з теми 8***

1. Дати технологічну оцінку експлуатаційних даних, що характеризують роботу механізованих решіток та дробарок, наведених в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Дані для розрахунку

Період роботи	Кількість відходів, л на 1000 м <sup>3</sup> стічної води	Характеристика забруднень, %					Крупність дроблення відходів, %	
		Вологість	Зольність	Текстиль	Папір	Інші домішки	Менш ніж 1 мм	1 мм і більше
I	14	76	4	56	25	19	42	56
II	12	80	5	65	19	16	46	54
III	18	87	4	36	12	52	38	62

2. Визначити очікувану кількість сміття, яке буде затримано решітками, в розрахунку на 1 000 м<sup>3</sup> стічних вод, відповідно до норми забруднень на одного жителя згідно з даними ДБН В.2.5-75:2013.

3. Визначити очікувану кількість піску, затримується піскоуловлювачами в розрахунку на 1 000 м<sup>3</sup> води відповідно до норми забруднень на одного жителя, згідно з даними ДБН В.2.5-75:2013.

4. Дати порівняльну оцінку експлуатаційних даних роботи двох піскоуловлювачів (табл. 8.2).

Таблиця 8.2 – Експлуатаційні дані роботи двох піскоуловлювачів

Показник	Значення показника піскоуловлювача	
	№1	№2
Навантаження по воді	Проектна	
Затриманий пісок, л, на 1 000 м <sup>3</sup> стічної води	35	36
Щільність піску, кг/л	1,3	1,7
Вміст піску, %	65	80
Зольність осаду, %	75	88
Крупність піску, %		
менше ніж 0,25 мм	25	20
0,25 мм і більше	75	80

5. Дати технологічну оцінку наступних експлуатаційних даних роботи радіальних первинних відстійників діаметром 40 м.

Таблиця 8.3 – Експлуатаційні дані роботи радіальних первинних відстійників діаметром 40 м

Показник	Значення показника
Тривалість відстоювання, год	1,9
Вміст, мг/дм <sup>3</sup> , завислих речовин у воді:	
що надходить	220
освітленої	115
Вміст, мг/дм <sup>3</sup> , речовин, що осідають у воді:	
що надходить	180
освітленої	54
БСК <sub>5</sub> , мг/дм <sup>3</sup> , у воді:	
що надходить	200
освітленої	150
Вологість осаду, %	92,6
Зольність осаду, %	30,4

6. Дати технологічну оцінку змін у складі стічних вод унаслідок відстоювання.

Таблиця 8.4 – Дані якості стічної води до і після відстоювання

Показник	Значення показника, мг/дм <sup>3</sup> , стічних вод	
	до відстійників	після відстійників
pH	7,7	7,7
Осад за об'ємом	5	2
Зависли речовини	220	110
БСК <sub>5</sub> натуральної проби	180	150
Хлориди	115	114
Азот амонійний	20	19
Фосфати	3,5	3,1
Кількість колоній бактерії Coli	100	40

7. Розрахувати концентрацію піску в стічній воді, що надходить на очисну станцію, та ефективність роботи піскоуловлювачів, якщо затримується піску 15 л на 1 000 м<sup>3</sup>, вміст піску в осаді первинних відстійників 6 % (за масою); кількість цього піску становить 0,25 % за обсягом від витрати оброблюваної води, вологість осаду 93 %.

8. Як зміниться обсяг відкачуваного з первинних відстійників осаду, якщо забезпечити зниження його вологості з 94 % до 92,5 %?

9. Визначити, який відсоток від обсягу стічних вод становить обсяг осаду з первинних відстійників.

## ТЕМА 9 КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСІВ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД В АЕРОБНИХ УМОВАХ

Спорудам біологічного очищення відводиться головна роль у загальному комплексі споруд каналізаційної очисної станції [1]. У результаті процесів біологічного очищення стічна вода може бути очищена від багатьох органічних і деяких неорганічних домішок. Процес очищення здійснює складне співтовариство мікроорганізмів – бактерій, найпростіших, ряду вищих організмів – в умовах аеробіозу, тобто наявності в очищеній воді розчиненого кисню. Забруднення стічних вод є для багатьох мікроорганізмів джерелом харчування, при використанні якого вони отримують все необхідне для їхнього життя – енергію та матеріал для конструктивного обміну (відновлення речовин клітини, що розпадаються, приросту біомаси). Вилучаючи з води поживні речовини (забруднення), мікроорганізми очищають від них стічну воду, але одночасно вони вносять у неї нові речовини – продукти обміну, що виводяться в зовнішнє середовище.

Для міських стічних вод у нашій країні та за кордоном найпоширеним є очищення в штучних умовах; при цьому для обробки великих кількостей води переважно мають аеротенки, а для обробки води середніх і малих кількостей – аеротенки, біофільтри та інші біоокислювачі.

У комплексі споруд біологічного очищення знаходяться вторинні відстійники, в яких очищена вода відділяється від мулу (або біоплівки).

Седиментаційні властивості мулу оцінюють величиною, названої індексом мулу. Індекс мулу – це обсяг у мілілітрах. Обсяг повинен бути віднесений до 1 г сухої речовини мулу. Цей індекс змінюється залежно від концентрації мулу в суміші, тому визначення прийнято вести при дозі мулу 3 г/л. Якщо визначають індекс мулу, взятого з власне аеротенка, де доза мулу менш 3 г/л, то його попередньо згущують до потрібної концентрації відстоюванням. Якщо аналізується мул з регенератора, то його розбавляють до потрібної межі водопровідною (або очищеною) водою. Індекс мулу *визначається* не рідше одного разу на декаду.

Мул з індексом 80–100 мл/дм<sup>3</sup> добре осідає та не утворює дрібної каламуті у відстояній воді. При індексі мулу понад 150 мл/дм<sup>3</sup> говорять про «спухання» мулу. Мул, що спух, володіючи розвиненою поверхнею, добре очищає воду, але вторинних відстійників. Підвищений винос мулу погіршує загальну якість вихідної води у водойму й призводить до втрати мулу. Причини спухання мулу може бути багато різких змін умов роботи в аеротенках.

Мул в аеротенках при тривалій аерації може мати індекс менше 80 мг/дм<sup>3</sup>, оскільки через мінералізацію клітинної речовини підвищується частка зольних, важчих елементів.

Якщо величина навантаження  $H$  характеризує кількість поданих забруднень, то окисної потужністю  $OM$  оцінюється кількість знятих перероблених забруднень:

$$OM = H E_{БСК}, \quad (9.1)$$

де  $E_{БСК}$  – ефективність очищення води по БСК у частках одиниці; одиниці вимірювань у цих двох величин однакові; мг БСК на 1 г беззольної речовини на добу або г БСК/(м<sup>3</sup> · добу).

Окислювальна потужність, віднесена до 1 год, є середня швидкість окислення  $\rho$  забруднень активним мулом. Ця величина – основна розрахункова характеристика аеротенка. Вона залежить від виду оброблюваних стічних вод, концентрації забруднень у вихідній воді, необхідної якості очищеної води, температури, концентрації мулу та інших факторів.

Вік мулу – це середній час його перебування в системі аераційних споруд, який визначається як частка від ділення загальної маси мулу в аераційній системі (зокрема канали та вторинні відстійники) на добовий приріст мулу. Вік мулу вимірюється в добу. Оцінка за цим показником аналогічна оцінці за величиною навантаження або окислювальній потужності.

Приріст мулу  $Pr$ , мг/дм<sup>3</sup>, – кількість знов утвореного мулу (унаслідок вилучення та засвоєння забруднень води), яке визначається при проєктуванні систем за формулою:

$$Pr = 0,8B + 0,3L_a, \quad (9.2)$$

де  $B$  і  $L_a$  – концентрація забруднень у воді, що надходить в аеротенки, відповідно по зважених речовинах і БСК<sub>повн</sub>.

При експлуатації приріст мулу підраховується шляхом підсумовування маси мулу, що видаляється з системи виносом з очищеною водою та перекачуванням на мулоущільнювачі або в інші споруди. Іноді приріст мулу оцінюють не в мг/дм<sup>3</sup>, а в тонах на 100 тис. м<sup>3</sup> очищеної води.

Витрата повітря при пневматичній системі аерації підраховують відносно 1 м<sup>3</sup> очищеної води та 1 кг знятої БСК<sub>5</sub>. Для міських стічних вод при дрібно пазирчастій системі аерації на 1 м<sup>3</sup> води витрата 5–10 м<sup>3</sup> повітря, або 40–60 м<sup>3</sup> на 1 кг знятої БСК<sub>5</sub>. При механічній системі аерації подібних розрахунків по повітрю зробити неможливо. У цьому випадку оцінюється лише витрата електроенергії, як і при пневматичній системі, з розрахунку на 1 м<sup>3</sup> води або на 1 кг знятої БСК<sub>5</sub>.

Основними характеристиками роботи біофільтра є навантаження по воді й по забрудненням. Завантаження по воді – це кількість води,  $\text{м}^3$ , що припадає на  $1 \text{ м}^3$  завантажувального матеріалу або на  $1 \text{ м}^2$  площі поверхні біофільтра за добу; навантаження по забрудненням – кількість забруднень (по БСК, зваженим речовинам, ХСК, г), що подається за добу в розрахунку на  $1 \text{ м}^3$  обсягу або  $1 \text{ м}^2$  площі поверхні.

Будь-який біофільтр може забезпечити дуже високий ступінь очищення води за умови дотримання визначеного навантаження. Межі коливань навантаження для біофільтрів різних типів, що забезпечують повне біологічне очищення води, показані в таблиці 9.1.

Як впливає з таблиці 9.1, найпродуктивнішим із біофільтрів із насипним завантаженням є баштовий, крупність завантажувального матеріалу у якого найбільша (становить 60–100 мм). Нескладні розрахунки показують, що при кулястій формі матеріалу завантаження (незалежно від діаметра кулі) обсяг, яку він обіймає матеріалом, а отже, обсяг вільного простору постійний. На завантаження доводиться близько 60 % обсягу біофільтра, а на вільний простір, який може бути зайнято повітрям і водою – 40 %.

Таблиця 9.1 – Межі коливань навантаження для біофільтрів різних типів

Біофільтр	Висота біофільтра, м	Навантаження	
		по воді, $\text{м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{добу})$	за БСК <sub>повн</sub> $\text{г}/(\text{м}^3 \cdot \text{добу})$
Краплинний	2	1 – 3	100 – 300
Високо завантажувальний	4	10 – 30	500 – 1 500
Баштовий	8	30 – 50	800 – 1 400
З пластмасовим завантаженням	4	30 – 45	1 600 – 2 200

У вторинні відстійники надходить суміш з концентрацій мулу не менше  $1\,000 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ; залежно від режиму роботи й типу біоокиснювача концентрація мулу може доходити до  $2,5\text{--}5 \text{ г}/\text{дм}^3$ . Якщо забезпечується повне біологічне очищення, то при достатній тривалості відстоювання (близько 2 год) винос мулу з очищеною водою становить усього  $10\text{--}25 \text{ мг}/\text{дм}^3$  (у середньодобових пробах) незалежно від вихідної дози мулу. Ефективність відстоювання в цьому випадку становить 98–99 %.

Знайдений кореляційний зв'язок між ступенем очищення води по БСК і виносом мулу з очищеною водою. При заданій тривалості відстоювання чим глибше очищена стічна вода, тобто чим нижче БСК<sub>повн</sub> очищеної води, тим менше

винос мулу. Водночас при певній мірі очищення води по БСК винос мулу більше, чим менше тривалість перебування води у вторинних відстійниках.

Ступінь ущільнення завислих частинок, що осіли в первинних і вторинних відстійниках, різна. Зважені речовини стічних вод більш важкі й менш гідрофільні, ніж активний мул або біоплівка, та обумовлена більш низька вологість осаду з первинних відстійників (91–94 %). Максимальна концентрація біоплівки після відокремлення її від води у вторинних відстійниках становить 40–60 г/дм<sup>3</sup>, що відповідає вологості 96–94 %. Активний мул відкачується з вторинних відстійників із концентрацією 4–8 г/дм<sup>3</sup>, тобто з вологістю 99,6–99,2 %. Максимально досяжна концентрація мулу після відстоювання складає близько 25–30 г/дм<sup>3</sup> (як у мулоущільнювачах), проте в такому режимі відстійники ніколи не працюють. Тривале перебування мулу в умовах відсутності розчиненого кисню може спричинити глибокі й незворотні зміни біохімічної активності мулу. Крім того, в аераційних спорудах при пневматичній системі аерації неможливо забезпечити подачу та розчинення кисню зі швидкістю, яка дорівнює або перевищує швидкість споживання кисню мулом настільки високої концентрації.

### *Завдання до практичного заняття з теми 9*

1. Визначити відсоток циркуляційного (поворотного) мулу, якщо його доза в аеротенках  $a_a = 1,6$  г/дм<sup>3</sup>, доза поворотного мулу  $a_b = 5,4$  г/дм<sup>3</sup> і приріст мулу  $\Pi_p = 120$  мг/дм<sup>3</sup>.

2. Підрахувати, як зміниться навантаження  $H$  на мул, якщо змінити відсоток регенерації з 25 % на 50 % при тривалості аерації  $t = 6,8$  год, дозі мулу у власне аеротенках  $a_a = 1,4$  г/дм<sup>3</sup>, у регенераторі  $a_p = 5,6$  г/дм<sup>3</sup>, зольності мулу  $Z_A = 28$  %. БСК<sub>5</sub> води, що надходить в аеротенк, дорівнює 120 мг/дм<sup>3</sup>.

3. Визначити швидкість окислення  $\rho$ , якщо в аеротенк з 33 %-вою регенерацією надходить стічна вода з БСК<sub>5</sub>, дорівнює 150 мг/дм<sup>3</sup>, а виходить з БСК<sub>5</sub> = 12 мг/дм<sup>3</sup>. Тривалість аерації  $t = 4,3$ ,  $a_a = 1,4$  г/дм<sup>3</sup>,  $a_p = 6,2$  г/дм<sup>3</sup>,  $Z_p = 25$  %.

4. Визначити вік мулу  $\beta$ , якщо приріст мулу  $\Pi_p = 200$  мг/дм<sup>3</sup>, середня його доза  $a_{cp} = 2,4$  г/дм<sup>3</sup>, тривалість аерації  $t = 5$  год.

5. Визначити необхідний відсоток рециркуляції очищеної води, що має БПК<sub>5</sub> = 18 мг/дм<sup>3</sup>, для зниження БПК<sub>5</sub> води, що поступає на біофільтр з 375 мг/дм<sup>3</sup> до 150 мг/дм<sup>3</sup>.

6. Підрахувати обсяг вільного простору, прийнявши матеріал завантаження біофільтра у вигляді кулі розміром  $d$ .

7. Порівняти окиснювану потужність крапельного й високонавантажених біофільтрів, якщо у крапельного вона становить 230 г БСК<sub>5</sub>/(м<sup>3</sup> на добу), а у високонавантажених – 2 640 г БСК<sub>5</sub>/(м<sup>3</sup> на добу). Висота першого фільтра 3 м, а другого 4 м.

8. Як зміниться працездатність і якість очищення стічної води на високонавантажених біофільтрі, якщо при інших рівних умовах збільшити кількість повітря, що подається з 8 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> до 12 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

9. Порівняти тривалість відстоювання в радіальних відстійниках ( $D = 18$  м,  $h = 3,1$  м), що використовуються як вторинні відстійники та мулоущільнювачі, при гідравлічному завантаженні  $q_0$  на вторинні відстійники, рівній 1,8 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> · год). Визначити, як зміниться обсяг надлишкового мулу після ущільнення, якщо він подається з концентрацією 5,2 г/дм<sup>3</sup>, а видаляється з вологістю 97,4 %.

10. Визначити, який відсоток надлишковий мул становить  $Q_{\text{ізб}}$  становить від обсягу води, що поступає  $Q_{\text{в}}$ . Приріст мулу становить 200 мг/дм<sup>3</sup> вологість ущільненого мулу 97 %.

## ТЕМА 10 КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСІВ ДООЧИЩЕННЯ ТА ЗНЕЗАРАЖЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Методи доочищення води можуть бути фізико-хімічні, хімічними та біохімічними. Як приклади методів першої групи можуть бути названі фільтрування, коагуляція, сорбція; другої – озонування, хлорування; третьої – біохімічна денітрифікація.

Доочищення стічної води від остаточних зважених речовин у великому промисловому масштабі проводиться фільтруванням на фільтрах з двошаровим завантаженням з піску й антрациту. До фільтрів вода проходить систему барабанних сіток з осередками розміром 0,5 × 0,5 мм, де затримуються великі плаваючі домішки пух, пір'я, листя, поліетиленові плівки тощо, а також частина зважених речовин, якщо їхня концентрація висока (понад 15–20 мг/дм<sup>3</sup>).

При фільтруванні на матеріалі завантаження затримується активний мул, винесений з очищеною водою з вторинних відстійників. Оскільки сам активний мул може окислюватися біохімічним шляхом, то він, як і інші органічні речовини, може бути характеризований величиною БСК. Інакше кажучи, залишкова БСК очищеної води, взятої з вторинних відстійників, відображає не тільки наявність недоокислених забруднень, а й присутність в ній частинок мулу. Якщо цю воду повністю відфільтрувати від мулу (на паперовому фільтрі), то величина БСК фільтрату покаже наявність у воді залишкових



розчинених домішок, а різниця величин БСК води з мулом і фільтрату – величину БСК, носієм якої є мул. За низкою експлуатаційних спостережень питома БСК 1 мг активного мулу коливається від 0,5 мг/мг до 0,9, причому це значення чим менше, тим глибше очищена стічна вода й мінералізований мул.

Отже, очевидно, що при видаленні шляхом фільтрування частинок активного мулу одночасно обов'язково знижується БСК води. Але, крім того, незначне додаткове зниження БСК можливе також унаслідок процесів життєдіяльності мулу в завантаженні фільтра, про які свідчить неодмінне падіння концентрації розчиненого кисню у воді.

Біологічно очищена вода містить значну кількість амонійного азоту і фосфатів. Азот і фосфор сприяють посиленому розвитку водної рослинності, подальше відмирання якої призводить до вторинного забруднення водойми. Підраховано, що 1 мг азоту продукує 10 мг водної рослинності, а 1 мг фосфору – 115 мг.

Для видалення азоту можуть бути застосовані фізико-хімічні та біологічні методи. Один з фізико-хімічних методів полягає в підвищенні значення рН води до 10–11 шляхом вапнування, внаслідок чого утворюється  $\text{NH}_4\text{OH}$ , з подальшою отдувкою аміаку повітрям у градирнях. Солі амонію можна видалити та шляхом іонного обміну.

Видалення азоту біохімічним шляхом здійснюється в два ступені. На першому ступені в аеротенку тривалої аерації у відсутності вуглевісних забруднень (видалених у звичайному аеротенку) інтенсивно відбуваються процеси нітрифікації. На другому ступені застосовується денітрифікатор – споруда, ізольована від доступу повітря. В анаеробних умовах бактерії денітрифікатори використовують для своєї життєдіяльності хімічно пов'язаний кисень нітриту та нітратів і руйнують, таким чином, ці з'єднання, внаслідок чого виділяється молекулярний азот. Бактерії денітрифікатори у відмінності від нітрифікаторів – гетеротрофи, а тому як джерело вуглецю вони потребують органічних речовин. Запропонована схема, в якій джерелом органічних речовин служить початкова стічна вода. За цією схемою близько 2/3 загальної витрати води проходить усю систему споруд: звичайні аеротенки, аеротенки-нітрифікатори й денітрифікатори, а 1/3 витрати поступає відразу в денітрифікатор. Послідовне застосування нітрифікації та денітрифікації дозволяє видаляти з води понад 70 % азоту.

При знезараженні води будь-яким способом хлорування основна технологічна вимога зводиться до того, щоб у знезаражуваній воді залишалася хлору не менше ніж  $1,5 \text{ мг/дм}^3$ . При такій високій залишковій дозі санітарний

ефект знезараження становить практично усього 100 %. Оцінку міри санітарної обробки стічної води роблять за колі-індексом. Крім того, в практиці очищення стічних вод прийнято визначати й загальну кількість бактерій сапрофітів.

Щоб в обробленій воді залишилося  $1,5 \text{ мг/дм}^3$  невикористаного хлору, за ДБН В.2.5-75:2013 розрахункову дозу активного хлору рекомендується прийняти для стічної води: що пройшла тільки механічне очищення, –  $10 \text{ мг/дм}^3$ , після неповного біологічного очищення –  $3 \text{ г/дм}^3$ . Можна бачити, що розрахункова доза хлору тим вище, чим нижче якість води, що пов'язано з використанням частини реагенту, що вводиться, на окислення органічних домішок стічних вод. У практиці експлуатації дозу хлору встановлюють експериментально, що й дозволяє найточніше врахувати присутність у воді домішок, що вступають у реакції з хлором. Зазвичай доза, що визначена експериментом, виявляється дещо нижче розрахункової.

### *Завдання до практичного заняття з теми 10*

1. Розрахувати колі-індекс очищеної стічної води, якщо ефект знезараження становить 99,8 %. Число бактерій кишкової палички в міській стічній воді, що надходить на очищення, дорівнює 80 тис. колоній на 1 мл.

2. Визначити необхідні параметри хлораторної установки, проектованої для дезінфекції стічної води на станції біохімічного очищення продуктивністю  $Q_{\text{ср.доб}} = 20\,000 \text{ м}^3/\text{добу}$  при загальному коефіцієнті нерівномірності  $K_{\text{заг}} = 1,39$ .

## **ТЕМА 11 КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ОСАДІВ**

При повному біологічному очищенні із стічної води витягається до 90–95 % первинного змісту забруднень, що оцінюється кількістю зважених речовин і величиною БСК, а за наявності фільтрів доочистки – до 98–99 % [1]. Ці забруднення, частиною у своєму первинному виді (осад первинних відстійників), частиною перетворені в активний мул або біоплівку, акумулюються у вигляді осадів, загальний об'єм яких становить не більше 0,5–1,5 % обсягу обробленої води. Отже, вирішення проблеми обробки великої кількості води з порівняно низькою концентрацією забруднень спричиняє необхідність вирішення нової проблеми – обробки порівняно невеликої кількості концентрованих осадів.

Обробка осадів стічних вод має передусім санітарні цілі. Суха речовина осадів перебуває на 65–75 % з органічних речовин, здатних загнивати з

виділенням у край неприємних запахів. Якщо врахувати при цьому високу міру інвазійності (зараженості) осадів хвороботворними бактеріями та яйцями глистів, то стає очевидним, що знешкодження є обов'язковою стадією обробки осадів.

Розкладання органічних речовин осадів може бути здійснене біохімічним шляхом як в аеробних, так і в анаеробних умовах.

У осадках при високій концентрації в них сухої речовини все ще міститься 92–98 % води. Транспортування зайвої води, наприклад при використанні осадів як добрив, нерентабельне. Тому важливим завданням у загальній системі обробки осадів є видалення зайвої вологи. Сучасними технологічними властивостями можна добитися будь-якої міри зменшення вологості. Процеси зниження вологи до 70–80 % прийнято називати зневодненням, а з 70–80 % до 5–40 % – сушінням осадів.

Першу фазу бродіння називають кислою тому, що основним кінцевим продуктом розпаду органічних речовин є нижчі органічні кислоти ряду бокових вуглеводнів, що називаються нижчими жирними кислотами (далі НЖК). До них належать кислоти: мурашина, оцтова, пропіонова, масляна й інші зі змістом до 5–6 атомів вуглецю.

Присутність кислот у середовищі обумовлює її кислу реакцію. Окрім НЖК, продуктами розпаду першої фази є нижчі жирні спирти, амінокислоти, деякі альдегіди й кетони, гліцерин, а також вуглекислота, водень, сірководень, аміак і деякі інші з'єднання. Здійснюють цю фазу процесу бактерії, що належать до факультативних анаеробів (молочнокислі бактерії, оцтовокислі, пропіоново-кислі тощо) і до облигатних анаеробів (маслянокислі бактерії, целюлозні, ацетонобутилові та ін.).

Другу фазу процесу називають лужною, або метановою. Реакція середовища в цій фазі лужна ( $\text{pH} = 7,6\text{--}8$ ). Продукти розпаду першої фази переробляються бактеріями другої фази бродіння з утворенням переважно вуглекислоти та метану. Бактерії цієї фази – облигатні анаероби. Виділено порівняно трохи чистих культур метаноутворюючих бактерій. Здебільшого вони належать до трьох родів – метанобактеріям, метаносарцинам і метанококам.

У процесі зброджування від 35 % до 55 % органічної речовини розпадається з виділенням продуктів у газ і мулову воду. За сучасними уявленнями, гази бродіння продукують тільки жирно-, білково- та вуглецю подібні з'єднання. У процесі розпаду інших органічних компонентів осадів продукту розпаду переходять у розчинену фазу, тобто в мулову воду. У

результаті процесів бродіння збільшується вологість і зольність осадів.

Кількісна оцінка щодо виходу газу отримана з таких міркувань. При зброджуванні, наприклад, жироподібних з'єднань виділяється 1 250 мл газів із 1 г речовин, що розпалися. У складі газів знаходиться 68 % метану і 32 % вуглекислоти. Щільність газу вказаного складу складає 1,05 г/дм<sup>3</sup>. Отже, при розпаді 1 г жироподібних речовин виділяється газів (по масі):  $1,25 \cdot 1,05 = 1,31$  г/г. Перевищення маси газів, що утворилися, над масою початкової речовини пояснюється участю води в реакціях бродіння. Далі було встановлено, що біохімічним шляхом жироподібні речовини не можуть бути збережені повністю (на 100 %). Існує своєрідна межа зброджування, після досягнення якої подальший розпад речовини, якщо він і має місце, не супроводжується виходом газу. Для жироподібних з'єднань ця прибудова приймається рівною 70 %. Отже, при розпаді 1 г жироподібних речовин, що завантажуються в метантенк максимально може утворюватися газів  $1,37 \cdot 0,7 = 0,92$  г/г. Для вуглецюподібних речовин у знайдено, що з 1 г може бути отримано 790 мл газів. Склад газів: 50 % CH<sub>4</sub> і 50 % CO<sub>2</sub> із щільністю цієї суміші 1,25 г/дм<sup>3</sup>. Знайдено, що межа зброджування вуглецюподібних речовин становить 62,5 %, а отже, при розпаді 1 г цих речовин може утворюватися 0,62 г газів. При зброджуванні білковоподібних речовин б вихід газів становить 704 мл/г. Склад газів: 71 % CH<sub>4</sub> і 29 % CO<sub>2</sub> з щільністю цієї суміші 1,01 г/л. Межа зброджування становить 48 %. З цих даних випливає, що з 1 г завантажених білковоподібних речовин може бути отримано 0,34 г газів.

Оскільки ніякі інші хімічні компоненти газів не утворюються, то, знаючи зміст газотвірних компонентів, неважко підрахувати теоретично очікуваний можливий вихід газу, або межу зброджування:

$$a = 0,92 ж + 0,62 у + 0,34 б, \quad (11.1)$$

де *ж*, *у* і *б* – дані в г на 1 г маси завантаженого осаду.

При ущільненні в звичайних ущільнювачах (під дією сил гравітації) з осадів може бути видалена тільки надмірна волога. Кількість надмірної вологи, наприклад в активному мулі, становить до 3 % і видалення цієї вологи відповідає зміні вологості від 99,5 % до 96,5 %. Шляхом вакуум-фільтрування, окрім надлишкової, віддаляється осмотична вода й вода макропор. Після вакуум-фільтрування осадки мають вологість від 75 % до 80 % і, отже, в осадах знаходиться води осмотичної та води макропор приблизно від 10 % до 20 %. Центрифугуванням за допомогою центрифуг із великою кількістю обертів можна видаляти додаткову воду, іммобілізовану структурою.

## Завдання до практичного заняття з теми 11

1. Визначити максимальний вихід біогазу з розпався органічної речовини осаду.

2. Підрахувати теоретично можливий вихід газу при зброджування осаду з первинних відстійників і активного мулу, якщо аналізом визначено склад компонентів, наведений в таблиці 11.1.

Таблиця 11.1 – Склад компонентів осаду з первинних відстійників та активного мулу

Компоненти	Концентрація,%, у перерахунку на беззольне речовина	
	Осадка з первинних відстійників	Активного мулу
Жироподібні речовини	35,6	32,3
Азот загальний	4,9	7,9
Вуглеводи:		
альфа	10,2	1,5
геми	6,6	5

3. Порівняти умови роботи двох метантенків об'ємом 1 000 м<sup>3</sup> кожен за дозами завантаження, якщо в один метантенк подається осад з первинних відстійників в кількості 60 м<sup>3</sup>/добу, а в другій – ущільнений активний мул у кількості 120 м<sup>3</sup>/добу. Вологість осаду 93 %, активного мулу 97 зольність осаду 30 %, активного мулу 26 %.

4. Порівняти отримані результати, якщо межа зброджування за даними хімічного аналізу осаду з первинних відстійників визначено рівним 58 %, а для мулу 46 %. У першому метантенку зброджується тільки осад із первинних відстійників, а в другому суміш осаду й мулу в співвідношенні по беззольній речовини 0,5:1. Розпад беззольної речовини, підрахований по виходу газу, в першому метантенку становить 44 %, а в другому – 36 %.

5. Підрахувати розпад по газу  $P_r$  і по беззольній речовині  $P_{без}$ , якщо завантажений осад має вологість 96 %, зольність 25 %, а зброджений – відповідно 97,5 % і 38 %. Питомий вихід газу становив 12 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>, щільність газу, визначена за його хімічним складом, що дорівнює 1,02 кг/м<sup>3</sup>. Визначити також, яка частина речовини, що розпалася, переходить у газ і яка – в суміш мулу.

6. Оцінити роботу метантенків, якщо аналіз мулової рідини дав у

першому метантенку результати за змістом жирних кислот 33 мг-екв/дм<sup>3</sup> і лужності мг-екв/дм<sup>3</sup>, а в другому – відповідно 8 і 92 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Гази бродіння в першому метантенку мають склад: 25 % CH<sub>4</sub>, 29 % H<sub>2</sub>, 45 % CO<sub>2</sub>, 1 % N<sub>2</sub>, а в другому – 65 % CH<sub>4</sub>, 1 % H<sub>2</sub>, 33 % CO<sub>2</sub>, 1 % N<sub>2</sub>.

7. Визначити питому витрату промивної води  $q$ , якщо питомий опір  $r$  подається на вакуум-фільтрування зброженого осаду становить  $2 \cdot 10^{14}$  см/г, а зброженої суміші мулу й осаду –  $3 \cdot 10^{16}$  см/г.

8. Розрахувати, яка кількість реагентів потрібно для обробки осадів способом вакуум-фільтрування. Для цієї мети використовують FeCl<sub>3</sub> і Ca(OH)<sub>2</sub> активністю цих речовин відповідно 95 і 40 %. Встановлено, що необхідна доза Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> становить 3,5 % і CaO – 12 %.

9. Розрахувати, яка частина мулу за обсягом видаляється у вигляді фугата, і визначити якість фугата, якщо на центрифугування подається мул вологістю 96,8 %. Вологість зневодненого мулу 80 %, ефективність затримання зважених речовин 28 %.

10. Визначити вологість осаду після видалення мулової води, якщо на мулові майданчики з поверхневим відведенням води поданий осад вологістю 97,4 %. Після відстоювання видалена мулова вода в обсязі 50 % початкового обсягу осаду з концентрацією завислих речовин у ній 1 г/л.

## **ТЕМА 12 КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД**

У технічній літературі методи обробки виробничих стічних вод прийнято підрозділяти на механічні, хімічні, фізико-хімічні та біологічні. Вказаними методами стічну воду або кондиціонують для подальшого очищення, або очищають від домішок, при цьому очищення може бути здійснене як із виділенням домішок у газоподібну, тверду або рідку фази, так і руйнуванням їх. Тому доцільно усе різноманіття прийомів і методів очищення виробничих стічних вод розглянути з точки зору з призначення та спосіб видалення забруднень і розділити їх на методи підготовчої обробки, витягання домішок і деструктивного очищення.

Завданням підготовчої обробки є кондиціонування стічних вод для забезпечення можливості їх транспортування та подальшого очищення. Сюди можна віднести такі методи, як нейтралізація кислих або лужних вод, видалення вибухонебезпечних газів, змішення цехових стоків із метою усереднювання складу та згладжування пікових концентрацій домішок, а також усереднювання по витраті тощо.

До методів вилучення домішок належать: седиментація, флотація (як різновид седиментації), спонукальна седиментація під дією відцентрових сил або з використанням коагулянтів і флокулянтів, віддування газів, екстракція, евапорація, сорбція, фільтрування та низка інших. Окремим випадком методів вилучення є такі, при яких фаза сконцентрованих у малому обсязі домішок повертається у виробництво як цінний продукт. Ці методи витягання можуть бути названі регенеративними. З усіх методів очищення регенеративний метод найдоцільніший, оскільки призводить до зниження загальних витрат на вартість продукції та обробку стічних вод.

Деструктивним очищенням води називають такі способи, при яких відбувається руйнування первинних забруднень окисленням або відновленням із подальшим видаленням частини продуктів реакції у вигляді осадів і газів. До деструктивних методів належать: хлорування, озонування, знебарвлення забарвлених розчином воднем, окислення під тиском, біохімічне окислення в аеробних і анаеробних умовах.

Багато методів обробки виробничих стічних вод мають загальну основу з деякими методами очищення міських стоків. Очищення робиться у аналогічних конструкціях спорудах. Технологічні процеси описуються тими самими закономірностями, що враховують, проте, специфіку стічних вод, що оброблюються. Контроль і управління процесами очищення здійснюються за одними й тими самими принципами. У зв'язку з цим у цій темі будуть розглянуті тільки такі методи, які, як правило, для обробки міських стічних вод не застосовуються.

### ***Завдання до практичного заняття з теми 12***

1. Необхідно нейтралізувати 100 кг сірчаної кислоти й видалити 6 кг нікелю, що містяться у виробничих стічних водах. Потрібно встановити, яку кількість негашеного вапна СаО для цього потрібно застосувати.

2. На прикладі оборотної системи охолоджуючого водопостачання заводу з виробництва синтетичного каучуку розробити технологічний регламент очищення продувних вод від токсичних інгібіторів корозії сталі. В оборотній системі цього заводу, що експлуатується з підвищеним коефіцієнтом упарювання води, для зниження корозійної активності циркуляційної води успішно застосовують потрібний цинк-біхроматфосфатний інгібітор у дозі, мг/дм<sup>3</sup>:  $Zn^{2+} = 2$ ;  $CrO_4^{2-} = 3$  і  $PO_4^{3-} = 3$ .

3. Скласти висновок про роботу систем споруд з очищення стічних вод шкіряного заводу за звітними даними, поданими в таблиці 12.1.

Таблиця 12.1 – Данні, щодо роботи систем споруд з очищення стічних вод шкіряного заводу

Показник	Значення показника, мг/л, стічної води			
	що надходить	після усереднювача	після флотатора	після аеротенка та вторинного відстійника
pH	10,5	8,2	8,1	7,3
Завислі речовин	1 409	390	140	34
Окиснюваність перманганатна	380	240	200	50
БСК <sub>5</sub>	550	360	310	25
ХСК	2 000	1 400	1 000	60
Cr <sub>2</sub> O	15,7	3,1	2,4	1
СПАР	43	40	18	9

4. Визначити питомі (на одиницю знімається забруднення) дози реагентів при очищенні стічних вод від ціанідів. Високотоксичні ціаніди перетворюються на нетоксичні ціанати під дією сильних окислювачів, таких як гіпохлорит натрію, газоподібний хлор, пероксомоносульфатна кислота (кислота Каро), в лужному середовищі.

5. Потрібно кількісно оцінити вплив буферності стічних вод заводу біохімічних реактивів на контроль процесу їх нейтралізації. Вони забруднені сумішшю мінеральних і органічних кислот, що містяться в постійно змінюваному співвідношенні й чітко вираженими буферними властивостями володіючих. На рисунку 12.1 наведені криві титрування цих стічних вод 5 %-вою вапняної суспензією.

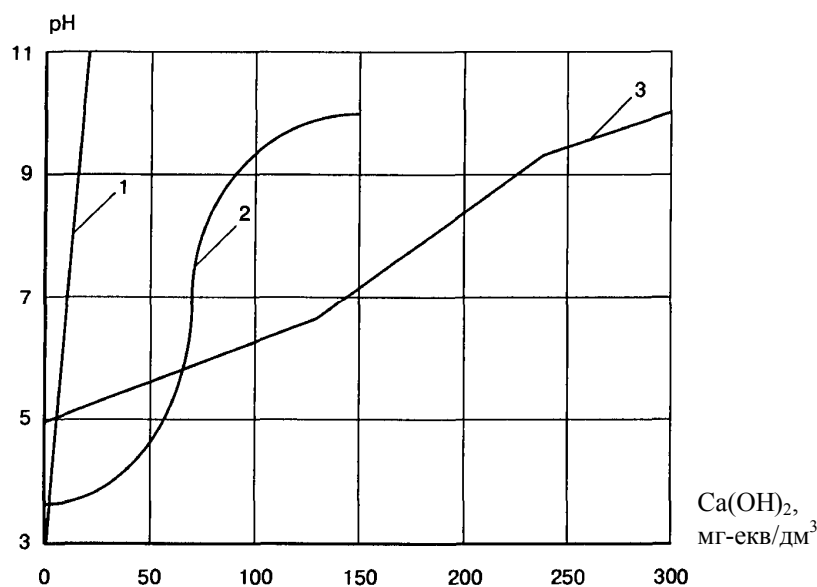


Рисунок 12.1 – Криві титрування стічних вод заводу хімічних реактивів:  
 1 – проба води зі слабо вираженими буферними властивостями;  
 2 – те саме із середньою буферністю; 3 – те саме з сильною буферністю



### **3 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ**

#### **1.1 Структура й оформлення розрахунково-графічної роботи**

Розрахунково-пояснювальна записка повинна містити 20–25 сторінок друкованого тексту. Розділи записки повинні мати наскрізну нумерацію. Усі таблиці, рисунки та сторінки повинні мати нумерацію, має бути зміст записки, вступ та список джерел. Структура розрахунково-графічної роботи (далі РГР) повинна бути такою:

1) титульний аркуш – виконують за відповідною формою, прийнятою для оформлення розрахунково-пояснювальних записок (згідно з ДСТУ). На титульному аркуші повинні бути позначені назва (тема) РГР, прізвища студента й викладача дисципліни (дод. А);

2) зміст.

До змісту належать:

- вступ;
- послідовно перелічені найменування всіх розділів, підрозділів, пунктів і підпунктів;
- список літератури;
- додатки (за необхідності);

3) елементи основної частини РГР.

Склад, зміст і обсяг розділів основної частини РГР визначаються одержаним завданням на його виконання;

4) список джерел.

Перелік джерел, на які зроблені посилання у відповідних місцях тексту, складають у тому порядку, в якому вони згадуються в тексті. Окрім літературних джерел, у список включають перелік використаної нормативної документації (ГОСТ, ДБН, СНіП, ДСТУ, ТУ та ін.);

5) додатки.

У додатках розміщують матеріал, що є необхідним, але не може бути розміщений в основній частині РГР через великий обсяг або з інших міркувань. Додатки розташовують у порядку появи посилань у тексті основної частини РГР. Кожен додаток починають з нової сторінки.

Оформлення РГР здійснюють відповідно до вимог оформлення розрахунково-пояснювальних записок (згідно з ДСТУ), тобто:

– РГР виконують на аркушах формату А4 без рамки з полями: верхнє та нижнє – 20, ліве – не менше 25, праве – не менше 10 мм;

– текст РГР оформлюють шрифтом Times New Roman чорного кольору, 14 кегль, 1,5 інтервали.; заголовки можуть бути виділені шрифтом 16 пт. Абзаци в тексті відступають від тексту на 1–1,25 см;

– нумерацію сторінок РГЗ проставляють у правому верхньому кутку арабськими цифрами без крапки. Нумерація сторінок – наскрізна, включає ілюстрації (рисунки) та таблиці, розташовані на окремих сторінках, а також додатки. Структурні елементи РГЗ – ВСТУП, ВИСНОВКИ, СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ – не нумерують;

– усі розділи РГЗ починають з нової сторінки;

– заголовки структурних елементів і розділів РГР пишуть прописними (заголовними) буквами без крапки в кінці, не підкреслюючи. Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів пишуть малими буквами починаючи з заголовної, розташовуючи номер підрозділу (пункту, підпункту) з абзацного відступу, без крапки в кінці.

## **1.2 Рекомендації до виконання розрахунково-графічної роботи**

РГР складається із п'яти завдань різної складності з технологічного контролю очисних споруд водопостачання та водовідведення. Кожне завдання має на меті навчити студента, мислити й висловлюватися як технолог очисних споруд. Завдання на РГР студент отримує від викладача.

### ***Приклад вирішення розрахунково-графічної роботи***

*Завдання 1.* Перевірити правильність виконання аналізу води, результати якого наведені нижче.

Концентрація:

$$Ca^{2+} = 35,8 \text{ мг/дм}^3,$$

$$Mg^{2+} = 24,8 \text{ мг/дм}^3,$$

$$Na^{2+} = 23 \text{ мг/дм}^3,$$

$$K^{+} = 7,8 \text{ мг/дм}^3,$$

$$HCO_3^{-} = 73,2 \text{ мг/дм}^3,$$

$$SO_4^{2-} = 120 \text{ мг/дм}^3,$$

$$Cl^{-} = 46,1 \text{ мг/дм}^3,$$

$$\text{Щільний залишок} = 320 \text{ мг/дм}^3$$

$$\text{Загально жорсткість} = 3,8 \text{ мг·екв./дм}^3$$

$$\text{Карбонатна жорсткість} = 1,2 \text{ мг·екв./дм}^3.$$

*Виконання:* основним методом контролю правильності виконання аналізу є взаємна ув'язка отриманих результатів. Розглянемо основні варіанти контролю.

1. Загальна жорсткість, що визначена аналітично, повинна дорівнювати жорсткості, обчисленої за результатами аналізу води на вміст кальцію та магнію. Висловимо концентрації катіонів жорсткості, мг-екв./дм<sup>3</sup>, і знайдемо їхню суму:

$$35,8 : 20,04 + 24,8 : 12,16 \approx 1,78 + 2,04 = 3,82 \text{ мг-екв./дм}^3,$$

що відповідає жорсткості визначеною аналізом. Різниця в 0,02 мг-екв./дм<sup>3</sup> є допустимою помилкою при аналізі.

2. Результат визначення карбонатної жорсткості може бути перевірений в такий спосіб. Сума концентрацій кальцію та магнію дорівнює 3,82 мг-екв./дм<sup>3</sup>. Концентрація іонів HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> становить 73,2 : 61,018 = 1,2 мг-екв./дм<sup>3</sup>. Отже [Ca<sup>2+</sup>] + [Mg<sup>2+</sup>] > [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>]. При цій умові карбонатна жорсткість дорівнює концентрації двокарбонатних іонів, тобто 1,2 мг-екв./дм<sup>3</sup>, що повністю підтверджується результатом аналізу.

3. У зв'язку з електронейтральністю води сумарна концентрація катіонів повинна дорівнювати сумі концентрацій аніонів. Аналіз вважається добре виконаним, якщо похибка не перевищує ±2 % – при загальній концентрації іонів більше 15 мг-екв./дм<sup>3</sup>; ±2–5 % – при концентрації 15–5 мг-екв./дм<sup>3</sup>; ±5–10 % – при концентрації 5–3 мг-екв./дм<sup>3</sup>. Перевіримо, чи виконується ця умова, виразивши концентрації всіх іонів в мг-екв./дм<sup>3</sup>:

$$\frac{35,8}{20,4} + \frac{24,8}{12,16} + \frac{23}{22,997} + \frac{7,8}{39,1} = \frac{73,2}{61,018} + \frac{120}{48,033} + \frac{46,1}{35,46} = 5,02 \approx 5$$

Результати підрахунків показують, що аналіз виконаний дуже точно (похибка становить 0,4 %).

4. Потрібно зіставити величину щільного залишку з сумарною масою всіх іонів. При цьому кількість бікарбонатів потрібно прийняти рівною половині концентрації, знайденої аналізом, оскільки при визначенні щільного залишку бікарбонату переходять в карбонати за реакцією  $2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ .

Тоді

$$(73,2 : 2) + 120 + 46,1 + 35,8 + 24,8 + 23 + 7,8 = 294,1 \text{ мг/дм}^3.$$

Аналізом знайдено, що щільний залишок становить 320 мг/дм<sup>3</sup>. Різниця між експериментально визначеним щільним залишком та залишком, що обчисленим за сумою розчинених речовин, пояснюється можливою присутністю розчинених органічних речовин і деякими неточностями у визначенні щільного залишку. Допустимою вважається розбіжність 5–10 %.

Отже, перевірка показала, що всі показники якості води визначені досить точно.

Завдання 2. При черговому обстеженні водойми проби відбирали в чотирьох пунктах за течією річки вище водозабору. Найвіддаленішим від водозабору є 4 пункт. Потрібно оцінити результати обстеження, наведені нижче в таблиці.

Показник	Концентрація, мг/дм <sup>3</sup> , у точках (пунктах) відбору проб			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Щільний залишок	375	360	370	205
Іони:				
$HCO_3^-$	156	160	152	184
$SO_4^{2-}$	49,4	46,2	48	9,6
$Cl^-$	75	70,8	72,2	7,1
$NO_2^-$	сліди	3,2	0	сліди
$NO_3^-$	2,8	сліди	0	-
$Ca^{2+}$	58	50	51	40
$Mg^{2+}$	12	12	13	12
$Na^+$	17	16,8	18,4	12
$NH_4^+$	0,2	1,2	4,5	0,2
Окислюваність	6,2	10	18	6
Мікробне число	180	500	850	200
Колі-індекс	$2,2 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^2$	$4,5 \cdot 10^2$	$5,5 \cdot 10^2$
Примітка. Мікробне число дано в кл/мл, колі-індекс – у кл/дм <sup>3</sup> .				

**Виконання:** аналізуючи результати обстеження, можна відзначити наступне.

1. В пункті № 3, розташованому нижче за течією річки від пункту № 4, значно змінилася якість води: збільшився щільний залишок, відбулися зміни в іонному складі води, в 3 рази збільшилася перманганатна окиснюваність води в більш ніж 4 рази зросло мікробне число. Зміни в іонному складі особливо яскраво проявилися в збільшенні хлоридів, концентрація яких зросла більше ніж у 10 разів. Крім того, значно зросла концентрація амонійного азоту.

Ці результати говорять про те, що вода річки між пунктами № 4 і 3 отримала додаткові забруднення. Можна припустити, що у водоймах скидаються виробничі стічні води, про що свідчать такі серйозні зміни в концентраціях хлоридів і сульфатів. Те, що надійшли в воду річки забруднення мають промислове походження, підтверджується результатами колі-тесту. У воді між пунктом № 4 та пунктом № 3 кількість бактерій групи кишкової

палички не збільшується, чого можливо було би очікувати в разі спуску у водойму побутових стічних вод.

Стічні води, що скидаються, містять значну кількість органічних речовин, унаслідок чого у воді в пункті № 3 зростає перманганатна окиснюваність. Цією величиною оцінюється наявність у воді органічних і неорганічних відновників, здатних окислюватися перманганатом калію. Про органічну природу внесених забруднень говорить зміна мікробного числа води в пункті № 3. Різка збільшення кількості сапрофітів може бути викликано надходження у водойму органічних речовин, які використовуються сапрофіти в процесах енергетичного та конструктивного метаболізму.

2. Порівняння результатів аналізу води в пунктах № 3, 2 і 1 дозволяє говорити про інтенсивному процесі самоочищення на цій ділянці річки. Окиснюваність води в пунктах № 3 до пункту № 1 зменшується приблизно в 3 рази внаслідок бактеріального забруднення органічних речовин. Зменшення кількості харчування призводить до відповідного зниження числа аеробних сапрофітів з 850 до 180 колоній в 1 мл.

На цій самій ділянці зафіксовано процес нітрифікації. Унаслідок нітрифікації внесений зі стічними водами амонійний азот перетворюється в нітратний.

На обстеженій ділянці річки йде і процес бактеріального самоочищення, про що свідчить зниження колі-індексу в  $5 \cdot 10^2$  (у пунктах № 4) до  $2,2 \cdot 10^2$  (у пунктах № 1).

Оцінюючи результати процесу самоочищення, потрібно зазначити, що окиснюваність, мікробне число й амонійний азот виявилися на колишньому рівні, тобто такими самими як і в пункті № 4 до скидання стічних вод у водойму. Однак ці результати не дозволяють говорити про повне відновлення якості води внаслідок процесу самоочищення. У цьому легко переконатися, порівнявши іонний склад і загальний солевміст води у пунктах № 1–4. У воді в пункту № 3 величина щільного залишку збільшилася більше ніж у 1,5 рази порівняно з його величиною в пункті № 4 і залишилася на цьому рівні в воді в пункті № 1. У воді цього пункту не змінився і вміст сульфатів і хлоридів порівняно з їхнім вмістом у воді пункті № 3.

Серйозні зміни в іонному складі води можуть істотно вплинути на мешканців водойми. Порівняємо сумарні концентрації аніонів і катіонів у воді пунктів № 4 і 3.

Для води в пункті 4 концентрація становить:

– аніонів

$$184/61,018 + 9,6/48,033 + 7,1/35,457 = 3,4 \text{ мг-екв./дм}^3;$$

– катіонів

$$40/20,04 + 12/12,16 + 12/22,997 = 3,5 \text{ мг-екв./дм}^3.$$

Для води у пункті № 3 концентрація становить:

– аніонів

$$152/61,018 + 48/48,033 + 72,2/35,457 = 5,54 \text{ мг-екв./дм}^3;$$

– катіонів

$$51/40 + 13/12,16 + 18,4/28,997 + 4,5/18,040 = 4,55 \text{ мг-екв./дм}^3.$$

Для води в пункті № 3 різниця між концентраціями аніонів та катіонів виходить за межі допустимої помилки. Уважаючи, що аналіз виконувався досвідченими лаборантами та зроблений досить точним, можна запропонувати, що зі стічними водами скидалися з'єднання будь-яких елементів, не обумовлених звичайним аналізом води. У цьому випадку необхідно повторити аналіз річкової води, попередньо з'ясувавши характер зворотних вод.

Отже, самоочищення водойми дозволила ліквідувати лише частину внесених зі стічними водами забруднень, не забезпечивши відновлення іонного складу води.

В умові задачі не приведені дані по витраті води в водойму, кількісну характеристику стічних вод і умов їх змішування з водою річки, тому можлива лише якісна оцінка змін, що відбулися в річці внаслідок її забруднення стічними водами.

*Завдання 3.* За результатами гідробіологічного аналізу, наведеним нижче, оцінити ефективність роботи окремих споруд із видалення з води фітопланктону.

Концентрація клітин фітопланктону в 1 мл:

у воді джерела.....	985
після попереднього хлорування в ковші.....	128
мікрофільтрів.....	70
коагулювання та відстоювання.....	29
фільтрування.....	13
вторинного хлорування.....	9

*Виконання:* ефективність  $E$ , % вилучення фітопланктону на окремих етапах очищення може бути підрахована за формулою:

$$E = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100,$$

де  $C_1$  і  $C_2$  – концентрація клітин фітопланктону відповідно у воді, що

надходить на споруди, і обробленої.

Наприклад, концентрація клітин фітопланктону у воді, що надходить на мікрофільтри,  $C_1 = 128$ , а після мікрофільтрування  $C_2 = 70$ . У цьому випадку ефективність роботи мікрофільтра становитиме:

$$E = \frac{128 - 70}{128} \cdot 100 = 45,3 \text{ \%}.$$

Одночасно можна оцінити частку участі  $D$ , %, кожного з споруд у загальному зниженні концентрації фітопланктону. Розрахунок в цьому випадку ведуть за формулою:

$$D = (\Delta C : C_{\text{вих}}) 100,$$

де  $\Delta C$  – зниження концентрації фітопланктону в споруді,

$C_{\text{вих}}$  – концентрація фітопланктону у воді джерела.

Якщо на стадії фільтрування затримано  $29 - 13 = 16$  клітин в 1 мл, це становить  $16 : 985 \cdot 100 = 1,6 \text{ \%}$  концентрації фітопланктону у воді джерела.

Результати розрахунків для кожної стадії обробки води зведені в таблицю.

Показник	Значення показника, %, на стадії				
	попереднього хлорування	мікрофільтрування	коагулювання та відстоювання	фільтрування	вторинного хлорування
$E$ , %	87,5	45,3	58,6	55,2	31
$D$ , %	87,5	5,9	4,2	1,6	0,3

Велика частина фітопланктону затримується на стадії попереднього хлорування та відстоювання в ковші. У сукупності з мікрофільтруванням попередня обробка дозволяє затримати  $985 - 70 = 915 \text{ мг/дм}^3$ , або  $92,9 \text{ \%}$  усього фітопланктону, що надходить на станцію. Це значно полегшує роботу основних споруд. Частка участі кожної з таких споруд у загальному вилученні фітопланктону поступово зменшується. У сукупності на стадіях коагуляція – знезараження знімається тільки  $2 \text{ \%}$  гідробіологічних забруднень, що надійшли на станцію, але ефективність роботи цього ланцюжка основних споруд з видалення фітопланктону становить:

$$\frac{29 - 9}{29} \cdot 100 = 69 \text{ \%}.$$

Фільтри не забезпечують повного вилучення фітопланктону, і частково ліквідація залишкового числа планктонних організмів входить в завдання вторинного хлорування, яке забезпечує загибель тільки  $31 \text{ \%}$  клітин. Водорості, що відмирають унаслідок знезараження води, частково осідають в резервуарі чистої води, і їх накопичення може бути причиною вторинного росту деяких видів хлоростійких гідробіонтів.

Загалом очисні споруди забезпечують загибель

$$\frac{985 - 9}{985} \cdot 100 = 99,1 \%$$

Фітопланктон та очищена вода містить 9 кл/мл. Допустимий вміст фітопланктону в питній воді стандартом не регламентується, тому формально за цим показником не можна судити про придатність або непридатність води для питних цілей.

*Завдання 4.* Підрахувати технологічні показники роботи аеротенків і дати оцінку отриманим результатам.

Прийнято трьохкоридорні аеротенки з 33 % -вою регенерацією. Розміри аеротенках: ширина коридору  $b = 6$  м, робоча глибина  $h = 4,4$  м, довжина  $l = 54$  м.

Встановлено, що за звітний період (30 діб) у середньому за добу працювало 5,7 аеротенків. Очищено стічної води за місяць  $Q_{\text{заг}} = 2\,340$  тис. м<sup>3</sup> із початкової БСК<sub>5</sub> = 214 мг/дм<sup>3</sup>, ХСК = 283 мг/дм<sup>3</sup>, концентрація завислих речовин  $C_{\text{зав}} = 190$  мг/дм<sup>3</sup>. Окислені форми азоту були відсутні. Температура води 20 °С.

В результаті очищення отримана вода з БСК<sub>5</sub> = 13 мг/дм<sup>3</sup>, ХСК = 96 мг/дм<sup>3</sup>, концентрацією винесеного мулу 18 мг/дм<sup>3</sup> і азоту нітритів 3,9 мг/дм<sup>3</sup>.

Дози мулу в середньому за звітний період становили:  $a_a = 1,8$  г/дм<sup>3</sup>,  $a_p = 5,9$  г/дм<sup>3</sup>. Індекс мулу дорівнює 96 мл/г, зольність мулу становила 29 %. На очистку витрачено повітря 21294 тис. м<sup>3</sup> на місяць. Температура повітря 20 °С. Концентрації, мг/дм<sup>3</sup>, розчиненого кисню: у власне аеротенках 7,2, в очищеній стічній воді 5,7 і регенераторі 1,6.

На подачу повітря витрачено 1 548 тис. кВт · год на місяць електроенергії. Перекачана циркуляційного мулу 936 тис. м<sup>3</sup>. Приріст мулу 17,8 т на 100 тис. м<sup>3</sup> обробленої води.

*Виконання:* в умові завдання показані середні звітні дані про роботу аеротенків за один місяць їх експлуатації. За характеристиками якості очищеної стічної води можна бачити, що була забезпечена висока ступінь очищення, при цьому досить глибока проходили процеси нітрифікації амонійного азоту.

Проаналізувати дані про роботу споруди – означає показати відповідність (або невідповідність) всіх технологічних параметрів, що характеризують процеси, які проходять в ньому. Тому спочатку за основними звітними даними потрібно провести низку розрахунків і на основі звітних і розрахункових параметрів дати комплексну оцінку роботи споруди.

Визначимо розрахунком основні технологічні показники роботи



аераційної системи.

1. Визначимо середню тривалість аерації.

Обсяг  $W$  одного аеротенка:

$$W = (b \cdot h \cdot l) \cdot 3, \text{ м}^3,$$
$$W = (6 \cdot 4,4 \cdot 54) \cdot 3 = 4276,8 \approx 4277 \text{ м}^3.$$

Загальний обсяг всіх аеротенків, що працюють щодоби:

$$W_{\text{заг}} = W \cdot 5,7, \text{ м}^3,$$
$$W_{\text{заг}} = 4277 \cdot 5,7 = 24379 \text{ м}^3,$$

Середньогодинний приплив води  $Q_g$  в аеротенки визначають шляхом ділення загальної кількості обробленої стічної води на число годин у звітному періоді:

$$Q_g = \frac{Q_{\text{заг}}}{30 \cdot 24}, \text{ м}^3/\text{ГОД},$$
$$Q_g = \frac{340000}{30 \cdot 24} = 3250 \text{ м}^3/\text{ГОД}.$$

Середня тривалість аерації:

$$t = \frac{W_{\text{заг}}}{Q_g}, \text{ ГОД},$$
$$t = \frac{24379}{3250} = 7,5, \text{ ГОД}.$$

2. Підрахуємо час перебування води в власне аеротенках  $t_a$  шляхом розподілу обсягу  $W_a$  на суму годинних приток води й циркуляційного мулу.

Обсяг власне аеротенках при 33 % -вій регенерації:

$$W_a = W_{\text{заг}} \cdot 0,67, \text{ м}^3,$$
$$W_a = 24379 \cdot 0,67 = 16334 \text{ м}^3,$$

Годинна витрата циркуляційного мулу:

$$Q_n = \frac{936000}{720} = 1300 \text{ м}^3/\text{ГОД}.$$

Нарешті, час перебування суміші в аеротенках:

$$t_a = \frac{W_a}{(Q_g + Q_n)}, \text{ ГОД},$$
$$t_a = \frac{169334}{(3250 + 1300)} = 3,6, \text{ ГОД},$$

3. Час перебування  $t_p$  циркуляційного мулу в регенераторі об'ємом  $W_p$ :

$$t_p = \frac{W_p}{Q_n} = \frac{0,33 \cdot W_{\text{заг}}}{Q_n}, \text{ ГОД},$$
$$t_p = \frac{0,33 \cdot 24379}{1300} = 6,2 \text{ ГОД}.$$

4. Загальний час окислення знятих забруднень:

$$t_0 = t_a + t_p, \text{ ГОД},$$

$$t_0 = 3,6 + 6,2 = 9,8, \text{ год.}$$

5. Навантаження на одиницю об'єму аеротенках за БСК<sub>5</sub>:

$$H_w = \frac{Q_s \cdot 24 \cdot \text{БСК}_5}{W_{\text{заг}}}, \text{ Г} \cdot \text{БСК}_5 / (\text{м}^3 \cdot \text{добу}),$$

$$H_w = \frac{3250 \cdot 24 \cdot 214}{24379} = 684,69 \approx 685 \text{ Г} \cdot \text{БСК}_5 / (\text{м}^3 \cdot \text{добу}).$$

6. Середня доза мулу в системі:

$$a_{\text{cp}} = a_a \cdot 0,67 + a_p \cdot 0,33, \text{ Г/ДМ}^3,$$

$$a_{\text{cp}} = 1,8 \cdot 0,67 + 5,9 \cdot 0,33 = 3,15 \text{ Г/ДМ}^3.$$

7. Навантаження на 1 г беззольної речовини мулу БСК<sub>5</sub>:

$$H = \frac{H_w}{a_{\text{cp}} \cdot (1 - 3l)}, \text{ МГ БСК}_5,$$

$$H = \frac{685 \cdot 1000}{3150 \cdot (1 - 0,29)} = 306 \text{ МГ БСК}_5.$$

8. Ефективність очищення води за БСК<sub>5</sub>:

$$E_{\text{БСК}_5} = \frac{(214 - 13)}{214} = 0,94 \text{ або } 94 \text{ \%}.$$

9. Окислювальна потужність ОП 1 г беззольного речовини мулу по БСК<sub>5</sub>:

$$\text{ОП} = H \cdot E_{\text{БСК}_5}, \text{ МГ},$$

$$\text{ОП} = 306 \cdot 0,94 = 288 \text{ МГ}.$$

10. Швидкість окислення 1 г беззольного речовини мулу:

$$\rho = \text{ОП} : 24, \text{ МГ/(Г} \cdot \text{ГОД)},$$

$$\rho = 288 : 24 = 12 \text{ МГ/(Г} \cdot \text{ГОД)}.$$

11. Витрата повітря Д на очищення 1 м<sup>3</sup> води:

$$D = 21294 : 2340 = 9,1 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

12. Витрата повітря на очищення 1 кг знятої БСК<sub>5</sub>:

$$D_{\text{БСК}} = \frac{D}{(\text{БСК}_{\text{надх}} - \text{БСК}_{\text{сочищ}})}, \text{ М}^3/\text{КГ},$$

$$D_{\text{БСК}} = \frac{9,1}{(0,214 - 0,013)} = 45,2 \text{ М}^3/\text{КГ}.$$

13. Інтенсивність аерації:

$$I = \frac{D \cdot h}{t}, \text{ М}^3/(\text{М}^2 \cdot \text{ГОД)},$$

$$I = \frac{9,1 \cdot 4,4}{7,5} = 5,3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год}).$$

14. Визначимо відсоток використання кисню повітря – відношення кількості спожитого кисню до кількості поданого, що приймається за 100 %.

Підрахуємо спочатку кількість використаного кисню. Кисень був використаний на зниження БСК, нітрифікацію амонійного азоту та насичення води розчиненим киснем. При обліку кількості кисню на окислення органічних забруднень, тобто на зниження БСК, правильніше користуватися величиною БСК<sub>повн</sub>. За відсутності спеціальних експериментальних даних можна скористатися такими коефіцієнтами перерахунку (для міських стічних вод): для води, що надходить 1,16 і для очищеної 1,67. Отже, в цьому прикладі вода, що надходила, мала БСК<sub>повн</sub> рівну:  $214 \cdot 1,16 = 248 \text{ мг/дм}^3$ , а очищена –  $13 \cdot 1,67 = 21,7 \approx 22 \text{ мг/дм}^3$ . Зниження БСК<sub>повн</sub>, отже, становило:

$$248 - 22 = 226 \text{ г/дм}^3.$$

На нітрифікацію 1 мг азоту до нітритів витрачається 2,29 мг O<sub>2</sub>, а до нітратів – 3,4 мг O<sub>2</sub>. На процес нітрифікації витрачено

$$2,29 \cdot 0,8 + 3,4 \cdot 3,9 = 14,3 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3.$$

Загалом при очищенні води з урахуванням розчиненого кисню в очищеній воді 5,7 мг/дм<sup>3</sup> було використано кисню

$$226 + 14,3 + 5,7 = 246 \text{ мг/дм}^3, \text{ або } 246 \text{ г/м}^3.$$

Підрахуємо кількість поданого кисню. На 1 м<sup>3</sup> води подавалося 9,1 м<sup>3</sup> повітря, або 10 966 г (при 20 °С щільність повітря дорівнює 1,205 г/дм<sup>3</sup>). Кисню в складі повітря було 23,1 % за масою, отже, на 1 м<sup>3</sup> оброблюваної води було подано кисню

$$10\,966 \cdot 0,231 = 2\,534 \text{ г/м}^3.$$

Якщо подано 2 534 г·O<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>, а спожито 246 г·O<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>, то використання кисню повітря становить:

$$(246/2\,534) \cdot 100 = 9,7 \text{ \%}.$$

15. Витрата електроенергії на 1 кг знятої БСК<sub>5</sub>:

$$\frac{548000}{2350 \cdot (214 - 13)} = 1,17 \text{ кВт} \cdot \text{год/кг}.$$

Для складання повної оцінки роботи споруди іноді корисно зіставити отримані звітні дані з розрахунковими параметрами споруди. Для цього зробимо деякі перевіірочні розрахунки з використанням рекомендацій для проектування за ДБН В.2.5-75:2013 [6].

16. Уточнимо кількість циркуляційного мулу, що перекачується:

$$Q_n = \alpha \cdot Q_a, \text{ м}^3,$$

$$Q_n = 0,4 \cdot 2340 = 936 \text{ тис. м}^3/\text{міс.},$$

при

$$a = \frac{(a_a - \Pi_p)}{(a_p - a_a)},$$

$$a = \frac{(1,8 - 0,178)}{(5,9 - 1,8)} = 0,4.$$

17. Підрахуємо необхідну тривалість обробки води за формулами, рекомендованим ДБН В.2.5-75:2013 [6], прийнявши фактичні дози мулу при роботі аеротенків. Значення БСК<sub>5</sub> повинні бути переведені в БСК<sub>повн</sub>, а швидкість окислення визначена за формулою (В.9) [6]. Тоді

$$t_a = \frac{2,5}{a^{0,5}} \lg \frac{La}{Lt} \text{ год},$$

$$t_a = \frac{2,5}{1,8^{0,5}} \lg \frac{248}{22} = 2 \text{ год};$$

$$t_0 = \frac{L_3 - L_1}{\alpha \cdot a_p (1 - 3\lambda)p}, \text{ ГОД},$$

$$t_0 = \frac{248 - 22}{0,4 \cdot 5,9(1 - 0,29)21,4} = 6,2 \text{ год};$$

$$t_p = t_0 - t_a, \text{ ГОД},$$

$$t_p = 6,2 - 2 = 4,2, \text{ год};$$

$$t = t_a \cdot (1 + \alpha) + t_p \cdot \alpha, \text{ ГОД},$$

$$t = 2 \cdot (1 + 0,4) + 4,2 \cdot 0,4 = 4,5 \text{ год}.$$

18. Визначимо максимальний приріст мулу:

$$\Pi_p = 0,8 \cdot C_{зав} + 0,3 \cdot L_a, \text{ мг/дм}^3,$$

$$\Pi_p = 0,8 \cdot 190 + 0,3 \cdot 248 = 226 \text{ мг/дм}^3 \text{ або } 22,6 \text{ т на } 100 \text{ тис. м}^3 \text{ стічної води}.$$

19. Розрахуємо витрату повітря за ДБН В.2.5-75:2013:

$$D = \frac{Z \cdot (L_a - L_1)}{K_1 \cdot K_2 \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot (C_p - C)}, \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

$$D = \frac{1,1 \cdot (248 - 22)}{1,47 \cdot 2,68 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot (11,1 - 2)} = 8,2 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Після виконання розрахунків можна дати оцінку ефективності роботи споруди.

На очищення надходила вода з середньою концентрацією забруднень. Із загальної суми органічних речовин, врахованих величиною БСК, ті, які біохімічно, окислюються, становлять великий відсоток (понад 75 %), що є передумовою можливості глибокого очищення стічної води. Варто, однак, зауважити, що концентрація завислих речовин, що дорівнює 190 мг/дм<sup>3</sup>, вище норм, рекомендованих ДБН для аеротенків. Підвищена концентрація завислих

речовин може бути результатом недостатньої ефективності роботи первинних відстійників.

Аеротенки працюють в умовах порівняно низьких навантажень на мул (306 мг на 1 г беззольної речовини в добу) і мають досить задовільний кисневий режим, про що свідчать дані щодо концентрації розчиненого кисню в системі.

Навіть в регенераторі при високій дозі в ньому мулу, що дорівнює 5,9 г/дм<sup>3</sup>, вдається підтримувати концентрацію кисню на рівні 1,6 мг/дм<sup>3</sup>, що цілком достатньо для дотримання умов аеробіоза.

Умови роботи аеротенків – сприятливий характер забруднень, низькі навантаження на мул, задовільний кисневий режим, висока температура води й повітря, достатня інтенсивність перемішування суміші, відповідна високої інтенсивності продування повітря [ $I = 5 \text{ м}^3/(\text{м}^2)$ ] забезпечили не тільки глибоке очищення води за БСК<sub>5</sub>, а й розвиток процесів нітрифікації. З огляду на останню обставину – наявність в очищеній воді нітратів і нітритів, можна з упевненістю говорити про високу якість води в аераційних спорудах.

Цікаво відзначити, що в очищеній воді різко змінилося співвідношення БСК і ХСК. Воно становить 14 % замість 75 % в надходить стічної воді. Це говорить про те, що в стічній воді залишилися в основному лише біохімічно не окислюється домішки.

Кілька великий винос мулу – 18 мг/дм<sup>3</sup>. Оскільки седиментаційних властивості мулу задовільні, про що свідчить низький індекс мулу, рівний 96 мг/дм<sup>3</sup>, то отриманий результат приблизно може бути пояснений незадовільною експлуатацією вторинних відстійників.

Якщо порівняти час обробки води за експлуатаційними даними з рекомендованим [6] на ті самі конкретні умови, можна бачити, що власне очищення води тривало довше ніж планується нормами, – 3,6 год замість 2 год; окислення забруднень тривало також довше – 9,8 год замість 6,2 год і загальний розрахунковий час процесу міг бути всього 4,5 год замість 6,2 год. Наслідком збільшення тривалості процесу й низьких навантажень на мул при інших сприятливих умовах є той факт, що крім окислення вуглецевмісних речовин, відбуваються й процеси нітрифікації. Можна очікувати, що приріст мулу буде менше, ніж в разі очищення без нітрифікації. Справді, підрахований за рекомендаціями [6] очікуваний приріст мулу становить 226 мг/дм<sup>3</sup>, а в натурних умовах – 178 мг/дм<sup>3</sup>. Очевидно, що в системі, крім очищення стічної води, відбуваються процеси мінералізації мулу, і орієнтовна ступінь окислення мулу становить:

$$\frac{226 - 178}{226} \cdot 100 = 21 \%$$

Відповідно до наведених вище міркувань з часу процесу й навантаженні витрата повітря трохи вище, ніж впливає з розрахунку за нормами, але ступінь використання кисню (близько 10 %) дуже високий для системи з фільтрувальних пластин, що потрібно розцінювати як позитивний результат. Зауважимо, що при обліку відсотка використання кисню не прийнято до уваги ту кількість кисню, яке пішло на передбачуване окислення активного мулу. Можна підрахувати, що на окислення  $48 \text{ мг/дм}^3$  мулу теоретично могло бути витрачено кисню

$$1,4 \cdot 48 \cdot (1 - 0,29) = 48 \text{ мг } O_2/\text{л},$$

де 1,4 – теоретична питома ХСК мулу.

Оцінюючи отримані результати загалом, можна зробити такі висновки:

- 1) система забезпечує глибоке очищення води й часткове окислення мулу;
- 2) витрати електроенергії на очищення води знаходяться в межах звичайної норми (0,9–1,4);
- 3) система має певний запас по продуктивності, який можна використовувати шляхом зниження процесів мінералізації та нітрифікації;
- 4) необхідний аналіз роботи системи по процесу відстоювання.

*Завдання 5.* Визначити відсоток циркуляційного (поворотного) мулу, якщо його доза в аеротенках  $a_a = 1,6 \text{ г/дм}^3$ , доза поворотного мулу  $a_e = 5,4 \text{ г/дм}^3$  і приріст мулу  $P_p = 120 \text{ мг/дм}^3$  і підрахувати, як зміниться навантаження  $H$  на мул, якщо змінити відсоток регенерації з 25 % на 50 % при тривалості аерації  $t = 6,8$  год, дозі мулу власне в аеротенках  $a_a = 1,4 \text{ мг/дм}^3$ , у регенераторі  $a_p = 5,6 \text{ г/дм}^3$ , зольності мулу  $Z_m = 28$  %. БПК<sub>5</sub> води, що надходить в аеротенк, дорівнює  $120 \text{ мг/дм}^3$ .

*Виконання:* відсоток зворотного мулу  $\alpha$  – кількість мулу  $Q_m$ , що перекачують в аеротенк з вторинного відстійника, виражене у відсотках по відношенню до кількості оброблюваної води  $Q_e$ , становить:

$$\alpha = \left( \frac{Q_m}{Q_e} \right) \cdot 100.$$

Для виконання завдання складемо рівняння балансу маси активного мулу в аеротенках. В аеротенк надходять зворотний мул із загальною масою  $Q_m a_e$  і стічна вода, очищення якої зумовить утворення мулу в кількості  $Q_e P_p$ . Отже,  $Q_m \cdot a_e + Q_e \cdot P_p = (Q_m + Q_e) \cdot a_a$ , звідки:

$$\alpha = \frac{Q_m}{Q_e} \cdot 100 = \frac{a_a - P_p}{a_e - a_a} \cdot 100.$$

Після підстановки в отримане рівняння заданих величин отримаємо

$$\alpha = \frac{1,6 - 0,12}{5,4 - 1,6} \cdot 100 = 39 \%$$

У низці випадків при технологічній оцінці роботи споруд величиною приросту мулу в розрахунках можна знехтувати, якщо він малий порівняно з дозами мулу.

Якщо аналізується робота аеротенків із регенератором, то замість величини  $a_g$  в рівнянні балансу фігурує величина  $a_p$  – доза мулу в регенераторі, оскільки  $a_p = a_g$ .

Рівняння балансу мулу можна переписати щодо будь-якої величини, що входить в нього й у такий спосіб, підраховувати ту з них, значення якої, отримане шляхом заміру або лабораторного аналізу, викликає у технолога сумнів: кількість оброблюваної води або мулу, що перекачується, приріст мулу.

Найбільш надійними, як правило, можна вважати дані лабораторного аналізу з визначення доз мулу, оскільки в підрахунках зазвичай використовуються середні значення з кількох разових визначень.

Навантаження на мул дорівнює масі забруднень (що враховуються в цьому прикладі величиною БСК<sub>5</sub>), що припадають за добу на 1 г беззольної речовини мулу.

Маса забруднень, що подаються за добу, дорівнює  $Q_g$  БСК<sub>5</sub>.

Кількість беззольної речовини мулу в аераційній системі аеротенка з регенератором становить:

$$W \cdot a_{cp} (1 - Z_L),$$

де  $W$  – обсяг системи;

$a_{cp}$  – середня доза мулу в системі.

Отже, навантаження  $H$  на мул буде:

$$H = \frac{Q_B \cdot БПК_5}{W \cdot a_{cp} \cdot (1 - Z_L)} = \frac{24 \cdot БПК_5}{a_{cp} \cdot (1 - Z_L) \cdot t}$$

Підрахуємо величину  $a_{сер}$  для системи з 25 % -вою регенерацією. Неважко бачити, що:

$$a_{сер} = a_a \cdot 0,75 + a_p \cdot 0,25, \text{ г/дм}^3.$$

$$a_{сер} = 1,4 \cdot 0,75 + 5,6 \cdot 0,25 = 2,45 \text{ г/дм}^3.$$

Для випадку з 50 % -вою регенерацією, величина  $a_{сер}$  становить:

$$a_{сер} = 1,4 \cdot 0,5 + 5,6 \cdot 0,5 = 3,5 \text{ г/дм}^3.$$

Оскільки кількість мулу зростає, то за інших умов, що залишаються постійними, навантаження на мул зменшується у стільки разів, у скільки збільшилася середня доза мулу.

Навантаження на мул в міліграмах БСК<sub>5</sub> на 1 г беззольної речовини на

добу для аеротенка з 25 % -вою регенерацією становить:

$$H = \frac{24 \cdot 120}{6,8 \cdot 2,45(1 - 0,28)} = 240,$$

а для аеротенка з 50 % -вою регенерацією:

$$H = \frac{24 \cdot 120}{6,8 \cdot 3,5(1 - 0,28)} = 167.$$

Зменшення навантаження в цьому прикладі в 1,4 рази має велике значення й повинно привести або до збільшення ступеня очищення стічної води, якщо вона ще не була достатньо глибокою, або до деякого зменшення приросту мулу внаслідок розвитку процесів його мінералізації, що можна зафіксувати появою в очищеної стічній воді окислених форм азоту – нітритів і нітратів. Для проходження процесів нітрифікації необхідно, однак, щоб у воді не були присутні домішки, які є токсичними саме для бактерій нітрифікаторів.

При оцінці роботи аераційних споруд корисно користуватися також поняттям навантаження на аеротенк  $H_w$ , що вимірюється в грамах БСК<sub>5</sub> або в грамах БСК<sub>повн</sub>, що припадає на 1 м<sup>3</sup> обсягу споруди за добу. Навантаження на одиницю обсягу аеротенка може бути підрахована так:

$$H_w = \frac{Q_s \text{ БСК}}{W} = \frac{24 \text{ БСК}}{t}.$$

У цьому прикладі навантаження на аеротенк однакове для обох варіантів технологічної схеми та становить 424 г БСК<sub>5</sub>/(м<sup>3</sup> · добу).



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Карюхина Т. А. Контроль качества воды : учебник для техникумов / Т. А. Карюхина, И. Н. Чубанова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1986. – 160 с.
2. ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. – Затверджено МОЗ України 12.05.2010. – Київ, 2010. – 25 с.
3. Корінько І. В. Контроль якості води : [монографія] / І. В. Корінько, В. Я. Кобилянський, Ю. О. Панасенко ; Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2013. – 288 с.
4. Алексеев Л. С. Контроль качества воды : ученик / Л. С. Алексеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2004. – 154 с.
5. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування ДБН В.2.5-74:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2013. – 287 с.
6. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування ДБН В.2.5-75:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2013. – 134 с.
7. Благодарна Г. І. Конспект лекцій із дисципліни «Санітарно-технологічний контроль очисних споруд» (для здобувачів вищої освіти усіх форм навчання зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / Г. І. Благодарна ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 132 с.

Додаток А

**Зразок оформлення титульного аркуша**

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

Кафедра водопостачання, водовідведення і очищення вод

**РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА**

з дисципліни

**«САНІТАРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ОЧИСНИХ СПОРУД»**

на тему: «Технологічний контроль очисних споруд водопостачання або  
водовідведення»

Здобувач \_\_\_\_\_ курсу

група \_\_\_\_\_

спеціальності 194 – Гідротехнічне

будівництво, водна інженерія та водні

технології

**ПІБ**

Керівник: доц. Г. І. Благодарна

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів: \_\_\_\_\_

Члени комісії \_\_\_\_\_

м. Харків – 20\_ рік

*Виробничо-практичне видання*

Методичні рекомендації  
до організації самостійної роботи,  
проведення практичних занять  
і виконання розрахунково-графічної роботи  
з навчальної дисципліни

**«САНІТАРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ОЧИСНИХ СПОРУД»**

*(для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня всіх форм  
навчання спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія  
та водні технології)*

Укладач **БЛАГОДАРНА** Галина Іванівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*  
Редактор *В. І. Шалда*

Комп'ютерне верстання *Г. І. Благодарна*

План 2021, поз. 490М

---

Підп. до друку 24.07.2021. Формат 60 × 84/16.

Електронний документ. Ум. друк. арк. 4,4.

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.