

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

**Г. І. Благодарна**

**РЕКОНСТРУКЦІЯ ОБ'ЄКТІВ ВОДНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

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

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

**Благодарна Г. І.** Реконструкція об'єктів водної інженерії : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх 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, 2025. – 166 с.

Автор

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

Рецензенти:

**А. С. Карагяур**, професор, доктор технічних наук, професор кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова);

**О. А. Сироватський**, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

*Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення і очищення вод, протокол № 1 від 29.08.2022*

Конспект лекцій складено для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології з метою допомоги здобувачам інженерних спеціальностей закладів вищої освіти під час підготовки до занять, здачі поточного та підсумкового контролю з навчальної дисципліни «Реконструкція об'єктів водної інженерії».

© Г. І. Благодарна, 2025

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Змістовий модуль 1 Реконструкція водопровідних очисних споруд.....	5
Тема 1 Сучасний стан проблем очищення вод.....	5
Тема 2 Реконструкція водопровідних очисних споруд.....	9
Змістовий модуль 2 Реконструкція каналізаційних очисних споруд.....	59
Тема 3 Необхідність реконструкції очисних каналізаційних споруд.....	59
Тема 4 Реконструкція споруд механічного очищення стічних вод.....	74
Тема 5 Реконструкція споруд біохімічного очищення стічних вод.....	80
Тема 6 Реконструкція цеху механічного зневоднення осадів.....	90
Змістовий модуль 3 Реконструкція гідротехнічних споруд.....	102
Тема 7 Вимоги до реконструкції гідротехнічних споруд.....	102
Тема 8 Реконструкція водозабірних споруд .....	107
Тема 9 Реконструкція споруд транспортування води.....	121
Тема 10 Реконструкція насосних станцій.....	145
Список використаних джерел.....	164

## ВСТУП

Належне функціонування та безперервна робота систем і споруд об'єктів водної інженерії є підставою для ефективної виробничої діяльності, екологічного добробуту та комфортного життя населення.

Це неможливо без постійного контролю та належної експлуатації споруд і систем, без часткової або повної реконструкції їх окремих складових, зумовленої спрацюванням, змінами умов навколишнього природного середовища під впливом антропогенних факторів, збільшенням водоспоживання або впровадженням нових норм щодо якості води, що подається та очищення стічних вод, без реконструкції систем з метою покращення надійності, екологічної ефективності та безпеки їхньої роботи.

Для систем водопостачання та водовідведення притаманні дефіцит води та недостатня потужність очисних споруд водовідведення, що пов'язано зі зростанням або зменшенням населення, розвитком промисловості та інфраструктури населених пунктів.

Наприклад, необхідність забезпечення якості води вимагає значного розвитку та реконструкції і постійно потребує проведення різноманітних затратних заходів на водопроводах, пов'язаних із реконструкцією мереж і споруд.

Водопровідно-каналізаційні об'єкти міст і селищ зазвичай мають значний ступінь спрацьованості через нестачу фінансування на їх ремонт.

За сучасних умов потрібне не лише якісне біологічне очищення стічних вод, а й максимально повне видалення біогенних елементів, яке не забезпечується існуючими спорудами та зумовлює необхідність відповідної їх реконструкції та впровадження нових технологічних схем очищення.

Системи та споруди об'єктів водної інженерії часто доводиться реконструювати також через зміну надходження води, її якості, умов використання або технології, продуктивності, для підвищення надійності та з інших причин.

У цьому конспекті лекцій, призначеному для здобувачів вищої освіти зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології, коротко висвітлено завдання та роль реконструкції у забезпеченні нормального функціонування систем водопостачання, водовідведення та гідравлічних споруд. Наведено принципи реконструкції насосних станцій, водопровідних станцій очищення, очисних споруд каналізації, водопровідних та каналізаційних мереж, інших споруд та обладнання.

# ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1

## РЕКОНСТРУКЦІЯ ВОДОПРОВІДНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД

### Тема 1 Сучасний стан проблем очищення вод

1. Сучасний стан проблем очищення вод.
2. Задачі реконструкції та інтенсифікації очисних споруд водопроводу.
3. Основні етапи виконання робіт із реконструкції та інтенсифікації.

#### Сучасний стан проблем очищення вод

Основними проблемами водопровідно-каналізаційного господарства в Україні є [1]:

- спрацьованість основних фондів водопровідно-каналізаційних систем;
- надмірні об'єми води, що споживається;
- надмірні витрати енергії;
- низька ефективність очищення води в системах господарсько-питного водопостачання, що не забезпечує бар'єрну роль споруд і постійну відповідність якості очищеної води нормам України;
- недостатня продуктивність очисних споруд систем водовідведення та низька якість очищення стічних вод.

Головна перепона вирішенню цих проблем – нестача фінансових ресурсів. Загальна потреба у капіталовкладеннях протягом найближчих 30-ти років для досягнення наближених до Європейського співтовариства рівня послуг і стандартів приблизно – 22–26 млрд євро (114–135 млрд грн). Капіталовкладення на відновлення експлуатаційної надійності існуючих споруд – 4–6 млрд євро (20–31 млрд грн).

Основним напрямком розвитку водопровідно-каналізаційного господарства (ВКГ) в Україні та світовій практиці зараз є *реконструкція* та *інтенсифікація* споруд.

*Реконструкцією* (від лат. *re* та лат. *constructio* – побудова) називають докорінне перевлаштування, перебудову чогось з метою покращення, удосконалення.

*Інтенсифікацією* (від лат. *intensio*) називають посилення, підвищення напруженості, продуктивності, дієвості, працездатності.

За наближеними оцінками потреба в реконструкції та інтенсифікації в масштабах України складає: 30 % водозабірних, очисних споруд та насосних станцій; 40 000 км водопровідних мереж; 10 000 км каналізаційних мереж; 40 %

каналізаційних насосних станцій; 25 % каналізаційних очисних споруд.

Дуже великі об'єми енергії споживаються у водопровідно-каналізаційному господарстві. Вартість витрат електроенергії складає близько 40–50 % від експлуатаційних витрат водоканалів. Існуючий рівень ефективності насосних агрегатів можна оцінювати в межах 0,4–0,5 млрд кВт·год на рік. У разі використання відповідного сучасного обладнання ця ефективність може підвищитись до 0,7–0,75 млрд кВт·год на рік. Можливий рівень економії енерговитрат у масштабах України може скласти 0,5–1,0 млрд кВт·год на рік.

### **Завдання реконструкції та інтенсифікації очисних споруд водопроводу**

Задачі реконструкції та інтенсифікації водопровідних і каналізаційних споруд можна сформулювати як задоволення підвищених вимог населення і промисловості до кількості та якості води з мінімальними витратами. Водночас постають такі питання:

1. Збільшення або зменшення кількості води, що подається.
2. Покращення якості води, що подається.
3. Скорочення витрат (електроенергії, матеріалів, трудових ресурсів тощо).
4. Підвищення якості очищення стічних вод.
5. Збільшення надійності роботи споруд.
6. Зменшення негативних екологічних наслідків функціонування споруд водопровідно-каналізаційного господарства.

*Збільшення кількості води, що подається* може бути реалізовано шляхом:

- інтенсифікації та (або) реконструкції без будівництва додаткових споруд;
- будівництва додаткових споруд;
- інтенсифікації та (або) реконструкції з додатковим будівництвом.

*Покращення якості очищення води* для господарсько-питних потреб можна здійснити за допомогою:

- зміни технологічного режиму (виду, дози та місця додавання реагентів, режиму промивання фільтрів, збору осадів тощо);
- реконструкції очисної станції та (або) її розширення;
- поєднання попередніх способів.

*Підвищення якості очищення стічних вод* може досягатись:

- розширенням та будівництвом додаткових споруд по всій технологічній лінії очищення стічних вод і обробки осадів;
- реконструкцією та модернізацією споруд механічного та біологічного очищення стічних вод та обробки осаду.

*Скорочення витрат*, тобто покращення техніко-економічних показників роботи споруд ВКГ, можливе за рахунок:

- оптимізації режимів роботи споруд;
- розширення системи водопостачання або водовідведення;
- застосування менш енергоємного обладнання, більш ефективних споруд та реагентів;
- покращення системи управління спорудами ВКГ (створення автоматизованих систем управління)<sup>1</sup>.

*Збільшення надійності роботи споруд* здійснюється шляхом:

- розумного резервування основних споруд та обладнання;
- застосування більш досконалого обладнання і матеріалів (насосів, труб тощо);
- моніторингу основних технічних параметрів для раціонального управління спорудами ВКГ (якості вихідної та очищеної води, тисків у диктуючих точках водопровідних мереж, на вході та виході їхніх насосних станцій, витрат насосів тощо).

Під час реконструкції та інтенсифікації обов'язково повинні бути враховані *екологічні аспекти*. Насамперед це пов'язано зі ступенем очищення стічних вод, скидом їх у водойми, обробкою осаду водопровідних та каналізаційних станцій тощо.

Необхідно зазначити, що в останні роки також постають питання підвищення продуктивності споруд (особливо водопровідних). Це зумовлено такими причинами. По-перше, об'єми промислового виробництва зменшились, і, як наслідок, скоротилась кількість води, що споживається підприємствами. По-друге, норми водоспоживання населення, за якими були запроєктовані існуючі споруди ВКГ, сильно (у 1,5–2 рази) завищені порівняно з європейськими нормами. Так, для будинків із нормальним санітарним благоустроєм (водопровід, каналізація, ванни та централізоване гаряче водопостачання) норма водоспоживання досягає 300–350 л/люд за добу. Водночас у Німеччині фактичне водопостачання складає 150–200 л/люд за добу. Водоканали в останній час здійснюють низку заходів для скорочення витрат води населенням. Насамперед це встановлення квартирних лічильників води. Крім того, підвищуються тарифи на воду.

---

<sup>1</sup> Водночас підвищується і надійність роботи споруд.

## Основні етапи виконання робіт із реконструкції та інтенсифікації

Реконструкція та інтенсифікація споруд ВКГ здійснюється поетапно. Основні етапи цих робіт:

1. Обстеження споживачів з метою визначення фактичного водоспоживання, реальної потреби у воді, а також шляхів скорочення витрат.
2. Аналіз, узагальнення результатів обстеження, визначення розрахункових витрат (добових та годинних).
3. Дослідження існуючих споруд з метою отримання їхніх гідравлічних, технологічних та економічних характеристик.
4. Складання переліку можливих варіантів реконструкції та інтенсифікації.
5. Перевірчі розрахунки за всіма варіантами з метою виокремлення найбільш перспективних та реальних (технічно та економічно).
6. Технологічні вишукування<sup>2</sup> за виділеними варіантами (наприклад, у разі зміни технологічної схеми, застосування нових споруд, реагентів тощо).
7. Детальні розрахунки за виділеними варіантами та техніко-економічні розрахунки за необхідності. Дається техніко-економічна і санітарно-технічна оцінка запропонованих варіантів і ухвалюється остаточне рішення про спосіб реконструкції.
8. Проєктування за кінцевим варіантом.
9. Реалізація проєкту. Під час реалізації варто мати на увазі необхідність забезпечення безперервного подання води в період виробництва робіт із реконструкції та інтенсифікації.
10. Вирішуються проблеми фінансування, визначається очікуваний прибуток або інші показники роботи споруд після реконструкції, опрацьовуються питання використання, утилізації або ліквідації старого обладнання, труб, арматури та інших елементів систем без шкоди для навколишнього природного середовища.
11. Пуск та налагодження споруд.

Реконструкція систем і споруд водопровідно-каналізаційного господарства зазвичай вимагає значних фінансових витрат, великою мірою визначається місцевими умовами і повинна бути ретельно підготовлена, обґрунтована і забезпечена надійним фінансуванням.

---

<sup>2</sup> Технологічні вишукування доцільно здійснювати на пілотних установках, які працюють на природній воді з джерела водопостачання, що використовується.

## **Контрольні питання**

1. Що розуміють під інтенсифікацією споруд?
2. Завдання реконструкції та інтенсифікації споруд водопровідно-каналізаційного господарства.
3. Шляхи вирішення завдань інтенсифікації.
4. Основні етапи виконання робіт із реконструкції та інтенсифікації.

## **Тема 2 Реконструкція водопровідних очисних споруд**

1. Обстеження та аналіз роботи діючих споруд.
2. Основні методи реконструкції водопровідних очисних споруд.
3. Перевірочні розрахунки технологічних і гідравлічних режимів.
4. Методи інтенсифікації роботи очисних споруд.

### **Обстеження та аналіз роботи діючих споруд**

Аналіз роботи діючих очисних споруд починають із вивчення виконавчої проектної документації. Знайомляться з типом і конструкцією споруд, їхніми розмірами, проектними технологічними параметрами, особливу увагу звертають на зміни у конструкції за період експлуатації, ретельно вивчають журнали експлуатації [1].

Потім роблять детальний огляд споруд, проводять спостереження за роботою кожної споруди. Водночас:

- уточнюють габаритні розміри споруд, діаметри комунікацій, відмітки всіх характерних точок висотної схеми;
- ретельно оглядають системи подання і відведення води та осаду;
- фіксують види, дози й точки додавання всіх реагентів, які використовуються на станції;
- визначають витрату всієї станції й окремих споруд;
- оцінюють рівномірність розподілу води між окремими секціями станції й спорудами;
- вимірюють швидкості фільтрування й інтенсивності промивання фільтрувальних споруд, тривалість фільтроциклу;
- будують криву залежності каламутності води в процесі промивання, а також визначають залишкові забруднення завантаження;
- визначають час перебування води у змішувачах, камерах утворення пластівців, відстійниках, час контакту під час знезараження;

- оцінюють за даними експлуатації періодичність і якість продувки (скидання осаду) освітлювачів або відстійників;
- аналізують показники якості води до та після кожної стадії очищення.

Після збору даних про роботу станції виконують перевірочний розрахунок. Ціль розрахунку – визначення фактичної (можливої) продуктивності й швидкостей протікання технологічних процесів і порівняння їх з нормативними даними.

На підставі перевірочного розрахунку виявляють споруди або технологічні процеси, що є «вузькими» місцями станції, тобто такими, які перешкоджають збільшенню подачі або поліпшенню якості обробленої води. Приклад перевірочного розрахунку наведений у [1].

Під час визначення розрахункової продуктивності станції враховують витрати води на власні потреби споруд за даними огляду й вимірювань. Методика розрахунку зводиться до обчислення швидкостей руху води, часу перебування за заданою витраті й вимірних габаритних розмірах споруд. Аналіз результатів розрахунку полягає в порівнянні отриманих технологічних параметрів із нормативними. У випадку невідповідності цих параметрів необхідному технологічному режиму пропонують шляхи реконструкції з урахуванням останніх досягнень у сфері водопідготовки.

### **Основні методи реконструкції водопровідних очисних споруд**

Очисні системи відіграють надзвичайно важливу роль у гарантуванні екологічної безпеки, збереженні водних ресурсів та покращенні якості життя людей. Проте із плином часу значна кількість очисних комплексів спрацьовується, а їхня ефективність зменшується, що вимагає реконструкції та модернізації.

У цьому розділі ми проаналізуємо ключові підстави необхідності оновлення очисних споруд, сучасні технології їхньої модернізації, економічні та екологічні аспекти, а також перспективи розвитку цієї сфери.

Модернізація очисних споруд є процесом оновлення та вдосконалення вже наявних систем очищення вод через впровадження провідних технологій, енергоефективного обладнання та автоматизації процесів. Головна мета модернізації – підвищити продуктивність очисних споруд, зменшити експлуатаційні витрати та гарантувати відповідність новим екологічним вимогам.

Реконструкція очисних споруд передбачає комплекс заходів, спрямованих на відновлення, розширення чи модифікацію наявних об'єктів водоочищення,

які втратили свою ефективність через спрацювання або зміну вимог до якості очищення. Реконструкція може містити заміну спрацьованих елементів, перепроєктування систем очищення, збільшення потужностей та адаптацію споруд до нових екологічних стандартів.

Основні методи реконструкції водопровідних очисних споруд містять ремонти та відновлення залізобетонних конструкцій, заміну обладнання та технологічних процесів, а також покращення функціонування допоміжних споруд та будівель. Важливо також врахувати зміни в технологіях очищення, такі як перехід до біологічних методів та використання більш сучасних систем знезараження, щоб забезпечити високий рівень очистки води.

### **Перевірочні розрахунки технологічних і гідравлічних режимів**

Зі зростанням населеного пункту водопровідна очисна станція перетворюється на слабку ланку в системі водопостачання через неможливість оперативного збільшення її продуктивності. Тому через певні інтервали часу виникає необхідність їх реконструкції або будівництва нових очисних станцій [2].

Основними задачами реконструкції станцій водопідготовки є:

- збільшення їхньої продуктивності;
- покращення якості підготовки води;
- покращення умов роботи для експлуатаційного персоналу;
- підвищення економічності роботи станції.

Із вирішенням цих основних задач пов'язане вирішення низки частинних технологічних, гідравлічних і будівельних задач, які дозволяють збільшити подачу води в систему.

Збільшення подачі води в систему водопостачання можна отримати за допомогою:

- розширення очисних споруд шляхом добудови додаткових блоків таких же, як існуючі, споруд або нових технологічних ліній;
- інтенсифікації роботи існуючих споруд за рахунок покращення технологічного процесу очищення;
- переобладнання одних споруд в інші, більш продуктивні.

За необхідності збільшення пропускної можливості споруд і підвищення ступеня очищення води у скорочений термін перевагу необхідно надавати реконструкції споруд із використанням нових технологій. Це передбачає вимкнення частини споруд на тривалий період, але забезпечує економію капітальних витрат. Якщо період розширення потужності станцій тривалий і

немає можливості вимкнути споруди для реконструкції, то необхідно передбачити будівництво додаткової технологічної лінії.

Удосконалення роботи реагентного господарства забезпечує економію коагулянтів, флокулянтів, електроенергії, трудових ресурсів. Водночас необхідно враховувати, що на коагуляцію завислих речовин впливають довжина трубопроводів, розміри технологічних споруд, тривалість контакту реагентів і послідовність їх додавання, типи реагентів та їх сполучення, коливання фізико-хімічних показників води. Раціональна реагентна обробка води дозволяє підвищити ступінь її очистки.

Інтенсифікація роботи окремих споруд технологічної схеми (одного відстійника, освітлювача, фільтра та інших) дозволяє поступово за допомогою обслуговуючого персоналу дещо збільшити пропускну можливість станції чи ступінь очистки на цій споруді. Цей процес буде відбуватися доти, доки не будуть переобладнані всі споруди цієї схеми. Спосіб інтенсифікації роботи окремих споруд вибирається з урахуванням досконалості технологій, обладнання і матеріалів, які можна використати, їхню дефіцитність, а також необхідність зменшення собівартості води. Інколи (наприклад, під час озонування) досягається значне покращення якості води без зменшення її собівартості, що в окремих випадках буває вирішальним.

До початку розробки проєкту реконструкції необхідно виконати перевірочні технологічні і гідравлічні розрахунки очисних споруд. У процесі цих розрахунків перевіряються значення параметрів окремих споруд: швидкість руху води, час перебування води у спорудах, термін захисної дії, втрата напору в висотній схемі, періоди і об'єми, на які готуються реагенти тощо. Для зручності розрахунків ті формули, які при цьому використовуються, доцільно виразити у явному вигляді для тих параметрів, які нормовані. Такі розрахунки дозволяють виявити можливі резерви пропускну можливості очисних споруд за рахунок збільшення навантаження.

Розглянемо окремі елементи станцій водопідготовки.

У реагентному господарстві технологічний процес забезпечується за рахунок відповідних об'ємів різних баків. Основними параметрами, які можуть вплинути на необхідність зміни об'ємів баків, є час, на який ці баки розраховані, і концентрація розчину в них. Якщо умови готування реагентів не змінюються, то термін, на який вистачить розчину реагенту, визначається за такою формулою:

$$t = \frac{W}{Q}, \text{ год}, \quad (2.1)$$

де  $W$  – існуючий об'єм баків, м<sup>3</sup>;

$Q$  – нова витрата очисної станції, м<sup>3</sup>/год.

Якщо цей термін буде менше 10-ти годин, необхідно перевірити, чи не можна збільшити концентрацію розчину, зберігаючи при цьому той же об'єм баків. Нову концентрацію можна знайти з огляду на такі міркування. Ємність розчинних баків визначається за такою формулою:

$$W = \frac{Q \cdot t \cdot D}{(10\,000 \cdot b \cdot \rho)}, \quad (2.2)$$

де  $Q$  – витрата води, м<sup>3</sup>/год;

$t$  – термін, на який розраховано запас розчину, год;

$D$  – доза реагенту, г/м<sup>3</sup>;

$b$  – концентрація розчину, %;

$\rho$  – щільність розчину реагентів, т/м<sup>3</sup>.

Тоді у разі збільшення витрати, але збереження тієї самої ємності баку, буде справедливою така рівність:

$$\frac{Q_1 \cdot t \cdot D}{10\,000 \cdot b_1 \cdot \rho_1} = \frac{\varphi \cdot Q_1 \cdot t \cdot D}{10\,000 \cdot b_2 \cdot \rho_2}. \quad (2.3)$$

Якщо  $\rho_1 \approx \rho_2$ , отримаємо таке співвідношення:

$$b_2 = b_1 \cdot \varphi, \quad (2.4)$$

де  $b_2$  і  $b_1$  – концентрація розчину у разі збільшеної та існуючої витрати відповідно.

Якщо  $b_2$  буде в межах, що рекомендуються нормативними документами, то об'єм баків збільшувати не потрібно. У випадку збільшення об'ємів баків необхідно перевірити можливість забезпечення технологічного процесу наявним допоміжним обладнанням (повітродувками, дозаторами тощо).

У складах реагентів перевіряється термін, на який вистачить запасів реагентів у разі збільшеної витрати води і реагентів. Зі збереженням умов складання цей термін буде дорівнювати:

$$T_2 = \frac{T_1}{\varphi}, \text{ діб}, \quad (2.5)$$

де  $T_1$  – запас реагенту до реконструкції;

$\varphi$  – коефіцієнт збільшення витрати води.

Якщо термін зберігання реагенту виявиться менше ніж допустимий нормативами, то розглядається питання можливості збільшення висоти

матеріалу, який повинен зберігатися у складі. У випадку неможливості цього необхідно передбачити додаткові склади для зберігання реагентів.

Основним параметром змішувачів, який може вплинути на необхідність улаштування додаткових змішувачів, є витрата напору. Збільшення втрат напору приводить до збільшення рівня води у змішувачах.

$$h = \frac{\xi \cdot v^2}{(2g)}. \quad (2.6)$$

Зі збільшенням витрати у  $\varphi$  разів швидкість також зростає у  $\varphi$  разів. Тоді співвідношення втрат напору зі збільшенням витрати  $h_2$  і втрат напору в початковому положенні буде визначатися за такою формулою:

$$\frac{h_2}{h_1} = \varphi^2. \quad (2.7)$$

Надмірне підвищення рівня води у змішувачах може призвести до переливу води через переливні пристрої або через їхні борти.

У камерах утворення осаду необхідно перевіряти швидкість руху основного потоку, яка зі збільшенням навантаження на камери може привести до руйнування пластівців, що в них сформувалися, а також перевіряти термін перебування в них води. У переділчастих камерах утворення осаду швидкість руху води в коридорах визначається за формулою

$$v = \frac{Q}{(B \cdot H)}, \text{ м/с}, \quad (2.8)$$

де  $B$  і  $H$  – широта і глибина потоку в камері.

Збільшення швидкості визначається за формулою

$$v_1 = \frac{\varphi \cdot Q}{(B \cdot H)}. \quad (2.9)$$

Тривалість перебування води в камерах визначається за формулою

$$T = \frac{60 \cdot W}{Q}. \quad (2.10)$$

де  $W$  – об'єм камер, м<sup>3</sup>;

$Q$  – годинна витрата станції, м<sup>3</sup>/год.

Зі збільшенням витрат тривалість перебування води в камері зменшується до такої величини:

$$T_1 = \frac{60 \cdot W}{(\varphi \cdot Q)}, \text{ хв.} \quad (2.11)$$

Швидкість висхідного потоку на виході з вихрової камери утворення осаду або камери з шаром завислого осаду визначається за такою формулою:

$$v_1 = \frac{\varphi \cdot Q}{(A \cdot B)}, \text{ м/с}, \quad (2.12)$$

де  $A$  і  $B$  – розміри камери в плані, м.

Тривалість перебування води в камерах визначається так, як і в переділчастих та водоворотних камерах.

Розрахункова швидкість висхідного потоку у вертикальному відстійнику перевіряється за такою формулою:

$$v_p = \frac{\varphi \cdot \beta_{об} \cdot Q}{(3,6 \cdot F_{з.о} \cdot N_p)}, \text{ мм/с}, \quad (2.13)$$

де  $\beta_{об}$  – коефіцієнт, який враховує об'ємне використання відстійника (величина його обирається в межах 1,3–1,5);

$F_{з.о}$  – площа зони освітлення одного відстійника, м<sup>2</sup>;

$N_p$  – кількість робочих відстійників, од.

Швидкість випадання завислих речовин у горизонтальному відстійнику перевіряється за такою формулою:

$$U_o = \frac{\varphi \cdot \alpha_{об} \cdot Q}{(3,6 \cdot F_{г.в})}, \text{ мм/с}, \quad (2.14)$$

де  $\alpha_{об}$  – коефіцієнт об'ємного використання відстійника, який обирається рівним 1,3;

$F_{г.в.}$  – площа горизонтальних відстійників, м<sup>2</sup>.

В освітлювачах із завислим осадом визначальною є швидкість висхідного потоку в зоні освітлення, яка у разі збільшеної витрати зростає до величини, що визначається за такою формулою:

$$v_{осв} = \frac{F_{осв}}{(4 \cdot Q \cdot K_{р.в} \cdot 3,6)}, \text{ мм/с}, \quad (2.15)$$

де  $F_{осв}$  – площа зони освітлення, м<sup>2</sup>;

$K_{р.в}$  – коефіцієнт розподілу води між зонами освітлення і відокремлення осаду.

У швидких фільтрах перевіряється величина швидкості фільтрації за нормальної роботи і витрат, що визначається за такою формулою:

$$v_H = \frac{(\varphi \cdot Q + F_\phi \cdot n_{np} \cdot q_{np})}{(F_\phi \cdot T_{cm} - F_\phi \cdot n_{np} \cdot \tau_{np})}, \text{ м/ГОД}, \quad (2.16)$$

де  $F_\phi$  – загальна площа фільтрів, м<sup>2</sup>;

$T_{cm}$  – тривалість роботи станції протягом доби;

$n_{np}$  – кількість промивок одного фільтра протягом доби за нормального режиму експлуатації;

$\tau_{np}$  – час простою фільтра через промивку;

$q_{np}$  – питома витрата води на одну промивку одного фільтра,  $\text{м}^3/\text{м}^2$ .

Швидкість фільтрування за нормального режиму в контактних освітлювачах визначається за такою формулою:

$$v_n = \frac{(\varphi \cdot Q + F_{k.o} \cdot n_{np} \cdot q_{np})}{[F_{k.o} \cdot T_{cm} - F_{k.o} \cdot n_{np} \cdot \tau_{np} - (F_{k.o} \cdot n_{np} \cdot \tau_{cm}/60)]}, \text{ м/год}, \quad (2.17)$$

де  $\tau_{cm}$  – термін скидання першого фільтрату, хв.

Параметри, які одержують в результаті перевірочних розрахунків порівнюють з нормативними. Якщо вони будуть у допустимих межах, споруди пропустять збільшену витрату. Проте такі резерви пропускної можливості невеликі і вони швидко вичерпуються. Тому, крім більш повного використання резервів окремих споруд, використовують різні способи інтенсифікації їхньої роботи.

### Методи інтенсифікації роботи очисних споруд

Для інтенсифікації процесу освітлення і знебарвлення у воду, яку оброблюють, додають розчини коагулянтів. Найбільш розповсюдженим коагулянтом став очищений і неочищений сірчаноокислий алюміній. Водночас більш високі коагулюючі властивості мають коагулянти, що містять сірчаноокисле та хлорне залізо. Проте враховуючи високі корозійні можливості розчинів, необхідність ретельного контролю за дозою реагенту і впровадження коагуляції за більш високих значень рН солі заліза у технологічних процесах освітлення і знебарвлення широко не використовують, але використовують алюмосалізний коагулянт (сірчаноокислий алюміній і хлорне залізо у співвідношенні 1 : 1 за вагою, що відповідає використанню 1 т хлорного заліза на 3 т сірчаноокислого алюмінію). У кожному конкретному випадку це співвідношення можна змінювати, але воно не повинно перевищувати 1 : 2.

Ефективність коагуляції передбачає таку послідовність додавання реагентів: реагенти, що містять хлор, коагулянт, флокулянт, реагенти для підлужування разом із коагулянтами. Найкраща коагуляція під час очищення води річкових рік буває у разі додавання у воду вапняного молока, а потім через 2 хвилини – хлорного заліза, і ще нчерез 10–15 секунд – сірчаноокислого алюмінію. Ефективна коагуляція також у разі спільного подання коагулянту і вапна або вапна після

першого ступеня очистки. У цьому випадку виникає необхідність у виробничих умовах шукати оптимальну точку для подання коагулянту. Водночас його розчин можна додавати як на початку, так і в середину змішувача, в водорозподільні пристрої освітлювачів із завислим осадом, у камеру утворення осаду. Для інтенсифікації процесу коагуляції використовують фракційне, концентроване і перервне коагулювання.

У разі фракційного коагулювання розчин додається двома або кількома послідовними порціями з інтервалом часу між поданням доз коагулянту від 30–60 с до 90–120 с із поділом загальної дози коагулянту на дві приблизно однакові порції або з другою порцією на 65–75 % меншою, ніж перша. Після додавання першої порції бажане інтенсивне перемішування для диспергування продуктів гідролізу. Таке коагулювання дозволяє збільшити на 6–20 % щільність осаду і ступінь очистки води.

Концентроване коагулювання полягає в дозуванні коагулянту тільки в потік, який складає 20–50 % всієї витрати. Наступне змішування коагулюваного потоку з загальним забезпечує прискорене утворення осаду в одній частині води і видалення завислих речовин із коагульованої води після змішування обох частин. Використовуючи цей спосіб, економлять 20–30 % коагулянту.

У разі перерваного чи періодичного коагулювання збільшується тривалість фільтроциклу на фільтрах або контактних освітлювачах з економією коагулянту на 30–40 %. Метод полягає в чергуванні періодів додавання і припинення подачі коагулянту. Водночас період коагулювання обирається орієнтовно в межах 0,5–3 год, а співвідношення періодів додавання і припинення подачі коагулянту складає від 3 : 1 до 0,3 : 1.

Концентрацію сірчаноокислого алюмінію, який додається у воду, обирають в межах до 12 %. Проте дозування коагулянту з концентрацією розчину 0,5–2 % забезпечує швидке утворення пластівців, а з концентрацією розчину 1–3 % залишкова каламутність збільшується. Тому дозування розчину з концентрацією до 3 % не бажане.

Щоб зекономити коагулянт, сірчаною чи соляною кислотою регенерують осад промивних вод. Ефективність регенерації сірчаною кислотою складає 65–85 %, а соляною – 40–75 %. Регенерованого сірчаною кислотою коагулянту необхідно на 15–20 % більше, ніж товарного, а під час регенерації соляною кислотою – стільки ж. Зекономити коагулянт можна, використовуючи флокулянти, які можна додавати як перед освітлювачами з завислим осадом або відстійниками, так і перед фільтрами у двоступеневих схемах очищення або перед контактними освітлювачами в одноступеневих схемах. Додавання

активної кремінної кислоти в кількості 7–10 % дози коагулянту дозволяє в холодний період зменшити дозу коагулянту на 15–20 % за тієї самої продуктивності станції.

У камерах утворення осаду процес утворення осаду інтенсифікується за рахунок зміни швидкостей входу і виходу, впровадження напрямних переділок, зміни часу перебування води в камері за допомогою впуску або випуску її в різних місцях камери, оптимізації хімічної обробки за періодами року. Використання поліакріламиду перед фільтрами з дозою 0,015–0,05 мг/дм<sup>3</sup> підвищує продуктивність фільтрів на 10–60 %.

Вертикальні відстійники у центральній частині мають водоворотну камеру утворення осаду. Для забезпечення рівномірності швидкостей за перетином відстійника необхідно забезпечити рівномірний збір проясненої води. Із цією метою переливна кромка водозбірних лотків повинна бути строго горизонтальною, що на практиці виконати важко. Тому краще її виготовляти з трикутними вирізами з розрахунку швидкості руху води у них 0,6–0,7 м/с або в стінці лотка влаштовувати затоплені отвори діаметром 20–30 мм. Із площею відстійника більше ніж 12 м<sup>2</sup> додатково до периферійного жолоба влаштовують радіальні жолоби.

Нормальній роботі відстійників часто перешкоджає нерівномірне навантаження на окремі секції, яке досягає 50–70 %. Для регулювання подачі води на окремі секції відстійники обладнують п'єзометричними трубками, які показують рівень води на виході з відстійників. Щоб покращити гідравлічний режим відстійника за його довжиною встановлюють дірчасті переділки. Досвід показує, що встановлення переріділок протягом 1/3 довжини відстійника на вході і на виході збільшують час перебування в ньому води і коефіцієнт об'ємного використання у 1,7 разів, а ефект очистки – у 1,3 рази.

У разі обробки води дозами коагулянту більше 40 мг/дм<sup>3</sup> у другій половині горизонтального відстійника в поверхневих шарах створюється «мертва зона», в якій вода може рухатися в зворотному напрямі. Висота «мертвої зони» залежить від швидкості потоку у відстійнику, дози коагулянту і флокулянту і складає 20–80 % всієї глибини відстійника. Ліквідують таку зону за рахунок того, що збір води організовують за більшою площею відстійника. Для цього у поверхні відстійника в другій його половині встановлюється система горизонтальних лотків у вигляді підвісних жолобів або труб, на бокових стінках яких знаходяться затоплені отвори  $d \geq 25$  мм зі швидкістю води у них 1 м/с.

Витрата води, яка надходить у перший жолоб чи трубу, із дозою коагулянта більше ніж 40 мг/дм<sup>3</sup>, вважається рівною:

$$q_1 = 0,7 \cdot q, \quad (2.18)$$

в останній

$$q_{\text{ост.}} = 1,2 \cdot q, \quad (2.19)$$

у проміжний

$$q_i = \frac{q_1 + 0,5 \cdot (m - 1)}{(n - 1)}, \quad (2.20)$$

де  $n$  – кількість жолобів чи труб;

$m$  – порядковий номер жолоба або труби;

$q$  – одинична витрата, м<sup>3</sup>/с.

$$q = K \cdot H \cdot B \cdot 10^{-3}, \quad (2.21)$$

де  $B$  – ширина відстійника, м;

$H$  – глибина зони освітлення, м;

$K$  – коефіцієнт, який обирається рівним 0,44 із горизонтальною швидкістю 5 мм/с і 0,22 зі швидкістю 10 мм/с.

Відстань першого жолоба від вхідної переділки вважається рівною  $l_H = 1/3L$ , але не менше ніж 15 м. Останній жолоб знаходиться на відстані 0,5–1,5 м від вихідної переділки. Відстань між жолобами можна обирати зі швидкістю потоку до 5 мм/с  $l_{жс} = 0,8H$ , а із більшою –  $l_{жс} = 0,4H$ , але не більше ніж 3 м.

Така система відводу дозволяє збирати до 30 % її витрати, яка за якістю перевищує якість води, що проходить звичайний відстійник, або підвищити якість всієї води на 50 %, або підвищити навантаження на відстійник на 20–30 %.

Для інтенсифікації процесу освітлення у воду додають осад із відстійника з дозою 150–180 мг/дм<sup>3</sup>. Водночас хлор і коагулянт додають безпосередньо перед насосами I підйому, а шлам через дірчасту трубу в змішувач. Така система дозволяє зменшити каламутність і кольоровість на 20–90 %.

Головними факторами, які підвищують ефективність роботи освітлювачів, є:

- оптимальність для цих умов якості та кількості вхідної води;
- хімічний склад, структура і умови існування завислого шару;
- ефективність збірно-розподільчої системи.

Освітлювачі з шаром завислого осаду дуже чутливі до різкого коливання висхідної швидкості і витрати, які у разі їхнього збільшення спричиняють інтенсивне винесення осаду в зону освітленої води. Тому збільшення витрати води, яка подається на освітлювач, не повинна перевищувати 15 % на годину. Для створення оптимальної концентрації шару завислого осаду і мінімальної витрати води на власні потреби видалення осаду і продувки освітлювача здійснюють один раз на 1–1,5 місяця. Такий режим продувки може погіршити

бактеріологічні показники води, призводить до появи присмаків і запахів. Внаслідок цього рекомендується продувка освітлювача один раз на 4–6 днів.

Продуктивність освітлювачів підвищують на 12–15 % поданням вихідної води в ущільнювач осаду. Вхідна вода, яка змішується з коагулянтном, у кількості 8–10 % від тієї, що надходить в освітлювач, подається в ущільнювач осаду, забезпечуючи надходження частини осаду в зону освітлення, що дозволяє збільшити швидкість висхідного потоку, а отже, і продуктивність освітлювача.

В освітлювачах із шаром завислого осаду для гасіння швидкісного напору труби, які розподіляють воду, присипають щебнем крупністю 30–50 мм і висотою 100–120 мм. Це дозволяє більш рівномірно розподіляти воду і також збільшує продуктивність освітлювача у 1,5 рази.

Досвід реконструкції багатьох фільтрувальних станцій показує, що можна досягти підвищення більше, ніж на 30 %, пропускної можливості фільтрів у разі одночасного збільшення крупності зерен завантаження і її товщини за рахунок збільшення швидкості фільтрування в оптимальному режимі до 10 м/год із тривалістю фільтроциклу до 8-ми годин. Зі збільшенням еквівалентного діаметра зерен завантаження на 0,15 мм товщина шару фільтрувального завантаження повинна збільшуватися орієнтовно на 0,5–0,7 м. Таке підвищення на діючих очисних станціях можливо у разі видалення підтримуючих шарів і заміни дренажної розподільчої системи.

Інколи позитивний ефект дає фільтрування води зі змінною швидкістю, яка зменшується. Це підвищує пропускну можливість фільтрів на 25–50 %. Водночас питомі витрати води на промивку не збільшуються, а якість води перебуває в межах стандарту. Пояснюється це тим, що швидкість потоку в порах завантаження підтримується постійною за рахунок поступового замулювання простору пор і скорочення пористості за час фільтрування. Окрім того, не потрібно встановлювати надмірно великий діапазон зміни швидкостей фільтрування. Орієнтовно для завантаження еквівалентним діаметром зерен піску 0,7–0,8 мм її можна встановити на початку циклу 7 м/год, а в кінці – 5,5 м/год, для завантаження з еквівалентним діаметром її зерен 0,8–1,0 мм – на початку 9,5 м/год, а в кінці – 7 м/год.

Звичайні швидкі фільтри можна просто переобладнати у двошарові фільтри. В якості завантаження двошарових фільтрів використовується кварцовий пісок і антрацитова крихта. Оптимальне співвідношення фракцій антрациту і піску можна обрати рівним  $d_{антр.макс.} = 2,9d_{п.мін.}$ . Для виключення змішування шарів повинно приблизно підтримуватися таке співвідношення:

$$d_{\text{антр.макс}} = K \cdot d_{n.\text{мін}} \sqrt{\frac{(\gamma_n - 10)}{(\gamma_{\text{антр}} - 10)}}, \quad (2.22)$$

де  $d_{\text{антр.макс}}$  – максимальний діаметр зерен антрациту, мм;

$d_{n.\text{мін}}$  – мінімальний діаметр зерен піску, мм;

$\gamma_{\text{антр}}$  і  $\gamma_n$  – насипна щільність антрациту і піску відповідно у кг/м<sup>3</sup>;

$K$  – коефіцієнт, який обирається залежно від крупності піску,  $K = 1,8\text{--}2,2$ .

Межа шарів піску і антрациту повинна бути чіткою. В іншому разі збільшується опір завантаження і зменшується ефективність його роботи. Брудоемність такого завантаження у 1,5–4,0 рази більша, ніж завантаження звичайного швидкого фільтра, і не менша ніж брудоемність двопотокового. Витрата промивної води практично така ж, як і у швидкого фільтра з кварцовим завантаженням, і на 20 % менша, ніж у двопотокового. Під час промивання двошарового фільтра необхідно поступово зменшувати і збільшувати її інтенсивність, що запобігає перемішуванню шарів завантаження на межі їх розподілу. Товщина верхнього шару з антрациту або активованого вугілля обирається рівною 0,4–0,5 м.

У разі заміни кварцового піску в фільтрах на нові фільтрувальні завантаження з більшою поруватістю і більш високим коефіцієнтом форми зерен забезпечуються більш високі технічні показники. В оптимальному режимі за однакових швидкостей фільтрування і товщини шарів керамічне завантаження дає тривалість фільтроциклу на 30 % більшу порівняно з піщаною, а роздроблений керамзит збільшує тривалість фільтроциклу ще на 25 %. Порівняння оптимальних режимів фільтрування для завантаження з кварцового піску і вулканічних шлаків крупністю 1,0 мм показує, що із тривалістю фільтроциклу в 12 годин оптимальна швидкість фільтрації через піщане завантаження складає 6,3 м/год, а через вулканічні шлаки – 10,3 м/год. Під час фільтрування води зі вмістом завислих речовин до 300 мг/л через завантаження із зерен 1–2 мм і швидкістю 5 м/год (фільтрація знизу вгору) тривалість фільтроциклу в завантаженні з горних порід дорівнює 30-ти годинам, у той час як з кварцовим завантаженням – тільки 16. Таким чином, заміна кварцового завантаження в швидких фільтрах на нове не буде вимагати змін у конструктивному оформленні фільтра, а збільшить тривалість фільтроциклу, швидкість фільтрації, якість фільтрату і продуктивність станції. Вартість завантаження фільтрів із нових матеріалів на 20 % нижча ніж вартість завантаження з кварцового піску.

Інтенсифікація і оптимізація роботи фільтрів досягається також удосконаленням режиму промивки фільтра та покращенням роботи його дренажної системи.

Підвищити ефективність роботи контактних освітлювачів можна двома шляхами:

– покращенням фізико-хімічних показників вихідної води за рахунок попереднього її очищення і обробки різними реагентами;

– удосконаленням конструкції контактного освітлювача.

Основним шляхом інтенсифікації процесу очистки води в контактних освітлювачах є використання крупнозернистого завантаження підвищеної товщини без підтримуючих шарів із водоповітряною промивкою і низьким відводом промивної води (рис. 2.1).

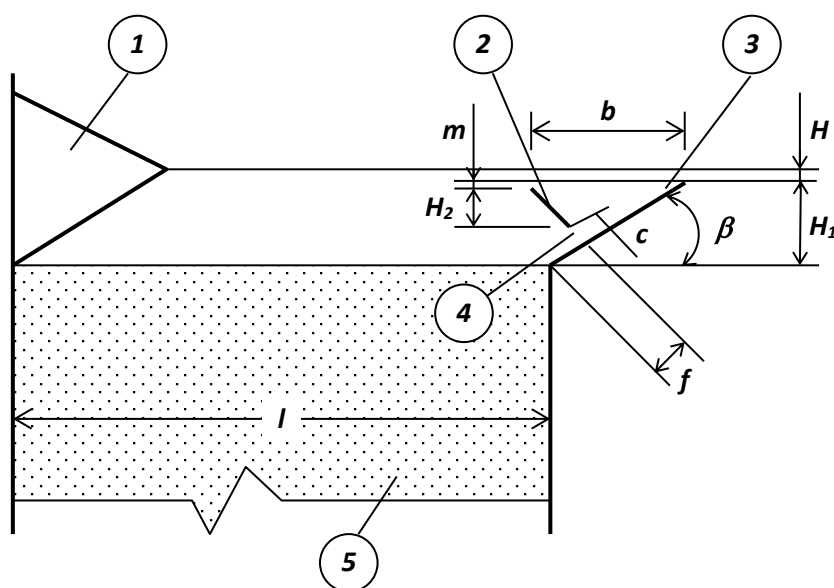


Рисунок 2.1 – Схема промивного пристрою з горизонтальним відведенням промивної води:

- 1 – струмененаправляючий виступ або труба для створення транспортувальних швидкостей на початку потоку; 2 – відбійна стінка; 3 – переливна стінка піскоуловлюючого жолоба; 4 – щілина для повернення затриманого піску; 5 – фільтрувальне завантаження

Водоповітряна промивка з низьким відводом промивної води не дозволяє розширюватися завантаженню під час промивки, забезпечує статичну стійкість зернам завантаження протягом всієї промивки. За низького горизонтального відведення води промивний її потік, який виходить із завантаження, змінює свій напрям із вертикального на горизонтальний і малим шаром (товщиною 0,15–

0,25 мм) рухається до переливної кромки, транспортуючи забруднення, які виходять із завантаження. Швидкість на початку потоку повинна бути не меншою за 0,005 м/с, що досягається облаштуванням стінки з ухилом, яка на початку потоку збільшує його дійсну швидкість. Винесення піску разом із промивною водою попереджається піскоуловлюючим жолобом [2].

Розрахунок такого пристрою виконується так:

1. Визначається різниця вертикальних позначок верхніх і нижніх кромок стінок першого піскоуловлюючого жолоба  $H_1$ , м, за такою формулою:

$$H_1 = \frac{b}{2} + f \cdot \sin\beta + \frac{m}{2}, \quad (2.23)$$

де  $b$  – ширина піскоуловлюючого жолоба:

$$b = \frac{1,18 \cdot W \cdot l}{w}, \quad (2.24)$$

$W$  – інтенсивність подання промивної води у  $\text{м}^3/(\text{с} \times \text{м}^2)$ ;

$l$  – довжина горизонтального потоку води, м;

$w$  – гідравлічна крупність заданої фракції піску, м/с;

$f$  – умовна відстань від завантаження до жолоба,  $f = 30\text{--}40$  мм;

$\beta$  – кут ухилу стінок жолоба до горизонтальної площини,  $\beta = 40^\circ\text{--}50^\circ$ ;

$m$  – різниця позначок між верхніми кромками переливної стінки піскоуловлюючого жолоба і відбійної стінки.

2. Визначається різниця позначок верхніх і нижніх кромок відбійної стінки за такою формулою:

$$H_2 = \frac{b}{2} + (f - c) \cdot \sin\beta + \frac{m}{2}, \quad (2.25)$$

де  $c$  – ширина щілини,  $c = 10\text{--}20$  мм.

3. Визначається напір на водозливі за такою формулою:

$$H = 0,465 \cdot (W \cdot l)^{2/3}. \quad (2.26)$$

У разі водоповітряної промивки з низьким відводом промивної води передбачається такий режим промивки:

– продувка завантаження повітрям з інтенсивністю його подання 2,3–2,7 л/(с×м<sup>2</sup>) протягом 2-х хвилин;

– сумісна водоповітряна промивка під час подання води і повітря з інтенсивністю подання 2,3–2,7 л/(с×м<sup>2</sup>) протягом 6-ти хвилин;

– промивка тільки водою з інтенсивністю 5,5–6,0 л/(с×м<sup>2</sup>) протягом 5–6 хвилин.

## Реконструкція споруд для відстоювання та освітлення

### *Реконструкція відстійників*

Основні способи інтенсифікації роботи споруд I ступеня очищення води такі [1]:

1. Поліпшення рівномірності розподілу води за перерізом споруди.
2. Використання контактного завантаження.
3. Застосування механічних камер утворення пластівців.
4. Установка тонкошарових модулів (ТМ).
5. Рециркуляція осаду.
6. Спільне використання рециркуляторів і ТМ.
7. Вдосконалення систем видалення осаду.
8. Реконструкція відстійників (освітлювачів) у флотатори.

*Поліпшення рівномірності розподілу подання та збору води.* Ефект освітлення у відстійниках і освітлювачах із шаром завислого осаду істотно залежить від рівномірності роботи систем розподілу й збору води. Оцінка роботи останніх здійснюється за коефіцієнтом об'ємного використання або шляхом відбору проб води в різних точках за площею або висотою споруди й визначення в них, наприклад, лужності (під час коагулювання води лужність змінюється пропорційно доданій дозі коагулянту, тому у разі рівномірного розподілу потоку лужність приблизно однакова). Існує кілька способів поліпшення рівномірності розподілу води. Наприклад, встановлюють пристрій бетонного відкосу в каналі, що подає воду в горизонтальний відстійник для вирівнювання витрат окремих секцій. У разі точкової подачі води в споруду поліпшити рівномірність входу можна за допомогою встановлення струмонапрямого щита.

У горизонтальних відстійниках із вихровими камерами утворення пластівців під час відведення води жолобами спостерігається порушення роботи відстійника. Для відхилення потоку вниз і поліпшення рівномірності подачі варто встановлювати підвісну стінку.

*Використання контактного завантаження* не тільки сприяє рівномірному розподілу потоку, але й поліпшує процес формування пластівців.

Спочатку в якості контактної середовища використовували гравій, завантаживши його на розподільну систему камери реакції із шаром завислого осаду. Водночас істотно поліпшувався ефект відстоювання.

Однак із часом було відзначено погіршення мікробіологічних показників якості води. Передбачалось, що пластівці будуть утворюватись на поверхні гравію й змиватись висхідним потоком. Але виявилось, що повного змиву не відбувається. Для промивання довелося зупиняти відстійник і вручну промивати

гравійне завантаження. Тому пізніше в якості контактної середовища стали використовувати плаваюче грубозернисте завантаження. Контактне завантаження розташовують у зоні розподілу в робочих коридорах освітлювачів із шаром завислого осаду, у камерах утворення пластівців. Промивання такого завантаження здійснюється шляхом скидання води з освітлювача, під час якого завантаження розширюється вниз.

Параметри для розрахунку таких споруд наведені в [1]. Промивання контактної завантаження відбувається під час скидання води зі споруди, яке розширюється вниз. Під час проектування треба звернути увагу на створення утримуючих решіток, розрахованих на силу спливання плаваючого завантаження, і на запобігання винесення під час промивання через розподільну систему.

Інший пристрій – це водоворотна камера утворення пластівців, в якій встановлюється дві утримувальні решітки. Між ними розташовується плаваюче завантаження крупністю 20–30 мм і висотою 700 мм.

Під час реконструкції горизонтального відстійника монтують додаткову систему трубопроводів, що подають воду та скидний трубопровід для промивання контактної завантаження.

Установка *тонкошарових модулів*. Відомо, що зменшення висоти зони осадження призводить до збільшення ефекту відстоювання води.

За малої висоти потоку істотно скорочується довжина траєкторії, на якій випадають частки. Частки, що випали в осад, завдяки нахилу модуля<sup>3</sup> сповзають на дно відстійника. Крім того, через малу товщину потоку він ламінаризується, що також сприяє підвищенню ефекту очищення.

На сьогодні існують фірми, що постачають тонкошарові модулі (ТМ) різної конфігурації. Збільшення продуктивності у разі їхнього використання можливо в 1,5–2 рази. Однак варто мати на увазі, що ефективність роботи ТМ залежить і від таких факторів, як якість підготовки пластівців, що надходять на осадження, рівномірності збору й розподілу води, надійності системи видалення осаду. Тому під час реконструкції освітлювачів або відстійників необхідно підвищити ефективність камери утворення пластівців, збільшити коефіцієнт об'ємного використання цих споруд. Накопичення осаду під ТМ може призвести до різкого погіршення якості відстоюної води.

Під час реконструкції варто враховувати такі рекомендації:

– висота захисної зони від осаду до модуля у вертикальному відстійнику – 1,5 м, у горизонтальному – 1 м;

---

<sup>3</sup> Кут нахилу обирається звичайно рівним приблизно 60°, що відповідає куту природного відкосу коагульованого осаду природних вод.

- висота зони збору освітленої води не менше ніж 0,4–0,5 м;
- необхідно забезпечити рівномірність збору й розподілу води по всій площі установки модулів;
- варто перевірити систему й періодичність скидання осаду, тому що його накопичення під ТМ погіршить їхню роботу;
- під час встановлення ТМ у горизонтальних відстійниках необхідно вживати заходів для поліпшення процесу утворення пластівців;
- у низці випадків необхідно встановлювати вертикальні переділки для усунення горизонтальних перетікань;
- промивання ТМ повинно здійснюватись не рідше ніж один раз на місяць.

ТМ, що встановлюються в зоні завислого осаду в робочих коридорах освітлювачів або в камерах утворення пластівців, забезпечують рівномірний розподіл води, що освітлюється, і збільшують коефіцієнт об'ємного використання до 0,9–0,92 (звичайно 0,65–0,7). Відповідно поліпшується якість освітленої води та збільшується продуктивність у 1,3–1,7 рази. Порівняно із традиційною флокуляцією в об'ємі завислий шар, утворений у замкненому просторі ТМ, характеризується більш високою концентрацією твердої фази й стійкістю до змін якості вихідної води й навантаження на споруди.

Останнім часом іноді рекомендують встановлювати дві гілки ТМ: над розподільною системою і під вікнами в осадоущільнювачі, що збільшує періодичність скидання осаду й зменшує витрату води, що скидається, водночас підвищується щільність осаду.

На ріках із висококаламутними водами можливе влаштування плавучого водозабору з тонкошаровими модулями.

*Рециркуляція осаду.* У періоди із низькою температурою й малої каламутністю сирі води для стабілізації завислого фільтра й поліпшення процесу коагулювання було запропоноване штучне закаламутнювання води. Спочатку осад із зони ущільнення насосом подавали в трубопровід подання води на споруди. На сьогодні в освітлювачах і камерах реакції встановлюють рециркулятори.

Основні рекомендації для проектування:

1. Зона дії рециркулятора осаду (відстань між рециркуляторами) – 3–3,5 м.
2. Швидкості руху води: у розподільнику – 0,5 м/с, у патрубку – 1,3 м/с, виходу із сопла – 2 м/с, у проміжку й на виході з напрямного апарату не більше ніж 0,5 м/с.
3. Втрати напору в ежекторі – 0,15–0,2 м.

4. Діаметр циліндричної частини змішувача 2,5–2,8 діаметри патрубка; діаметр конфузора 1,2–1,25 діаметра циліндричної частини.

5. Висота завислого фільтра освітлювача від низу напрямного апарату до краю вікна, що приймає осад – 1,8–2,2 м [1].

Рециркулятори монтують у зоні завислого фільтра в освітлювачах із шаром завислого осаду або в камерах реакції, вбудованих у горизонтальні відстійники. Установка рециркуляторів дозволяє збільшити продуктивність на 30–60 %.

Протягом останніх років для поліпшення роботи першого ступеня освітлення *використовують рециркулятори й ТМ спільно* в камерах утворення пластівців й освітлювачах із шаром завислого осаду. З наведених досліджень [1, 4] про застосування тонкошарово-ежекційної камери, можна зробити висновок, що водночас відбувається повернення у воду, що освітлюється, найбільш адгезійно-активних пластівців.

Рециркулятори низьконапірні: швидкість на виході із сопла 1–5 м/с, напір до 6 м. ТМ встановлюють над рециркуляторами на висоті не менше 0,8–1,0 м. Рециркулятори в цьому випадку виконують малогабаритними, без напрямного стакану.

Створення ТМ, рециркуляторів, контактного утворення пластівців привело до розробки нових конструкцій камер утворення пластівців:

- контактних;
- тонкошарових;
- тонкошарово-ежекційних;
- рециркуляційних.

Нижче наведені сучасні конструкції освітлювачів з шаром завислого осаду та горизонтальних відстійників, освітлювачів коридорного типу з примусовим відсмоктуванням осаду.

У робочих коридорах змонтовані ТМ утворення пластівців в зоні розподілу потоку, у захисному шарі – ТМ відстоювання, що забезпечує стабільну роботу завислого фільтра, що майже не залежить від коливань якості сирової води. В ущільнювачі осаду також встановлені ТМ: у зонах освітлення води й ущільнення осаду. Верхні ТМ поліпшують розділення води й пластівців зависі, нижні сприяють підвищенню щільності осаду й зменшенню навантаження на споруди з оброблення осаду.

Водоворотні камери реакції, вбудовані у вертикальні відстійники, можна реконструювати в контактні в умовах обробки малокаламутних холодних вод. Подачу води здійснюють зосереджено. Встановлюють дві підтримуючі решітки, між якими завантажують плаваючий зернистий матеріал. Під час скидання осаду

з відстійника одночасно відбувається промивання цього плаваючого завантаження.

Також є горизонтальний відстійник із ТМ і вбудованою тонкошарово-ежекційною камерою утворення пластівців.

У трубопроводі, що подає, врізані патрубки із соплами, разом з якими монтують низьконапірні рециркулятори. На відстані не менше за 0,8–1,0 м розташовують ТМ утворення пластівців. Збір відстоюної води виконують по всій площі відстійника, що забезпечує рівномірний розподіл води між ТМ відстоювання. Підвісна стінка повинна бути нижче ніж ТМ відстоювання. Низ ТМ у зоні освітлення варто розташовувати не ближче ніж 1,0 м від верху осаду [3].

Відомо, що освітлювачі з шаром завислого осаду досить чутливі до коливань якості сирової води й продуктивності. Для збільшення стабільності роботи освітлювачів у робочих коридорах встановлюють рециркулятори. Монтаж ТМ у зоні ущільнення осаду дозволить зменшити вологість осаду, що скидається.

У камері реакції зашламованого типу змонтовані рециркулятори. Водночас потрібна реконструкція розподільчої системи: дірчасті розподільники замінюють трубопроводом із соплами, разом з якими монтують рециркулятори.

На ріках з висококаламутними водами можливе влаштування плаваючого водозабору з тонкошаровими модулями [3].

*Реконструкція систем видалення осаду.* Дірчасті системи для видалення осаду не завжди забезпечують достатню продувку відстійників. У цих випадках рекомендуються донні клапани або напірний гідрозмив. Застосування донних клапанів вимагає реконструкції днища споруди. У дні відстійника влаштовують перекинуті бункери, під якими прокладають лоток або трубу для видалення осаду.

Управління донними клапанами виводять на перекриття відстійника, що потребує влаштування коридору для обслуговування.

Система гідрозмиву [1] рекомендується під час оброблення каламутних вод. Із шириною відстійника 6 м укладають три труби (рис. 2.3), в яких монтують насадки через 1 м, а в кінці (1/4 довжини) – через 1,5 м. Насадки бронзові, діаметр сопла 10 мм, довжина 60 мм. Для типового відстійника шириною 6 м і довжиною 45 м необхідний насос продуктивністю 270 л/с із напором 60–70 м. Для змивання осаду можна використовувати сиру воду або промивну воду швидких фільтрів.

*Флотація.* Для малокаламутних кольорових вод, а також за наявності фіто- і зоопланктону можлива реконструкція відстійників у флотатори [3]. Флотація менш чутлива до зміни якості води, під час флотації краще видаляються мікроорганізми, у 2–3 рази менші втрати води. Під час флотації можна використовувати озон,

досягаючи одночасно й дезодорації. Однак тут потрібна установка компресорів і можуть виникнути складнощі з видаленням шламу-піни.

#### *Реконструкція освітлювачів із завислим осадом*

Найбільш просто здійснюється реконструкція освітлювачів зі зваженим осадом коридорного типу конструкції «Водоканалпроект».

Суть реконструкції полягає в тому, що за допомогою впроваджених у конструкцію освітлювача пристроїв здійснюється рециркуляція частини осаду, що утворюється під час освітлення води, що призводить до збільшення концентрації суспензії в очищуваній воді, концентрації твердої фази в одиниці об'єму зваженого шару і в кінцевому підсумку дозволяє збільшити швидкість висхідного потоку (а отже, і продуктивність освітлювача) за одночасного поліпшення якості очищеної води. Такий освітлювач зі зваженим осадом називають рециркулятором. Загальна схема рециркулятора подана на рисунку 2.2. Конструкція і принцип дії практично не відрізняється від конструкції і принципів звичайного освітлювача зі зваженим осадом за винятком пристрою, що збільшує концентрацію суспензії у вихідній воді та складається з ежектора (5) і сопла (4), а також змішувача (2) і камери утворення пластівців (3), виготовленої з металу.

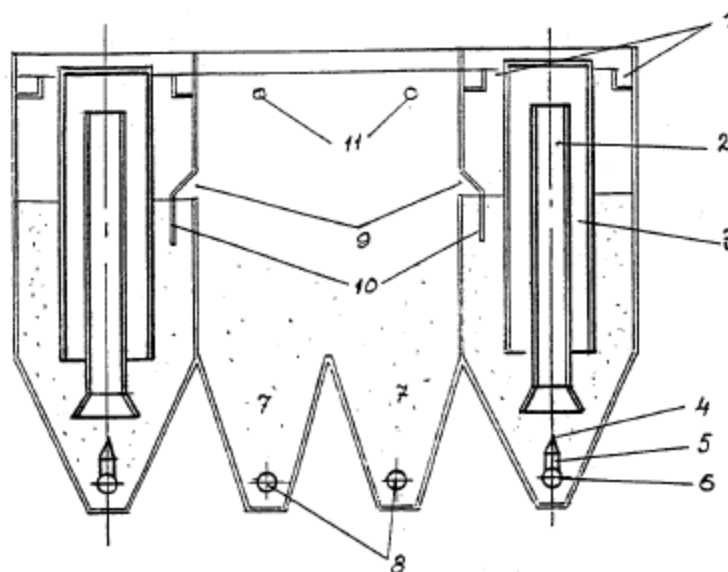


Рисунок 2.2 – Схема освітлювача-рециркулятора:

- 1 – водозбірний жолоб; 2 – змішувач; 3 – камера утворення пластівців;
- 4 – сопло; 5 – ежектор; 6 – труба, що подає; 7 – мулоуцільнювач;
- 8 – мулопровід; 9 – вікна; 10 – захисні козирки; 11 – водозбірні труби

Під час руху води з трубопроводу, що подає (6) через ежектори засмоктується частина осаду, що раніше випав у конічній частині камери освітлювача, завдяки чому збільшується концентрація суспензії у воді, що

надходить на очищення. Зі струменя спрямовального сопла вода надходить у змішувач (2) і, рухаючись у напрямку знизу вгору, перемішується з осадам, що надійшов через ежектор. Виливаючи зі змішувача (2) у верхній його частині, вода надходить у камеру утворення пластівців, рухається в напрямку зверху вниз, на виході з камери змінює напрямок руху на протилежний і надходить у нижню частину зваженого шару. Далі процес освітлення води і відведення надлишкового осаду відбувається так само, як у звичайному освітлювачі зі зваженим осадом.

Підвищення концентрації суспензії воді, що очищується описаним способом дозволяє збільшити концентрацію твердої фази зваженого шару майже у 10 разів, що, зі свого боку, сприяє підвищенню продуктивності освітлювача і якості очищеної води. Концентрація суспензії в очищеній воді зазвичай не перевищує 2–3 мг/дм<sup>3</sup> (тобто за каламутністю вона майже питна), продуктивність освітлювача зі зваженим осадом збільшується більше ніж у два рази.

#### *Реконструкція фільтрів*

Фільтрування через зернистий шар повсюдно використовується як завершальний спосіб розділення суспензій під час підготування води для комунального, промислового й сільськогосподарського водопостачання. На водоочисних станціях фільтри – найбільш дорогі й складні споруди. Дослідники багатьох країн довгий час вивчають фільтраційний процес і способи його інтенсифікації. Ця проблема актуальна й зараз.

Можна запропонувати таку класифікацію методів і засобів інтенсифікації роботи фільтрувальних споруд [1]:

1. Фільтрування в напрямку крупності зерен, що зменшується.
2. Фільтрування зі зменшеною за потоком швидкістю.
3. Фільтрування зі зменшеною за часом швидкістю.
4. Використання фільтрувальних матеріалів із високою поруватістю й розвиненою поверхнею.
5. Удосконалювання способів і режимів попередньої реагентної обробки води.
6. Підвищення ефективності процесу регенерації завантаження
7. Удосконалювання конструкцій елементів фільтра.

#### *Фільтрування в напрямку крупності зерен, що зменшується*

Основна перевага цього способу полягає в тому, що забруднення глибше проникають у шар, в результаті чого збільшується ступінь використання

грязеємності завантаження, зменшується темп приросту втрат напору. Метод реалізований у конструкціях дво- і багат шарових фільтрів, контактних освітлювачів, двопоточних і двоступінчастих фільтрів [1].

У двошарових фільтрах довгі роки використовувалося завантаження з антрациту й кварцового піску. Поява нових фільтрувальних матеріалів значно розширює можливості застосування таких фільтрів. Так, керамзит в якості верхнього шару рекомендується. Двошарові фільтри в схемах з попереднім відстоюванням ефективні під час оброблення води з переважним вмістом мінеральних домішок. Серйозні ускладнення виникають під час очищення малокаламутних висококольорових холодних вод. Тут, внаслідок «млявої» коагуляції з відстійників на фільтри потрапляють пластівці гідроокису алюмінію або заліза з малою адгезійною активністю.

Не завжди вдалий досвід застосування прямоточних фільтрів, на які вода надходить без попереднього відстоювання. Тут, у випадку утворення пластівців у надзавантажувальному шарі, переваги двошарових фільтрів губляться через неоднаковий час надходження води на різні ділянки завантаження. Так, на фільтрі площею 40 м<sup>2</sup> така різниця за часом досягає 15–20 хв. Адгезійна активність гідроокису алюмінію (заліза) швидко знижується в перші 30 хв. У результаті різні ділянки площі фільтра кольматуються по-різному. Ліквідація гідродинамічних неоднорідностей за рахунок різних додаткових опорів поліпшує роботу фільтрів.

Відомий позитивний досвід роботи багат шарових фільтрів. Ж. Ланглі, Т. Дувал досліджували антрацито-кварцево-гранатове завантаження (щільності – 1,5–2,6–3,9 г/см<sup>3</sup>). С. Моханка описав роботу п'ятишарового фільтра (кварц-гранат-магнетит). В. Конлей як найбільш важкий шар використовував ільменіт (щільність 4,2 г/см<sup>3</sup>). Е. Г. Петровим досліджені роботи тришарових фільтрів із завантаженням з полістиролу, керамзиту, кварцового піску. Головною перешкодою у використанні таких фільтрів є труднощі у підборі фільтрувальних матеріалів із заданою гранулометриєю.

Найбільш вдало переваги фільтрування у напрямі крупності, що зменшується реалізуються у контактних освітлювачах із висхідним потоком води й завантаженням великої неоднорідності. Контактні освітлювачі, запропоновані в СРСР у 1953 р., широко застосовуються у вітчизняній і зарубіжній практиці. У цей час успішно експлуатуються станції продуктивністю до 1 млн м<sup>3</sup>/добу. За рахунок ефективного використання грязеємності неоднорідного завантаження ці споруди працюють у разі каламутності

оброблюваної води до 100–150 мг/л і кольоровості до 190 градусів. Застосування флокулянтів розширює цю межу до 300 мг/л [1].

Менше застосовуються у практиці двопотокові фільтри АКГ, запропоновані у 1949 році. Тут вода, що очищується, фільтрується одночасно зверху й знизу й відводиться дренажем, розташованим у товщі завантаження. Продуктивність фільтрів АКГ у 1,5–2 рази вище, ніж продуктивність одношарових фільтрів і контактних освітлювачів. Недоліками цих споруд є недосконалість дренажу, розташованого в товщі дрібнозернистого завантаження, а також складність конструкції й експлуатації. Застосування у двопотокових фільтрах двошарового завантаження, поруватих дренажів відкриває нові можливості їхнього високоефективного використання.

Фільтрування в напрямку крупності зерен, що зменшується успішно реалізується також у двоступінчастих фільтрах – у фільтрах першого ступеня крупність вище, ніж у фільтрах другого.

Звичайно таку схему використовують у разі більших грязьових навантажень, коли одноступінчасте фільтрування неефективне, а відстійники (або освітлювачі зі завислим осадом) працюють погано. Для очищення мутних вод (200–1 000 мг/л) використовують кілька незалежних груп двоступінчастих фільтрів; кожна з них промивається під час погіршення якості фільтрату на другому ступені, фільтри працюють зі швидкістю фільтрування 6–10 м/год.

Застосування двох ступенів контактних освітлювачів із крупно- і дрібнозернистими завантаженнями дозволило очищувати висококаламутні води (до 1 500 мг/л) без використання коагулянтів: швидкості фільтрування на першому і другому ступенях відповідно 3 м/год і 1,5 м/год, тривалість фільтроциклу – 72–96 год [1].

Для очищення висококольорових, малокаламутних холодних вод (каламутність не більше 250–300, кольоровість не більше 150–200) розроблена схема двоступінчастого фільтрування: перший ступінь – контактні освітлювачі експлуатуються за межами часу захисної дії завантаження, а другий ступінь – швидкі фільтри з низхідним потоком.

Відомо, що перші 15–30 см завантаження швидко припиняють очищувати воду до питних кондицій, однак вони довго продовжують затримувати основну частину забруднень: пасивні зони завантаження мають у кілька разів більшу ємність, ніж активні зони. Більша грязеємність фільтрів першого ступеня дозволяє збільшити швидкість фільтрування або подовжити фільтроцикл. Двошарові фільтри другого ступеня працюють у більш сприятливих умовах; адгезійна активність пластівців гідроокису алюмінію (заліза), що надходять із

фільтрів першого ступеня вище, ніж з відстійників. Крім того, у цьому випадку легше вирішується висотна схема – можливе розташування цих висхідних і низхідних фільтрів в одній суміжній споруді.

У разі двоступінчастого фільтрування схема містить барабанні сітки, контактні освітлювачі й швидкі фільтри. Додавання реагентів здійснюють за допомогою перфорованих розподільників, тут можливі дробовий або переривчастий режим коагулювання. Використовується контактний освітлювач типу КО-3 із водоповітряною промивкою – еквівалентний діаметр завантаження 1–1,1 мм, коефіцієнт неоднорідності 2–2,2, відносна щільність 2,6–2,65, висота шару 2–2,2 м. Тривалість фільтроциклу приблизно 12 год, швидкість за нормального режиму 6,5 м/год, за форсованого – 7,5 м/год. Швидкість фільтрування для швидких фільтрів другого ступеня на 15–20 % більше за рекомендовану у [1].

#### *Фільтрування зі зменшеною за потоком швидкістю*

У разі такого способу очищення через більш високу швидкість у перших шарах фільтрації забруднення проникають глибше у завантаження, ступінь використання її грязеемності зростає. Реалізується цей метод у фільтрах із перерізом, що збільшується в напрямку потоку, із вертикальним або горизонтальним рухом води. Існують установки освітлення води, у яких сполучені вертикальний відстійник і фільтр зі зменшеною за потоком швидкістю.

#### *Фільтрування зі зменшеною за часом швидкістю*

Швидкі фільтри традиційно експлуатувалися в режимі постійної швидкості фільтрування з використанням різних систем регулювання витрати води. Відомі недоліки способу: регулятори швидкості фільтрування часто виходять із ладу, у разі ручного регулювання витрати наявні різкі стрибки швидкості, що відбивається на якості фільтрату. Під час роботи фільтрів зі змінною швидкістю подання вихідної води здійснюють із загального трубопроводу, розташованого нижче за робочий рівень води у фільтрах, що робить їх гідравлічно взаємозалежними, і в результаті більш чисті фільтри отримують більше навантаження.

Пропускна здатність фільтра визначається наявним напором, тобто різницею п'єзометричних відміток до і після фільтра, і втратами напору в комунікаціях і завантаженні фільтра. Нехай фільтр під'єднаний до колектора сирогої води і фільтрату, до яких під'єднані й інші фільтри. П'єзометрична відмітка

в колекторі фільтрату  $P_{\phi}/\gamma$  визначається переважно відміткою води у резервуарі чистої води (РЧВ), до якого під'єднується колектор, а п'єзометр у колекторі сирій води  $P_{\psi}/\gamma$  визначається роботою НС-1 (або рівнями води в попередніх спорудах). Таким чином, наявний напір  $H = (P_{\psi}/\gamma) - (P_{\phi}/\gamma)$  не залежить від роботи цього фільтра.

Наявний напір  $H$  витрачається на подолання опорів у комунікаціях і в завантаженні фільтра. Втрати напору в комунікаціях і дренажі фільтра пропорційні квадрату швидкості фільтрування ( $V^2$ ), а в завантаженні ця залежність за невеликих швидкостей лінійна (закон Дарсі у разі ламінарної фільтрації) і визначається за такою формулою:

$$H = h_{\text{ком}} + h_3 = a \cdot V_{\phi}^2 + b \cdot V_{\phi}, \quad (4.10)$$

де  $h_{\text{ком}}$  і  $h_3$  – втрати напору в комунікаціях і в завантаженні;

$a$  і  $b$  – коефіцієнти, що залежать від опорів комунікацій і параметрів завантаження.

Якщо засувки фільтрів відкриті повністю, то коефіцієнт  $a$  постійний і залежить від діаметра труб, місцевих опорів, розмірів отворів дренажу тощо. Коефіцієнт  $b$  для такого завантаження (певного гранулометричного складу) залежить від її поруватості. Під час фільтрування поруватість завантаження зменшується за рахунок затримки забруднень, тому коефіцієнт  $b$  зростає. У результаті швидкість фільтрування  $V_{\phi}$  зменшується.

Таким чином, якщо засувки фільтра повністю відкриті, то швидкість фільтрування  $V_{\phi}$  згодом падає, а втрати напору зростають.

Для того щоб забезпечити постійну  $V_{\phi}$ , чинять у такий спосіб: на початку фільтроциклу засувку фільтрату зачиняють, установлюючи задану початкову швидкість, а потім, у міру забруднення завантаження, відчиняють, компенсуючи цим збільшення опору завантаження.

Момент часу, коли сумарні втрати напору у фільтрі ( $h_{\text{ком}} + h_3$ ) досягають граничного значення ( $H$ ), відповідає тривалості фільтроциклу  $T$ . Якщо фільтр не буде зупинений у момент часу  $T$ , то швидкість фільтрування почне зменшуватися. Для забезпечення постійної швидкості фільтрування повинні бути встановлені регулятори, або фільтри необхідно робити більшої висоти, ніж під час установки регуляторів (приблизно на 1,5–2,0 м), для забезпечення досить тривалого фільтроциклу. Це збільшує будівельну вартість фільтрів.

#### *Порівняльна оцінка режимів роботи фільтрів із постійною й змінною швидкістю*

У разі постійної  $V_{\phi}$  дійсна швидкість у просторі пор (дійсна швидкість – це швидкість у просторі пор) визначається за формулою

$$V_u = \frac{V_\phi}{m}, \quad (4.11)$$

де  $m$  – поруватість, яка у міру замулення завантаження зменшується і згодом зростає через звуження перерізу каналів затриманими забрудненнями.

Тому ймовірність зриву вже затриманих забруднень тут вища, ніж у режимі змінної  $V$ , де одночасно зі зростанням об'єму забруднень зменшується швидкість.

У разі змінної швидкості у міру замулення завантаження дійсна швидкість руху води в порах також зростає. Однак у разі постійної продуктивності темп збільшення дійсної швидкості буде вищим, ніж у разі тої, що зменшується. Можна чекати поліпшення якості фільтрату в цьому випадку.

З іншого боку, занадто високі початкові  $V_\phi$  сприяють проскакуванню зависі у фільтрат. Як показали спеціально проведені в ОДАБА (ОІСІ) експерименти [1], якість фільтрату у разі постійної і змінної швидкості виявилась досить близькою, однак тривалість фільтроциклу зі змінною швидкістю була більшою.

Для ефективної експлуатації фільтрів зі змінною швидкістю потрібно оптимізувати початкову й кінцеву швидкості фільтрування. Початкову (максимальну) швидкість встановлюють експериментально з урахуванням якості фільтрату й заданої продуктивності споруд.

Вимкнення фільтра на промивання зі змінною швидкістю можливо за такими показниками:

1) у разі досягнення максимально припустимого рівня води у фільтрі або вхідному каналі;

2) у разі досягнення заданої продуктивності фільтра – максимальної корисної або відповідної мінімуму експлуатаційних витрат.

Зі збільшенням опору завантаження цього фільтра його продуктивність падає, а сусідніх фільтрів зростає за рахунок перерозподілу потоку. Водночас повільно підвищується рівень води на всіх фільтрах (або у вхідному каналі) до максимально можливого, після чого фільтр, що працює з мінімальною швидкістю, промивається.

Низка станцій, запроектованих на режим роботи з постійною швидкістю, багато років успішно експлуатують зі змінною швидкістю. До переваг цього методу належать:

- простота обслуговування, брак регуляторів;
- висока якість фільтрату;
- краще використання наявного напору – більша продуктивність станції на одиницю наявного напору.

Зазначені переваги дозволяють під час переходу на режим змінної швидкості збільшити продуктивність станції без додаткових капітальних вкладень. Досвід експлуатації показує можливість збільшення корисної продуктивності на 5–12 %.

До недоліків роботи фільтрів зі зменшеною швидкістю належить небезпека проскакування зависі на початку фільтроциклу за максимальної швидкості фільтрації, а на малих станціях може знадобитися збільшення запасних ємностей через коливання витрати.

Актуальною залишається розробка математичної моделі процесу фільтрування із продуктивністю, що зменшується. Роботи в цьому напрямку ведуться багатьма дослідниками [1].

*Використання фільтрувальних матеріалів із високою поруватістю й розвинутою поверхнею*

У 1962 р. для використання у водоочисних фільтрах був запропонований подроблений керамзит – матеріал із високою міжзерною поруватістю й розвинутою питомою поверхнею. У 1964 р. було розпочато промислове застосування керамзитового завантаження. Про ефективність нового фільтрувального матеріалу свідчить таке: реконструкція на його основі тільки двох міських станцій доочищення дозволила підняти добову продуктивність споруд із 41 тис.м<sup>3</sup> до 74 тис. м<sup>3</sup>. У таблиці 2.1 [1] наведено порівняння роботи фільтрів із піщаним і керамзитовим завантаженням. Фільтри з керамзитовим завантаженням забезпечують більшу продуктивність без погіршення якості фільтрату.

Таблиця 2.1 – Показники роботи фільтрів із керамзитовим та кварцовим завантаженням

Показники	Керамзит		Кварц
	Початкова швидкість, м/год		
	15	10	10
Середня за фільтроцикл швидкість, м/год	10,7	8,1	7,4
Вміст завислих речовин, мг/л:			
– вихідна вода	28,1	22,9	24,9
– фільтрат	0,69	0,26	0,98
Об'єм фільтрату, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	324	328	130
Грязеємність, кг/м <sup>2</sup>	8,52	7,41	3,1

Після керамзиту були запропоновані й інші місцеві матеріали [1, 4]: горілі породи, оплавлений керамзитовий пісок – відходи виробництва керамзитового

гравію, аглопорит (Одеса), вулканічні шлаки (Єрван), шунгизит (Петрозаводськ), гранульовані металургійні шлаки, гранодіорит, цеоліти (Україна, Азербайджан, Грузія), габбро-діабаз (Азербайджан) тощо. Всі вони порівняно із кварцовим піском, мають більші значення поруватості й коефіцієнтів форми зерен, а за механічною міцністю зазвичай відповідають встановленим вимогам.

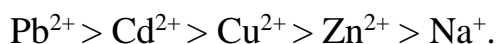
Із заміною завантаження варто перевіряти режим і ефективність промивання нових фільтрувальних матеріалів.

На основі цих матеріалів з'явилась можливість удосконалення й інтенсифікації роботи більшості конструкцій фільтрів: дво- і багатошарових, двопоточних, двоступінчастих (префільтр – фільтр), контактних освітлювачів. Крім цього, використання місцевих промислово доступних, недорогих фільтрувальних матеріалів дозволяє вирішити проблему постачання споруд, які діють або тільки будуються.

Із перелічених матеріалів значний інтерес становлять цеоліти [1]. Поруватість цеоліту 0,52–0,62 проти 0,38–0,4 для кварцового піску, питома поверхня 20–40 м<sup>2</sup>/г проти 0,12 м<sup>2</sup>/г, коефіцієнт форми набагато вище – 2,35 проти 1,17. У результаті швидкість фільтрування може бути підвищена з 5–7 м/год до 7–9 м/год, витрата промивної води менше на 20 %, грязеємність цеолітового завантаження на 30–40 % більше, ніж піщаної.

Звичайно в експлуатаційників викликає побоювання менша міцність цеоліту порівняно із кварцовим піском. Однак, як показано в [1], у разі використання коректних методик випробувань цеоліту на стиранисть і здрібнюваність ці показники виявлялися в межах загальноприйнятих норм.

Крім високих фільтраційних властивостей цеоліт дозволяє очищувати воду від деяких радіоактивних ізотопів (Cs, Sr, Tl, Co тощо). Цеоліт має невелику обмінну ємність стосовно деяких розповсюджених катіонів (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> тощо). Водночас цеоліт володіє селективністю стосовно важких металів. Ряд селективності цеоліту до важких металів [2] такий:



Після того як вичерпується обмінна ємність цеоліту, наприклад, за солями твердості, ці катіони замінюються катіонами свинцю, кадмію й інших токсичних речовин. А оскільки ці речовини перебувають у воді в мікрокількостях, обмінна ємність цеоліту за такими речовинами виявляється цілком достатньою для досить тривалої експлуатації без регенерації або заміни завантаження. Це підтверджується дослідженнями доочищення водопровідної води, проведеними в Одеській державній академії будівництва та архітектури (далі ОДАБА) [1].

В Україні цеоліт постачається із Закарпаття (Сокирницьке родовище).

До окремої групи належать плаваючі фільтрувальні матеріали – спінений гранульований полістирол. Цей матеріал порівняно із кварцовим піском має кращі адгезійні властивості в поєднанні з меншою потрібною інтенсивністю промивання [1].

### *Попередня реагентна обробка води*

Можна виділити два класи методів. До першого належить додавання у воду додатково флокулянтів, окислювачів, регуляторів рН, мінеральних замутнювачів. До другого – перемішування води, обробленої коагулянтами, оптимізація режимів додавання коагулянту у воду, рециркуляція коагульованої зависі з «омолодженням» додатковими порціями коагулянту, об'єднання коагуляції з фізичними методами (магнітне або електричне поле, ультразвук, електрогідровибух) [4].

Додавання флокулянтів сприяє підвищенню якості очищення, а в багатьох випадках дозволяє в 1,2–1,5 рази збільшити продуктивність споруд. Найбільший ефект спостерігається у разі додавання флокулянта безпосередньо перед завантаженням, водночас дозу варто призначати з урахуванням гранулометричного складу, оскільки в цьому випадку зростають втрати напору.

Застосування окислювачів дозволяє зруйнувати органічні сполуки, що стабілізують дисперсні домішки води. В результаті поліпшуються умови коагуляції, зменшується грязьове навантаження на фільтри й підвищується їхня продуктивність. За наявності хлору гелі гідроокису алюмінію, накопичені в завантаженні, довше зберігають сорбційні властивості (навіть у разі тимчасового припинення подачі коагулянту – у режимі переривчастого коагулювання). Однак під час використання окислювачів зростає небезпека утворення канцерогенних сполук. В останні роки для попередньої обробки органічних речовин використовують УФ-опромінення [2].

Регулювання рН здійснюють для оптимізації умов коагулювання. Режим регулювання (підлужування або підкислення, вид реагенту, порядок його додавання) визначаються якістю оброблюваної води, температурою, складом забруднень.

До безреагентних методів поліпшення коагуляції належить і перемішування води. Можливе 30–50 % зменшення витрат коагулянту за рахунок механічного або пневматичного перемішування. За усталеної роботи відстійників це зменшує навантаження на фільтри.

Оптимізація способів додавання коагулянту – один з найбільш дієвих засобів інтенсифікації роботи фільтрів. Щодо фільтрів найбільш вивченим є переривчасте коагулювання, коли тривалість періодів коагулювання і перерв у подачі співвідноситься від 3 : 1 до 0,3 : 1. Ефективність методу обумовлена більш повним використанням адгезійної ємності продуктів гідролізу коагулянтів у разі їхнього надлишку. Потреба в коагулянтах зменшується в 1,3–2 рази, збільшується тривалість фільтроциклу.

Дробове коагулювання виявилось ефективним під час очищення висококольорової води (до 200 °С) на прямоточних фільтрах Петрозаводського міськводопроводу. Додавання 65–75 % загальної дози коагулянту в змішувач і 25–35 % безпосередньо перед завантаженням дозволило збільшити фільтроцикл у 1,5–2,5 рази. Водночас істотним виявився вплив часу розриву між додаванням другої порції й надходженням води в завантаження. Ефективною тут виявилася обертова система розподілу коагулянту, розташована у фільтрі.

Фізичні методи інтенсифікації випробувані переважно щодо процесів коагуляції у вільному об'ємі. Деякі результати можуть виявитися корисними й для фільтраційного водоочищення. Зокрема, накладання електричного поля прискорює коагуляцію оброблених сірчаноокислим алюмінієм мутних вод, підвищує ступінь очищення від органічних і неорганічних домішок. Ефект обробки підвищується зі зростанням концентрації зависі й напруженості електричного поля.

Накладення магнітного поля на 30–40 % збільшує сорбційну ємність продуктів гідролізу коагулянтів щодо завислих речовин. Найбільш ефективний вплив магнітного поля для вод середньої каламутності: коагуляція у вільному об'ємі закінчується в 1,5–2 рази швидше, витрата коагулянту зменшується в 2–3 рази [1, 4].

Рекомендації з ультразвукової обробки й іонізуючого опромінення природних вод після додавання в них коагулянту неоднозначні й недостатньо представлені. Так, поряд із дворазовою активізацією седиментації каолінових часток, відзначається й диспергуючий вплив ультразвукової обробки.

Після  $\gamma$ -опромінення розчинів сірчаноокислого алюмінію швидкість утворення пластівців у воді зростає в 2–3 рази. Таке опромінення не викликає ядерних перетворень у воді й тому безпечне. Однак досвід застосування фізичних властивостей інтенсифікації процесів очищення води поки невеликий.

Становить інтерес використання електрогідровибуху для інтенсифікації процесу реагентної обробки води. Тут реалізується цілий комплекс фізичних методів впливу – локально надвисокі тиски й температури, магнітного й

звукового поля, випромінювання. Застосування електрогідровибуху забезпечує до 30–40 % економії коагулянту. Дослідження в цьому напрямку проводилися в Петрозаводському держуніверситеті.

### *Підвищення ефективності регенерації завантаження*

Проблема регенерації зернистого завантаження фільтрів – одна з найбільш старих у водопостачанні. Погана регенерація може звести нанівець переваги найефективніших фільтрувальних матеріалів і реагентів.

Найпоширеніший і простий прийом регенерації зернистого шару – промивання зворотним струмом води. Однак він не завжди достатньо ефективний, вимагає більших питомих витрат води (до 6–7 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площі). У разі водяного промивання відбувається гідравлічне сортування завантаження, через що найбільш дрібні зерна виявляються у перших за фільтраційним потоком шарах. Це призводить до швидкого їх колюматування, неповного використання грязеемності фільтра, скорочення тривалості робочого циклу й корисної продуктивності споруд. Водяне промивання можна поліпшити шляхом підвищення інтенсивності подання промивної води. Однак це потребуватиме збільшення потужності насосного обладнання, розмірів подавальних і відвідних комунікацій, об'єму споруд повторного використання промивної води й обробки осаду, що в багатьох випадках недоцільно. У роботах ОДАБА [1] сформульовані принципи інтенсифікації процесу регенерації, що засновані на підвищенні відносних локальних швидкостей води й зерен за можливо меншої поруватості. На їхній основі вдалося не тільки пояснити високу ефективність таких відомих способів регенерації як водоповітряного, поверхневого, пульсуючого, фонтануючого промивання, але й створити низку нових, з яких найбільш перспективними є промивання з низькою частотою пульсацій і промивання, що чергується.

Під час влаштування поверхневого промивання необхідна додаткова розподільна система, що розташовується над фільтрувальним завантаженням. Широкого застосування в освітлювальних фільтрах цей спосіб не одержав.

*Водоповітряне промивання* більш складне в конструктивному оформленні та в експлуатації, має значно більшу ефективність, ніж водяне. Існують роздільна і спільна водоповітряні промивання. У разі роздільного промивання в завантаженні подають спочатку тільки повітря, а потім воду. У разі спільного промивання повітря й воду подають одночасно. ДБН [5] рекомендує трьохетапне промивання з інтенсивністю продувки 15–20 л/(с·м<sup>2</sup>) і зміною інтенсивності подачі води з 3–4 л/(с·м<sup>2</sup>) до 6 л/(с·м<sup>2</sup>) на останніх двох етапах. Дослідження ОДАБА показали

можливість зменшення інтенсивності продувки до 10 л/(с·м<sup>2</sup>) і проведення двохетапного промивання з постійною інтенсивністю подачі води, величина якої повинна бути не менше критичної для великих ( $d_{80}$ ) зерен завантаження, що забезпечує повне витиснення повітря із завантаження.

*Пульсуюче промивання.* Відмивання забруднень обумовлене дотичними напруженнями на поверхні зерен завантаження та їхніх зіткнень. Отже, найкраще промивання відбувалось би у завислому шарі у разі високих швидкостей і низької поруватості. Однак ці дві вимоги суперечливі, тому що зі збільшенням витрати промивної води підвищується поруватість завислого шару. На початку промивання інтенсивність подачі води досягає максимуму, після чого залишається майже постійною до кінця промивання. Завантаження, розширюючись, рухається повільніше промивної води до досягнення стану рівноваги. Поруватість шару більше ніж поруватість нерухомого шару, але менше, ніж у повністю розширеному стані. Поки завантаження не досягло повного розширення, інтенсивність її відмивання вище, ніж після завершення цього процесу. Таким чином, у разі періодичного змінювання інтенсивності промивання, завантаження більшу частину часу не буде повністю розширене. Це свідчить про можливість інтенсифікації промивання за рахунок пульсації потоку промивної води. Короткочасне подавання підвищеної витрати води забезпечує її рух крізь малорозширений шар завантаження і, як наслідок, високі «дійсні» швидкості води в об'ємі пор, інтенсивна взаємодія зерен. На етапі подавання малої витрати води завантаження осідає, поруватість шару зменшується, зерна й вода рухаються протитоком, відносні швидкості через це зростають.

Створення низькочастотних пульсацій промивного потоку у фільтрі може бути реалізоване у разі подавання промивної води з водонапірної башти. Водночас на трубопроводі, що подає, необхідно встановити запірний пристрій, який міг би працювати в необхідному режимі. Для цього можна застосувати дисковий поворотний дросель [1].

Зміна інтенсивності промивання буде відбуватися за ступінчастим графіком.

Встановлено, що можливий перехід на пульсуюче промивання без істотних капітальних вкладень у схемах з подаванням промивної води від башти, водночас досягається кращий ефект промивання (у разі 4–5 циклів зміни подачі промивної води ефект промивання на 10–50 % вище, ніж звичайний).

*Промивання, що чергується.* У разі промивання зі змінною за площею фільтра інтенсивністю подання промивної води зони підвищеної й зниженої витрат чергуються.

У зонах підвищених швидкостей зерна завантаження рухаються нагору і, досягнувши поверхні шару, опускаються в зонах знижених швидкостей. Утворюються замкнені контури, які перемішують завантаження, що істотно змінює картину її гідравлічного сортування. Високі швидкості в зонах підвищених інтенсивностей сприяють відриву забруднень; у зонах зменшених інтенсивностей вода й завантаження рухаються протитоком, що збільшує відносні швидкості. За такого режиму промивання середня поруватість завислого зернистого шару нижче ніж та, що наявна у разі традиційного промивання.

Промивання, що чергується, успішно реалізується у фільтрах з безгравійним дренажем за рахунок створення зон із різним гідравлічним опором. Висока її ефективність підтверджена досвідом виробничої експлуатації 35-ти фільтрів загальною площею 2,6 тис. м<sup>2</sup> на 9-ти очисних станціях: забезпечується ефективне промивання завантаження, підвищується його грязеемність, корисна продуктивність фільтра збільшується на 10–30 %.

Під час промивання, що чергується, зменшується гідравлічне сортування завантаження, збільшується грязеемність, подовжується фільтроцикл і скорочується витрата промивної води. Водночас досягається висока ефективність відмивання завантаження. До недоліків способу належить можливість застосування його тільки на фільтрах з одношаровим завантаженням і безгравійним дренажем.

### *Вдосконалювання конструкцій фільтра*

Вдосконалювання конструкцій фільтрів відбувається переважно шляхом пошуку нових безгравійних дренажних систем і способів відведення промивної води.

### *Дренажно-розподільні системи*

Найпоширеніша дренажна система – трубчаста із підтримувальними шарами гравію – має невисоку надійність, велику металоємність, трудомісткість монтажу та експлуатації. На сьогодні все частіше використовують безгравійні поруваті дренажі.

Відомі конструкції поруватих дренажів ОДАБА з поруватого полімербетону [1], трубчасті дренажі фірм «Екополімер», «Екотон» із пластмасових перфорованих труб, вкритих поруватим матеріалом із синтетичних волокон або скловолокна.

Полімербетонний дренаж лоткового типу складається з лотків, перекритих поруватими плитами [4].

Така конструкція досить легко реалізується на очисних станціях і надійно експлуатується з 1971 року. Для фільтрів нових очисних станцій може бути рекомендований дірчастий полімербетонний дренаж. Ця конструкція індустріальна й монтується з попередньо виготовлених дірчастих залізобетонних плит із отворами, заповненими поруватим матеріалом. Такий дренаж працює за принципом великого опору, що забезпечує рівномірність промивання й підвищує її ефективність. Аналогічна конструкція із плитою з металевого або пластмасового листа запропонована для напірних фільтрів.

У таблиці 2.2 подається орієнтовна вартість сучасних конструкцій дренажних систем вітчизняних та зарубіжних авторів [1], а в таблиці 2.3 – їхня порівняльна характеристика.

Таблиця 2.2 – Орієнтовна вартість безгравійних дренажів

Фірма-виробник	Вартість 1 м <sup>2</sup> , доларів США			Відносна вартість монтажу, %
	Матеріали	Монтаж	Всього	
Інфілко	538	145	680	21,3
Теко-фільтр	–	–	600	–
Екополімер	100–120	40–48	140–168	28,5
Полісток	114	34	148	22,3
Екотон	100	40	140	28,5
ОДАБА	65	30	95	31,6

#### *Відведення промивної води*

Відведення промивної води системою горизонтально розташованих жолобів не забезпечує рівномірного видалення забрудненої води за межі фільтра й не гарантує брак виносу завантаження. На зміну жолобам приходить низьке відведення промивної води з пісковловлюючим жолобом [10] і системи поруватого відведення у вигляді похилої стінки або поруватих труб.

Схема відведення промивної води поруватою стінкою складається зі стінки, нахиленої убік фільтра, що збільшує її пропускну здатність порівняно з вертикальною, а також перешкоджає її кольматації зернами завантаження. Відбійна стінка влаштовується у разі водоповітряного промивання для відхилення пухирців повітря.

Таблиця 2.3 – Порівняльна характеристика сучасних конструкцій дренажних систем

Тип дренажу	Опис конструкції, умови виготовлення	Матеріал	Переваги	Недоліки	Фірми-виробники
Ковпачковий	Ковпачки на трубах, піддоні, на блоках. Заводське виготовлення	Полістирол, капрон, неіржавна сталь	Простота монтажу, низька металоємність (крім металевих ковпачків)	Велика кількість ковпачків, заклинювання щілин зернами завантаження	Інфілко, Вабаг, Теко-фільтр
Труби з поруватим покриттям	Перфоровані труби з покриттям з напиленого поліетилену. Заводське виготовлення	Поліетилен високого та низького тиску	Простота монтажу	Можливість кольматації зависю, вплив транзитного потоку на розподілення води	Екотон, Екополімер
Склопластикові трубчасті	Перфорована труба з двома каркасами, між ними фільтрувальна сітка. Заводське виготовлення	Реакто-пласти	Простота монтажу, мала вага, низький коефіцієнт температурного розширення	Вплив транзитного потоку на розподілення води	Полісток
Поруватий полімербетон	Лотки, перекриті поруватими плитами, дірчасті залізобетонні (металеві) плити, вкриті поруватим полімербетоном. Виготовлення у заводських умовах або на станції	Гранітний щебінь (гравій) із епоксидним в'язучим, полістирол	Низький коефіцієнт температурного розширення, великі пори, які зменшують ймовірність кольматації, малі втрати напору, висока ступінь рівномірності промивання	Важкість монтажу	ОДАБА

За великої площі фільтра порувата система відведення виконується у вигляді жолобів або труб.

Системи поруватого відведення промивної води успішно експлуатуються на Ніколаєвському водопроводі з 1987 року [1].

## *Реконструкція систем знезаражування природних вод*

Вода є гарним розчинником, що містить поживні речовини для розвитку мікроорганізмів. Біологічне населення водою містить патогенні (збудники хвороб) мікроби і їхні антагоністи. Останніх більше. Однак людина своєю діяльністю порушує цю рівновагу, забруднюючи воду джерел (підвищення температури, зменшення концентрації розчиненого кисню тощо), водночас збільшується небезпека розвитку патогенних мікробів.

Віруси не мають клітинної структури, складаються з нуклеїнової кислоти, вкритої білковою оболонкою. Віруси – внутрішньоклітинні паразити. Вони не розмножуються на штучних середовищах, звідси труднощі під час їхнього аналізу, для цього необхідні спеціальні лабораторії. Ентеровіруси стійкіші ніж бактерії до стандартних дезинфектантів – хлору й УФ.

На сьогодні контроль процесу знезаражування став більш жорстким. Згідно зі СанПіН України [6] потрібне визначення таких мікробіологічних показників:

- ЗМЧ – не більше 100 кл/см<sup>3</sup>;
- коли-індекс – не більше 3;
- індекс ФК (фекальні коліформи) – немає у 100 см<sup>3</sup>;
- кількість патогенних мікроорганізмів – немає у 1 дм<sup>3</sup>;
- кількість коліфагів – немає у 1 дм<sup>3</sup>.

Крім того, стали нормуватися й паразитологічні показники:

- клітини й цисти – лямблії, криптоспоридії, дизентерійні амеби, балантидії, хламідії, гельмінти – немає у 1 дм<sup>3</sup>;
- кількість патогенних кишкових найпростіших і гельмінтів – немає у 25 дм<sup>3</sup>.

Найбільш поширений спосіб знезаражування – хлорування. На більшості станцій застосовують подвійне хлорування:

- для підтримки санітарного стану споруд попереднього окислювання органічних речовин і поліпшення ефективності коагулювання хлор додають перед змішувачем;
- для знезаражування хлор додають перед резервуаром чистої води (РЧВ).

Досвід експлуатації показав:

1) через забруднення джерел синтетичними й природними органічними речовинами у разі первинного хлорування утворюються постпродукти (вторинні продукти) – хлорорганічні з'єднання та тригалогенметани (ТГМ), які мають канцерогенну дію;

2) за наявності спорових форм мікроорганізмів ефективність знезаражування хлором зменшується, потрібне суперхлорування, тобто хлорування дуже високими дозами;

3) спостерігається повторне зростання бактерій в очищеній воді, залишковий хлор не завжди є надійним бар'єром вторинного забруднення води в мережі.

Можна відзначити такі тенденції в технології знезаражування питної води:

- відмова від первинного хлорування, що зменшує ймовірність появи небезпечних хлорорганічних з'єднань;
- зміна точки додавання хлору, роздрібнене хлорування;
- перехід на інші окислювачі – двоокис хлору, озон, гіпохлорити;
- хлорамонізація;
- розвиток інших способів знезаражування – електроліз, бактерицидні матеріали для завантаження фільтрів, ультрафіолетове опромінення (УФ), ультрафільтрація.

За даними міжнародного центру ракових досліджень немає достатніх підстав стверджувати, що вживаючи хлоровану воду люди ризикують занедужати раком. Тому хлор залишається найпоширенішим дезінфектантом.

Вибору способу та технології знезаражування повинне передувати проведення ретельних мікробіологічних, хімічних, токсикологічних і епідеміологічних досліджень для оцінки спектра впливу реагенту, доданого у воду, на людину.

Через небезпеку утворення хлорорганіки рекомендується перед хлоруванням воду максимально очистити. Хлорування краще робити після фільтрів перед РЧВ із дозою за точкою перелому. Однак є відомості про те, що відмова від первинного хлорування призводить до погіршення ефекту очищення від заліза, марганцю, зменшується сорбційна ємність гідроксиду алюмінію, скорочується фільтроцикл (США).

Іноді рекомендується додавати хлор між відстійниками й фільтрами. В Архангельську застосоване роздрібне хлорування зі зменшенням дози первинного хлорування. В останні роки застосовується УФ-опромінення на стадії первинної дезінфекції [1].

Нижче розглянуті найпоширеніші способи інтенсифікації знезаражування:

1. Хлорування з амонізацією.
2. Використання з'єднань хлору – гіпохлориту натрію або кальцію й діоксиду хлору.
3. Озонування води.
4. Ультрафіолетове опромінення.

### *Хлорування з амонізацією*

Досить ефективним методом боротьби з утворенням хлорорганічних з'єднань є амонізація води. У зарубіжній літературі рекомендують використовувати монохлораміни для боротьби з повторним ростом бактерій у мережі.

Зв'язаний хлор має значно меншу реакційну здатність і слабо взаємодіє з органічними речовинами. Встановлено, що під час оброблення природних вод зв'язаним активним хлором, ТГМ утворюються значно менше, ніж під час хлорування вільним активним хлором. Під час амонізації хлоропоглинання води зменшується, хлор не витрачається на зниження окиснюваності води, а витрачається переважно на знезаражування, тому доза хлору зменшується.

Процес амонізації не вимагає помітних додаткових витрат, а прибуток від економії хлору значно більший за витрати на амонізацію. Під час використання аміаку процес здійснюється на обладнанні існуючих хлораторних, у процесі роботи з аміачною водою можна використовувати цех коагуляції. Як реагенти використовують аміак або сульфат амонію.

Розрізняють преамонізацію – додавання реагенту перед змішувачем, і постамонізацію – аміак додають після фільтрів перед резервуарами.

Хлорамонізація рекомендується для продовження терміну дії хлору, особливо у разі використання довгих водоводів (більше ніж 5 км), тривалого перебування води в розподільній мережі (більше ніж 2–3 год), за високого хлоропоглинання й за необхідності застосування високих доз хлору (більше ніж 5 мг/л). За великої довжини водоводів рекомендується поетапне хлорування по трасі водоводів.

На харківському водопроводі через велику довжину водовода, що прямує з Комплексу водопідготовки «Дніпро» й високе хлорпоглинання, залишковий хлор не доходив до кінцевих ділянок. Збільшення дози на початку водоводу не дало ефекту, тому що залишковий хлор весь був у вільному вигляді й швидко витрачався на окислювання, зокрема на корозійні процеси, тому було впроваджено трьохетапне хлорування малими дозами до 1 мг/л. Ефект був досягнутий, але економічно не виправданий. Використання хлорамонізації дозволило за тієї ж витрати хлору забезпечити в мережі залишковий хлор. Як реагент використаний сульфат амонію. Співвідношення аміаку й хлору звичайно перебуває в межах – 1 : 4 – 1 : 8. Аміачна вода додавалася перед змішувачем. За температури менше ніж 10 °С зменшується розкислення хлору у водоводах і амонізація не потрібна.

У 2001 році у КП «Харківводоканал» були проведені випробування технології постамонізації. Амонізацію застосовували на двох станціях: Комплексі водопідготовки «Донець» та Комплексі водопідготовки «Дніпро».

Так на Комплексі водопідготовки «Дніпро» щоб продовжити дію хлору у воді, додають до неї аміак. Амонізація проводиться на майданчику II блоку за допомогою аміачної води з концентрацією 25 % – її вводять перед хлоруванням (преамонізація) або після нього (постамонізація).

Преамонізація застосовується, коли треба зменшити окислювальну активність хлору, що призводить до надмірного його споживання (економія хлору), або для запобігання формуванню небажаних хлорорганічних сполук, наприклад хлороформу.

Дозу аміаку встановлюють у діапазоні від 0,5 до 1,0 мг/дм<sup>3</sup>, що відповідає споживанню аміачної води з 25 % концентрацією до 1 м<sup>3</sup> за добу.

Подавання здійснюється за допомогою ротаметрів РМ-0,025 ЖУЗ, продуктивність яких становить 25 л/год і вони розташовані перед кожним змішувачем.

Постамонізація служить для збереження залишкового хлору під час тривалого перебування води у РЧВ, водоводах та мережах, а також для зниження інтенсивного хлорного запаху та корозійної активності хлорованої води, і використовується для дехлорування.

Цей процес виконується шляхом подачі аміачної води через ротаметри у всмоктувальні трубопроводи підпірних насосів насосної станції II блоку.

Доза аміаку визначається за рівнем залишкового хлору у оброблюваній воді і становить 0,5–0,7 мг/дм<sup>3</sup>, що відповідає споживанню аміачної води з 25 % концентрацією до 0,6 м<sup>3</sup> за добу.

Зв'язаний хлор має меншу бактерицидну активність, ніж вільний, тому преамонізація в деяких випадках зменшує ефективність інактивації хвороботворних мікроорганізмів, що містяться в природній воді. Встановлено, що зв'язаний хлор дуже слабо діє на цисти лямблій, у зв'язку із цим було вирішено відпрацювати технологію постамонізації води з використанням сульфату амонію. Застосування цього реагенту, на відміну від газоподібного аміаку й аміачної води, більш технологічно та безпечно, і дозволяє впроваджувати амонізацію води на спорудах без зміни існуючої технології з максимально простим приготуванням робочого розчину й дозуванням.

Вміст хлороформу зменшився в середньому на 20 %, що пояснюється збільшенням частки зв'язаного хлору й зменшенням вільного. Відзначено, що до амонізації утворення хлорорганіки триває і в очищеній воді на стадії вторинного

хлорування. Через добу після впровадження амонізації вміст зв'язаного хлору стабілізувався у всіх точках мережі. Від хлорування на НС-3 відмовилися. Постамонізація дозволила зменшити корозійну активність у середньому на 13 %. За відгуками населення, зменшилась інтенсивність хлорного запаху й присмаку.

На водопроводі Ярославля отримані кращі результати під час преамонізації, що підтверджує необхідність пілотних досліджень для вибору технології амонізації.

На підставі отриманого досвіду до переваг амонізації належать:

- економію хлору й стабілізацію його у воді;
- запобігання утворенню канцерогенних речовин;
- зменшення корозії сталевих труб;
- зменшення інтенсивності запаху й присмаку хлору, особливо відчутного влітку.

Недоліком амонізації є зменшення бактерицидної дії, тому доцільність цього методу деякими фахівцями не підтримується.

#### *Знезаражування водяними розчинами хлору – гіпохлоритами натрію або кальцію*

Гіпохлорити одержують шляхом електролізу розчинів солей (хлористого натрію або кальцію) – спрямованого руху іонів під час занурення в розчин позитивно та негативно заряджених електродів. На аноді відбувається розряд іонів  $\text{Cl}^-$ , на катоді виділяється водень і утворюється луг, що дифундує до анода й утворює із  $\text{Cl}^-$  гіпохлорит натрію  $\text{NaClO}$ .

Раніше випускалися електролізні установки непротічного типу, продуктивністю від 1 кг до 100 кг активного хлору за добу [1]. Ці установки споживали досить багато повареної солі – від 8 кг до 15 кг на 1 кг активного хлору, а також електроенергії – від 7 кВт·год/кг до 12 кВт·год/кг активного хлору. Низка зарубіжних фірм випускають електролізери – Sanilec, Person тощо. Витрати солі й електроенергії тут менші – на 1 кг активного хлору витрачається 3–3,5 кг солі й 5,5–6,8 кВт·год електроенергії.

Відомі електролізні установки для знезаражування води де електролізер додатково обладнується мембраною й виробляється суміш оксидантів (діоксид хлору, озон тощо). Як стверджують дослідники [1], установки відрізняються малою питомою витратою електроенергії на синтез хлору (не більше ніж 2,0 кВт·год/кг) і малою питомою витратою солі – не більше ніж 1,8 кг на 1 кг хлору.

Основною перешкодою впровадженню електролізних установок для одержання знезаражувальних реагентів є їхні економічні параметри. Так,

електролізери типу ЕН помітно програвали хлору за великих продуктивностей, переважно через великі витрати електроенергії. Тому їх рекомендували застосовувати за малих продуктивностей споруд – до 5 тис. м<sup>3</sup>/добу. Такі установки відрізняються високою первісною вартістю – близько 100 тис. доларів США із продуктивністю 4 кг/год.

### *Знезаражування води діоксидом хлору*

Використання двоокису хлору ClO<sub>2</sub> належить до знезаражування методом хлорування. Це один із хлорреагентів. У низці реагентів для хлорування: рідкий хлор, гіпохлорит натрію й кальцію, діоксид хлору – останній має найвищий окислювально-відновний потенціал і найвищу бактерицидність.

Діоксид хлору – газ жовто-зеленого кольору із запахом більш інтенсивним, ніж у хлору, легко розчиняється у воді, вибухонебезпечний. Його можна одержати за допомогою взаємодії хлориту натрію з такими речовинами: хлором, соляною кислотою, метанолом, щавлевою кислотою, тирсою в сірчанокислому середовищі, озоном.

У промисловості розповсюджений переважно метод хлорування водяного розчину хлориту натрію, як найбільш технологічний.

У СРСР дослідження двоокису хлору як дезінфікуючого агента велися з 1937 року. Була підтверджена висока дезодоруюча й бактерицидна дія двоокису хлору, водночас вода не мала сторонніх присмаків і запахів.

Однак двоокис хлору легко вибухає від електричної іскри, у разі прямого сонячного освітлення або нагрівання до 600 °С, у разі дотику до багатьох органічних речовин; вихідний реагент – хлорит натрію токсичний, легко запалюється. Це створює певні технологічні труднощі його застосування у водообробці. Однак хлорит натрію вибухонебезпечний за високих концентрацій, а якщо постачання здійснюється за низьких концентрацій, то такої небезпеки немає.

Механізм бактерицидної дії у рідкого хлору й діоксиду хлору близький. Але хімізм процесу хлорування різний – ClO<sub>2</sub> мало гідролізується. Вважається, що бактерицидну дію чинять молекули ClO<sub>2</sub>.

ClO<sub>2</sub> – сильний окислювач, близький за дією до озону. Цим пояснюють більш глибоке окислювання органічних речовин, фенолів без утворення сторонніх запахів. Дози хлору й діоксиду хлору, необхідні для знезаражування, приблизно однакові – 0,25–2,0 мг/л. Однак час контакту у діоксиду менший: діоксид – 0,5 год, хлор – 1 год. Необхідні дози залишкового хлору різні. Граничні концентрації визначають за впливом на запах і присмак води, ступенем

поглинання в порожнині рота й шлунка, а також за токсикологічною ознакою. Для вільного активного хлору ця доза за запахом і присмаком – 0,5 мг/л; за токсикологією для хлору – 2 мг/л, для діоксиду хлору – 0,5 мг/л.

Необхідно зазначити більшу стабільність залишкового хлору під час оброблення води діоксидом хлору, залишковий хлор зберігається у всій розподільній мережі, тобто післядія його більш тривала, ніж у хлору.

Доцільне застосування діоксиду хлору для вод, що містять феноли, органічні речовини, амонійні солі, залізо, марганець, а також мають високу природну лужність.

Діоксид хлору використовується на 150-ти очисних станціях США, 500-ох станціях ФРН, у Франції й Швейцарії (дані 1985 р.). В останні роки в Україні [2] застосовується одна з можливих схем.

До переваг знезаражування двоокисом хлору належать:

- сильний окислювач (наближається до озону);
- не утворює хлорфенольних запахів;
- менший час контакту;
- не реагує з амонійними солями;
- більша стабільність залишкового хлору;
- на ефект знезаражування не впливає збільшення рН-середовища;
- не утворює постпродуктів, що мають канцерогенні властивості й мутагенну активність.

Недоліки:

- висока вартість обладнання й реагентів;
- технологічні труднощі;
- можливість використання тільки на місці одержання;
- не зменшує землісті й багністі запахи;
- впливає на щитовидну залозу й може бути причиною гострих токсикозів;
- можливість відновлення діоксиду хлору речовинами, що перебувають у воді, до вихідного токсичного хлориту натрію;
- низька гранична концентрація;
- необхідна висока точність дозування.

Але якщо застосовувати установки типу «BelloZon CDKA 1500» провідної світової компанії ProMinent GmbH (Germany), то переваги порівняно із традиційними методами підготовки води такі:

1. Відносно діоксиду хлору не діють норми безпеки ПБХ 2010, які встановлюють вимоги до виготовлення, зберігання, перевезення і використання

хлору.

2. Для інсталяції технологічного устаткування немає необхідності будувати нові об'єкти – всі модулі інтегруються в вже існуючі хлоратори після незначного перебудовування.

3. Зниження енергоспоживання:

- відсутність випарників;
- відсутність теплоспутника.

Серед таких переваг, що стосуються традиційного використання хлору, гіпохлориту натрію, а також озонизації та УФ-обробки, слід виділити:

1. Застосування установки «BelloZon CDKA 1500» усуває труднощі, пов'язані з перевезенням рідкого хлору – надзвичайно небезпечної речовини, що створює ризик аварійних ситуацій. Для його використання потрібне дотримання низки вимог: затвердження маршрутів, дотримання правил зберігання, наявність спеціальних приміщень і організація санітарно-захисних зон.

Установки типу «BelloZon CDKA 1500» генерують і точно дозують розчин діоксиду хлору безпосередньо у воду на станції водоочищення, що мінімізує екологічний ризик, пов'язаний із зберіганням і використанням рідкого хлору.

2. Діоксид хлору, не утворюючи токсичних хлорорганічних сполук, на відміну від традиційного хлору, має до десятиразової бактеріцидактивності, ефективно діє проти грибків, вірусів і водоростей, підвищує рівень видалення заліза й марганцю, усуває запахи, покращує смак та колір води тощо.

3. У порівнянні з УФ-випромінюванням і озонизацією, використання діоксиду хлору забезпечує збереження дезінфікуючої дії обробленої води протягом 7–10 днів.

4. Установки «BelloZon CDKA 1500» повністю автоматизовані, обладнані системою блокувань і сигналізації, і не потребують постійної присутності персоналу.

Установки автоматично переходять у режим зупинки при аварійному відхиленні параметрів і відновлюються самостійно після усунення несправностей.

### *Озонування*

Озон утворюється в природі під впливом ультрафіолетового сонячного випромінювання або електричних розрядів від блискавок на молекули кисню. Деякі молекули кисню розпадаються на окремі атоми, які потім поєднуються з іншими молекулами  $O_2$ , утворюючи озон ( $O_3$ ). Озон надзвичайно нестабільний, і процес окиснення повертає його до звичного двоатомного кисню ( $O_2$ ).

Виробництво озону здійснюється за рахунок пропускання кисню або навколишнього повітря через джерело УФ-випромінювання. Шляхом спрямування іскри («коронний розряд») через атом кисню або потік сухого повітря.

Завдяки високому окисному потенціалу озон здатен прискорити видалення великої кількості органічних та неорганічних забруднювачів з води за рахунок прямої фільтрації, включаючи залізо, марганець, сульфіди, метали, такі показники як біохімічне споживання кисню (БСК) та хімічне споживання кисню (ХСК). Це також підвищує ефективність очищення флоутацією.

Озон знищує бактерії, цисти та віруси до 3125 разів швидше, ніж хлор, що є однією з причин його застосування для очищення муніципальної та бутильованої питної води по всьому світу. Озон окислює органічні хімічні сполуки, що відповідають за 90 % проблем, пов'язаних із смаком, запахом та кольором води.

Приклад, де озонується вода на великій водопровідній станції – Дніпровська (Київ).

Озонування має низку істотних переваг перед хлоруванням:

- не утворюються сполуки, що створюють присмаки й запахи, а також токсичні й канцерогенні хлорорганічні речовини;
- досягається більш повна стерилізація води й дезактивація вірусів за достатньої дози озону;
- поліпшуються органолептичні показники якості води – видаляються запахи й присмаки, зменшується кольоровість;
- розкладаються поверхнево-активні речовини (ПАВ), видаляються феноли, сірководень, залізо, марганець.

Таким чином, озон має широкий спектр впливу на воду. Тому його доцільно застосовувати не тільки для знезаражування води, але й для комплексної обробки води.

До недоліків озонування, крім складності обладнання й великих енерговитрат, належать:

- озон, як і хлор, утворює вторинні продукти: альдегіди, кетони, карбоксидні смоли, що чинять токсичну дію;
- спорові форми бактерій стійкі до озонування;
- вищі вимоги щодо техніки безпеки – ГДК озону в 10 разів менше, ніж хлору, озонаторні станції мають високовольтне електроустаткування;
- оскільки озон є токсичним газом і погано розчиняється у воді, необхідна деструкція озоноповітряної суміші під час неповного її поглинання;
- відзначається активна корозія труб;

– озон швидко розкладається і не має післядії, тому у воду після озонування доводиться додавати невеликі дози хлору.

Досвід впровадження озонування наведений в [1] показав, що за первинного озонування повторний ріст мікроорганізмів може привести до інтенсивних біологічних обростань в очисних спорудах, особливо в завантаженні швидких фільтрів, що потребує періодичної обробки споруд високими дозами хлору. Необхідний ретельний підбір доз озону, на цій станції доза озону не перевищувала 2 мг/л.

Також є підтвердження [11] збільшення концентрації зооплактону у воді, обробленої озоном; не зменшується окиснюваність. Однак збільшується термін служби гранульованого активованого вугілля (ГАВ), досягається знебарвлення води.

Досліди французької фірми «Треїлігаз» з випробування озонування наведені у [1]. Відзначалося, що знезараження забезпечувалося в достатньому ступені. Однак утворилися постпродукти – бромати, альдегіди тощо. Метод вибухопожежонебезпечний, токсичний під час експлуатації й вимагає значних фінансових витрат. У разі техніко-економічного порівняння озонування й УФ-опромінення перевага надається останньому методу.

Накопичений досвід дозволяє рекомендувати таке:

- озон варто додавати до хлору;
- місце додавання суттєво залежить від якості води – необхідна гнучка схема з варіюванням точок додавання;
- під час озонування спостерігається флоатація зависі, що може призвести до порушення роботи відстійників і освітлювачів із шаром завислого осаду, може виявитись доцільним переведення першої ступені на флоатацію;
- після озонування необхідна сорбційне очищення на ГАВ;
- озон і хлор не конкуренти, а реагенти, які доповнюють один одного;
- вибір місця додавання і доз варто робити шляхом пілотних досліджень.

*Для порівняльної оцінки ефективності* реагентного знезаражування в останні роки стали використовувати критерій СТ, який дорівнює добутку дози доданого реагенту (С, мг/л) і часу контакту води зі знезаражувальним реагентом до надходження до споживача (Т, хв). Значення СТ, які рекомендуються в СанПіН і забезпечують інактивацію ентеровірусів на 99,99 % для поверхневих вод наведені в таблиці 2.4, а в таблиці 2.5 наведено дані значення СТ під час використання різних дезинфектантів.

Таблиця 2.4 – Критерій СТ під час знезараження поверхневої води хлором

Залишковий активний хлор, мг/л	Критерій СТ зі значеннями рН				
	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
0,4	92/70	114/90	140/105	170/130	200/150
0,6	100/75	124/95	150/115	180/140	220/165
0,8	105/80	130/100	160/120	190/145	230/170
1,0	110/85	135/105	170/125	200/150	240/180
Примітка: чисельник – температура води 5 °С, знаменник – 10 °С.					

Таблиця 2.5 – Критерій СТ під час знезараження поверхневих вод різними окислювачами

Дезінфектант, залишкова доза, мг/л	рН	Критерій СТ за температури води, °С				
		0,5	5	1	15	20
Хлор-газ, 2 мг/л	6	60	40	30	20	15
	7	90	60	40	30	20
	8	130	90	60	50	30
	9	170	120	90	60	45
Діоксид хлору	6–9	27	18	13	9	7
Хлорамін		1 100	770	570	370	220
Озон, 0,3 мг/л		1,5	1	0,8	0,7	0,5

Аналіз наведених таблиць дозволяє зробити висновки:

1. Температура води помітно впливає на ефект знезаражування – чим вона нижча, тим більшим повинен бути критерій СТ.
2. Під час використання хлору зменшення рН дозволяє зменшити дозу або час контакту.
3. Ефективність знезаражування зростає, якщо  
хлорамін < хлор-газ < діоксид хлору < озон.

#### *Ультрафіолетове опромінення*

Бактерицидна дія УФ-променів із довжиною хвилі 240–280 нм (максимальний ефект у разі 254 нм) відома з 1877 року. УФ викликає фотохімічні зміни в структурі мікроорганізмів. Доза опромінення – добуток інтенсивності опромінення на час, міра бактерицидної енергії, переданої мікроорганізму (розмірність – мДж/см<sup>2</sup>).

В останні роки усе частіше використовується для знезаражування бактерицидне опромінення. Різними фірмами розроблено й запропоновано

різноманітні асортименти обладнання з УФ-лампами, розрахованими на обробку підземних і поверхневих вод у великому діапазоні продуктивностей. УФ-опромінення забезпечує віруцидний ефект у разі відповідних доз опромінення – 16–40 мДж/см<sup>2</sup>, у разі використання УФ не змінюється хімічний склад води, обладнання компактне, у низці випадків можлива установка бактерицидних ламп безпосередньо у водоводі.

Однак необхідно запобігати можливості повторного забруднення води в мережі. Оскільки УФ-опромінення не забезпечує післядії, тут, як і під час застосування озону, воду доводиться хлорувати на виході зі станції очищення.

Група дослідників [1] пропонують під час розробки проєкту реконструкції очисної станції замість первинного хлорування впровадили УФ. Первинне хлорування проводять періодично дозою не більше ніж 2 мг/л разом із УФ. У результаті випробувань, вважається оптимальною досить висока доза опромінення – 60 мДж/см<sup>2</sup>. Водночас відзначається зменшення перманганатної окислюваності.

Також відомо з інших дослідів [1] під час реконструкції також застосували УФ опромінення замість первинного хлорування. Є відомості про спільне використання озону й УФ. У вузький проміжок між стінками ртутної лампи й кварцового чохла подають повітря. За рахунок фотохімічних реакцій під дією УФ-променів із кисню утворюється озон (фотоліз озону світловою хвилею довжиною 1 000–2 000 А).

### **Контрольні питання**

1. Які технологічні показники необхідно вимірювати під час інспекції реагентного господарства, змішувачів, камер флокуляції, горизонтальних відстійників та освітлювачів, фільтрів?
2. Назвіть ціль і обсяг контрольного розрахунку очисної споруди.
3. Що таке «вузькі» місця очисної станції та як їх виявити?
4. Окресліть методи посилення змішування води з реактивами.
5. За яких обставин застосовують перфоровані, струменеві та дифузійні розподільники реагентів?
6. Який розподільник буде оптимальним для додавання вапна?
7. Покажіть схему розміщення розподільника реагентів у вихровому змішувачі та контактній камері.
8. В яких випадках рекомендується аерація в змішувачі?
9. Що таке градієнт швидкості?
10. Визначте переваги механічних змішувачів порівняно з

гідравлічними.

11. Чи є взаємозв'язок між інтенсивністю перемішування та тривалістю фільтрувального циклу?
12. Наведіть перелік методів інтенсифікації освітлювачів із шаром мулу, відстійників.
13. Які фактори можуть зумовлювати розбіжність між проєктною та реальною швидкостями руху води в камерах флокуляції, відстійниках, освітлювачах?
14. Як досягти кращого розподілу та збору води в горизонтальному відстійнику?
15. Що здатне спричинити низький коефіцієнт об'ємного використання споруд?
16. Зобразіть схеми камер флокуляції з контактним середовищем.
17. Принцип очищення води тонким шаром.
18. Створіть схему розташування тонкошарових модулів у відстійниках та освітлювачах.
19. З якою метою застосовують тонкошарові модулі в зоні ущільнення осаду освітлювачів з шаром завислого мулу?
20. Перерахуйте способи оптимізації видалення осаду з горизонтального відстійника.
21. За яких умов актуальне застосування рециркуляції осаду? Наведіть схему рециркулятора.
22. Які переваги має система донних клапанів порівняно з гідравлічним способом видалення осаду з відстійників?
23. Окресліть методи, що дозволяють прискорити процес фільтрування.
24. Де здатність утримувати забруднення більша: у швидкому фільтрі чи в контактному освітлювачі?
25. Який наповнювач доцільно використати в контактному освітлювачі: керамзит чи пісок?
26. Зобразіть можливі варіанти двоступінчастого фільтрування. Які переваги має схема «контактний освітлювач – швидкий фільтр»?
27. Як розраховують тривалість роботи фільтра першого ступеня в згаданих схемах?
28. Проведіть порівняльний аналіз функціонування фільтра з постійною та змінною швидкістю.
29. Як обчислити тривалість фільтроциклу швидких фільтрів, що працюють зі змінною швидкістю?

30. Чи можливо збільшити швидкість фільтрування, замінивши піщаний наповнювач на цеолітовий?
31. Вкажіть недоліки промивання фільтрів водою.
32. Перерахуйте ефективні методи промивання швидких фільтрів.
33. В яких випадках рекомендується пульсуюче промивання?
34. Оцініть позитивні та негативні сторони водоповітряного промивання.
35. Чому фільтр із черговим промиванням може працювати з більшою швидкістю, ніж фільтр із водяним промиванням?
36. Запропонуйте схему безгравійного поруватого дренажу для модернізації швидкого фільтра з черговим промиванням.
37. Покажіть конструкцію системи видалення промивної води у разі водоповітряного промивання.
38. Чим пояснюється низька результативність знезараження води хлоруванням?
39. Які існують способи для покращення процесу знезараження води?
40. За яких обставин доцільно застосовувати хлорамінування води?
41. Яка технологічна послідовність обробки води з використанням озону?
42. Які альтернативні методи знезараження, окрім хлорування, вам відомі?
43. Чому одночасно з озонуванням води використовують також хлорування?
44. Які методи знезараження води ефективно знищують віруси?
45. Що радить сучасна практика як заміну для первинного хлорування?
46. Коли є можливість використовувати для знезараження питної води виключно УФ-лампи?

## ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2

### РЕКОНСТРУКЦІЯ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД

#### Тема 3 Необхідність реконструкції очисних каналізаційних споруд

1. Головні причини незадовільної очистки стічних вод на діючих спорудах.
2. Обстеження і аналіз роботи діючих очисних споруд.

#### Головні причини незадовільної очистки стічних вод на діючих спорудах

*1. Невідповідність між закладеною технологією очищення та властивостями стічних вод, їхньою кількістю та складом [1].* Неправильне визначення розрахункових показників, складу, а також концентрацій забруднень у стічних водах, помилки у виборі технологічної схеми, параметрів розрахунку та типів споруд призводять до того, що впроваджені нові очисні споруди з часом втрачають працездатність.

Часто причиною недостатньої ефективності очищення стічних вод стає наявність у суміші стічних вод, які надходять на очисні споруди, великої частки специфічних промислових стічних вод.

Значне зменшення об'ємів окремих споруд, а також потужності діючого аераційного обладнання нерідко спричинене недосконалим проєктуванням станцій біологічного очищення суміші виробничих та господарсько-побутових стічних вод за нормативними даними чинних будівельних норм і правил, що відбувається без урахування специфіки певного виду виробничих стічних вод. Так, в результаті розрахунку аеротенків виявляються необґрунтовано завищеними питомі швидкості окислення забруднень та дози активного мулу в зоні аерації, а під час розрахунку біофільтрів – окислювальна потужність завантаження.

*2. Перевищення проєктної продуктивності очисних споруд [1].* Продуктивність споруд визначається за допомогою двох основних розрахункових параметрів: витратою стічних вод та об'ємом забруднень, які можуть бути затримані та знешкоджені на цих очисних спорудах.

Перевищення проєктної продуктивності очисної станції за витратою стічних вод негативно впливає на роботу всіх споруд, що входять у технологічну схему, проте погіршення роботи окремих із них різною мірою впливає на

кінцевий ефект очищення, що здебільшого визначається концентрацією завислих речовин та величиною БСК<sub>повн</sub> у очищених стічних водах.

Збільшення швидкості руху води у прозорах решіток та піскоуловлювачах може викликати певні ускладнення в експлуатації всієї очисної станції, але погіршення роботи саме цих споруд не впливає на кінцевий ефект очищення так серйозно та безпосередньо, як, наприклад, погіршення роботи первинних відстійників.

Первинні відстійники необхідно розглядати як найслабшу ланку в технологічному ланцюзі практично всіх наявних систем біологічного очищення стічних вод. Відстійники всіх типів різко зменшують ефективність прояснення стічних вод у разі витрати, що перевищує розрахункову.

Підвищення концентрації завислих речовин у прояснених стічних водах, що надходять в аеротенки чи на біологічні фільтри, суттєво збільшує навантаження на них за органічними забрудненнями, які знаходяться у грубодисперсній та колоїдній формах. У випадку подавання недостатньо прояснених стічних вод виникає серйозна небезпека замулювання завантаження біофільтрів.

Якщо у стічних водах міститься значна кількість жирів та нафтопродуктів, а первинні відстійники функціонують незадовільно, завантаження біофільтрів вкривається жировою та нафтовою плівкою і стає зазвичай непридатним для подальшого використання. Збільшення концентрації жирів та нафтопродуктів також негативно позначається на очищенні стічних вод і в аеротенках.

У разі недостатнього прояснення стічних вод зростає навантаження на активний мул, збільшується кількість надлишкового активного мулу і зростає його зольність внаслідок надходження в аеротенк великої кількості грубодисперсних мінеральних домішок. У перевантажених аеротенках починає гостро відчуватися нестача кисню, оскільки потужності встановлених повітродувок або механічних аераторів виявляються звичайно недостатніми для подавання підвищеної кількості повітря.

Продуктивність біологічних очисних споруд можна виразити також їхньою окислювальною потужністю, тобто кількістю забруднень за БСК<sub>повн</sub>, що окислюються у цих спорудах протягом доби. Очисні споруди, які пропускають стічні води в об'ємі, що не перевищує розрахункову витрату, можуть виявитися перевантаженими за кількістю забруднень, що надходять. Ситуація погіршується ще й у випадках, коли перевантаження відбувається одночасно і через забруднення, і через витрати.

Отже, перевищення розрахункової витрати стічних вод не тільки скорочує тривалість біологічного очищення в аеротенках та на біофільтрах, але й збільшує навантаження на ці споруди через забруднення.

Зменшення тривалості відстоювання стічних вод у вторинних відстійниках призводить до збільшення концентрації завислих речовин у очищеній воді. Підвищене винесення з очищеною водою активного мулу у кількості, що перевищує його приріст, може призвести до зменшення концентрації мулу в аеротенках, і, як наслідок, до зменшення їхньої окислювальної потужності.

3. *Нерівномірність надходження стічних вод* [1]. Цей фактор негативно впливає на роботу всього комплексу очисних споруд і спостерігається найчастіше на очисних спорудах невеликої продуктивності.

Можливі тривалі перерви у подаванні стічних вод на очисні споруди від окремих промислових підприємств (робота в одну чи дві зміни, вихідні дні тощо). Різке зменшення витрат у нічний час чи у святкові дні призводить до загнивання стічних вод у приймальних резервуарах насосних станцій та первинних відстійниках, до пригнічення та загибелі значної частини мікроорганізмів, що населяють біологічну плівку біофільтрів, а під час очищення стічних вод в аеротенках – до самоокислення активного мулу за умов нестачі живлення. Можливі й інші несприятливі наслідки тривалих перерв у подачі стічних вод на очисні споруди: переохолодження води в зимовий період, замулювання підвідних каналів, осадження органічних домішок у піскоуловлювачах тощо.

В окремих випадках причиною значної нерівномірності надходження стічних вод може бути подавання їх на очисні споруди насосними станціями, що обладнані потужними насосами та приймальними резервуарами великої ємності, в яких протягом відносно тривалого часу можуть накопичуватися стічні води. Періодичне відкачування накопичених стічних вод призводить до залпових надходжень їх на очисні споруди, що чергуються з тривалими періодами повної зупинки подавання стічних вод.

Велика нерівномірність надходження стічних вод на очисні споруди спостерігається одночасно з різкими змінами складу та концентрацій забруднень стічних вод. Залпові надходження токсичних домішок у концентраціях, що перевищують гранично допустимі, можуть порушити їх нормальну роботу або повністю вивести з ладу споруди для біологічного очищення.

4. *Наявність у стічних водах різних токсичних домішок, які згубно впливають на біохімічні процеси* [1]. Основним засобом захисту біологічних очисних споруд від впливу токсичних домішок є видалення їх зі стічних вод на

локальних очисних спорудах промислових підприємств. Однак далеко не всі чинні підприємства мають такі споруди, а будівництво їх у разі сформованих систем водовідведення та режимів скиду зазвичай пов'язане із серйозними труднощами. Ці обставини змушують враховувати можливість прояву токсичної дії різних забруднень практично в усіх випадках очищення стічних вод населених пунктів.

5. *Недостатня кількість у стічних водах біогенних елементів* [1]. Це призводить до погіршення фізичних та біохімічних властивостей активного мулу та біоплівки, гальмує зростання мікроорганізмів і весь процес біохімічного окислення органічної речовини.

Тривала нестача азоту, окрім того, призводить до утворення активного мулу, який погано осідає. За нестачі у стічних водах фосфору в складі активного мулу починають переважати нитчасті форми бактерій, що погіршує його здатність до осадження, одночасно сповільнюється зростання мікроорганізмів та швидкість окислення забруднень.

Необхідна кількість біогенних елементів під час очищення стічних вод різного складу повинна встановлюватися експериментально. У практичних розрахунках враховують звичайно відоме положення про те, що необхідний мінімальний вміст азоту має становити 5 г, фосфору – 1 г на кожні 100 г БСК<sub>повн</sub>/м<sup>3</sup> стічних вод, що надходять на біологічне очищення [58].

Концентрації біогенних елементів в міських стічних водах зазвичай є достатніми для нормальної життєдіяльності мікроорганізмів в аеротенках та біофільтрах. Водночас у стічних водах з великим вмістом виробничих стічних вод, що надходять на біологічну очистку, іноді можлива нестача біогенних елементів.

6. *Конструктивні недоліки та порушення правил технічної експлуатації очисних споруд* [1]. Незадовільна робота решіток може спричинити порушення роботи піскоуловлювачів та первинних відстійників через випадання в осад великої кількості відходів, що можуть засмітити гідроелеватори та трубопроводи для транспортування осадів.

Конструктивні недоліки та порушення режимів експлуатації піскоуловлювачів призводять до підвищеного винесення піску та інших важких мінеральних домішок у первинні відстійники, що ускладнює видалення, транспортування та наступну обробку осадів.

Основні причини підвищеного виносу піску з піскоуловлювачів, навіть за їх нормативних навантажень:

– гідравлічні збурення потоку води, спричинені трубопроводами гідроелеваторів, пісковими прямками, що розміщені по всій довжині горизонтального піскоуловлювача, різкими змінами напрямку та поперечного перерізу каналів на вході та виході з піскоуловлювача;

– несвоєчасне та неповне видалення осаду, зумовлене недостатнім нахилом стінок піскових пряминок, поганою роботою гідроелеватора внаслідок засмічення чи зміщення осі сопла відносно осі дифузора, порушеннями графіка видалення осаду;

– неоднаковий розподіл витрати стічних вод за відділеннями піскоуловлювача;

– перевищення розрахункових швидкостей руху води в піскоуловлювачі внаслідок несвоєчасного включення в роботу резервних відділень зі збільшенням витрати стічних вод.

Недостатня ефективність роботи первинних відстійників під час надходження в них стічних вод з витратою, що не перевищує розрахункову, може бути спричинена нерівномірністю розподілу стічних вод по окремих відстійниках, недосконалим розподілом тих, що надходять, і збором прояснених стічних вод у межах кожного відстійника, несвоєчасним та неповним видаленням осаду і речовин, що спливли.

Нерівномірність розподілу стічних вод по окремих спорудах призводить до підвищеного винесення завислих речовин з перевантажених відстійників, який не може бути компенсований незначним поліпшенням якості проясненої води в недовантажених відстійниках.

У горизонтальному відстійнику нерівномірний розподіл стоків по ширині можливий через проблеми з цілісністю та горизонталлю водозливу розподільчого жолоба, а також підтоплення з боку зони відстоювання. Нерівномірність глибинного розподілу потоку води може з'явитися внаслідок недостатнього або різного по ширині відстійника занурення напівзануреної дошки на вході. Аналогічні дефекти збірних пристроїв можуть призвести до нерівномірного розподілу потоку по перерізу відстійника.

У вертикальному відстійнику нерівномірність розподілу стічних вод по площі може бути пов'язана з відхиленнями від норми розмірів патрубків центральної труби і відбивного щита, а також з неправильним їх розташуванням відносно один одного та стінок відстійника. Важливо, щоб прояснена вода збиралася рівномірно по всій довжині збірних лотків.

У радіальних відстійниках небажані зміни в гідродинаміці води можуть виникнути через порушення горизонту водозливної кромки збірного круглого

лотка внаслідок перекосів кожуха та надмірного накопичення забруднень між стінками кожуха і центральною трубою.

Серйозні проблеми з функціонуванням первинних відстійників і споруд для біологічної очистки виникають через несвоєчасне і неповне видалення осаду. Горизонтальні відстійники часто не оснащені механічними скребками, мають недостатні нахили днища і стінок мулових приямків. Кут нахилу стінок конусів вертикальних і двоярусних відстійників зазвичай становить 30–45°. Самопливне видалення осаду з таких відстійників є неповним. Гниття осаду призводить до газоутворення, спливання осаду та його винесення з відстійників очищеною водою.

Як зазначалося, видалення осаду з первинних відстійників ускладнюється, якщо пісок не повністю затримується в піскоуловлювачах. Осад, який містить велику кількість піску, утворює щільні відкладення на дні відстійників, у мулових приямках і трубопроводах. У мулових приямках горизонтальних і конічних частин вертикальних і двоярусних відстійників такий осад під кутом природного укосу, що більший за кут нахилу стінок, під час випускання не видаляється повністю, і це зменшує робочу зону мулової частини. У таких випадках вертикальні відстійники починають працювати з підвищеним винесенням завислих речовин через високий рівень стояння осаду. У двоярусних відстійниках переповнення осадом мулової частини може призвести до закупорки щілин осадових жолобів, а в горизонтальних відстійниках більша частина осаду розміщується поза зоною мулових приямків ближче до виходу, що скорочує зону відстоювання, збільшує швидкість потоку та погіршує ефективність очищення.

До конструктивних дефектів, що погіршують роботу аеротенків, насамперед належить низька якість кріплення фільтросних пластин у каналах, через що пластини відриваються, що негативно впливає на рівномірність розподілу повітря по довжині аеротенка.

Фільтросні пластини швидко втрачають свою пропускну здатність через заростання і засмічення пилом та окалиною з повітря, що подається, а також активним мулом та іншими завислими речовинами, що потрапляють у пори пластин під час аварійних вимикань повітродувки. Збільшення втрат напору у пластинах збільшує загальний опір повітряної системи і зменшує продуктивність повітродувки. Нерівномірний розподіл повітря через різну повітропроникність пластин, їх засмічення і пошкодження суттєво знижують ступінь використання кисню в повітрі, що подається. Заміна пластин на дірчасті труби чи інші

диспергатори, що часто практикується, не вирішує проблеми повного забезпечення аеротенків киснем через погіршення диспергування повітря.

Причинами незадовільної роботи аеротенків з механічною аерацією є поломки редукторів, підшипників, приводних зірочок ланцюгових передач, електродвигунів аераторів. Громіздкість, велика вага використовуваних аераторів, конструктивна складність окремих вузлів, обмерзання елементів аеротенка та деталей аератора взимку, брак спеціального підйомного устаткування для демонтажу й заміни аераторів призводять до затягування їх ремонту, що погіршує ефективність очищення стічних вод.

Недостатнє перемішування мулової суміші в зоні непрацюючих механічних аераторів спричиняє випадання активного мулу в осад.

Продуктивність щодо кисню і окислювальна здатність поверхневих аераторів з вертикальною та горизонтальною віссю обертання залежать від глибини занурення ротора в рідину, що аерується. Коливання рівня води в аеротенку можуть призвести до невідповідності оптимальному заглибленню аераторів. Недостатнє або надмірне заглиблення ротора погіршує аерацію та перемішування мулової суміші. Негативний вплив коливань рівня води на роботу механічних аераторів особливо значно проявляється в аеротенках-витискувачах, що мають короткі водозливи на випусках мулової суміші порівняно з аеротенками-змішувачами з розосередженим відведенням.

На роботу аеротенків впливають ефективність розділення мулової суміші у вторинних відстійниках та режим циркуляції активного мулу. Якщо у вторинних відстійниках немає механізованих скребків, а нахили стінок мулової частини вертикальних відстійників недостатні, активний мул злежується і загниває. Гази бродіння сприяють флотації активного мулу, який потім виноситься з відстійника.

Тривале перебування мулу в анаеробних умовах погіршує його властивості та погіршує ефективність біологічної очистки. До аналогічного результату може призвести низька витрата рециркуляційного активного мулу. Низькі коефіцієнти рециркуляції активного мулу зазвичай спостерігаються на перевантажених спорудах за незмінної продуктивності рециркуляційних насосів.

Роботу вторинних відстійників і аеротенків різко погіршує спухання активного мулу, за якого муловий індекс перевищує 150 см<sup>3</sup>/г. Спухлий мул погано відокремлюється від очищеної води і виноситься з відстійників.

Явище спухання пов'язують з розвитком нитчастих бактерій. Результати численних досліджень показують, що спухання мулу може відбуватися з різних причин:

- нестача розчиненого кисню, високі концентрації легкоокиснюваних вуглеводів;
- нестача азоту та фосфору, гниття стічних вод і, як наслідок, наявність сульфідів та органічних кислот;
- низькі значення рН;
- різкі зміни навантажень на мул, що спричиняють відхилення від оптимальних.

Ефективність роботи біологічних фільтрів може погіршуватися через нерівномірний розподіл стічних вод по площі завантаження, що створює зони з підвищеним або зменшеним гідравлічним навантаженням, навіть якщо їх значення в цілому будуть розрахунковими.

Під час використання спринклерів нерівномірне зрошення може бути зумовлене неналежною роботою дозувальних баків або їх неправильним регулюванням. На біофільтрах з тривалим терміном експлуатації можливе руйнування спринклерів та підвідних трубок внаслідок корозії.

Неякісна робота біофільтра може бути спричинена використанням неоднорідного завантаження з великою кількістю фракцій меншого розміру. У такому біофільтрі погіршуються умови фільтрування, видалення біоплівки та вентиляції завантаження. Під час використання несортового матеріалу відбувається заболочування.

Для своєчасного видалення відпрацьованої біоплівки гідравлічне навантаження має бути не меншим за рекомендовані величини, інакше відбувається швидке замулювання. До цього схильні краплинні біофільтри. Тому рекомендується ретельне попереднє прояснення стоків, щоб концентрації завислих речовин не перевищували 100 мг/дм<sup>3</sup>. Швидке замулювання відбувається при перевантаженні по БСК. Гранична величина БСК<sub>повн</sub> стоків, що надходять на краплинний біофільтр, складає 220 мг/дм, тому за більших значень впроваджують рециркуляцію з доведенням БСК до нормованої величини. Збільшене гідравлічне навантаження забезпечує видалення відпрацьованої біоплівки.

На роботу біофільтрів негативно впливає перевищення нормованих гідравлічних навантажень, оскільки відбувається інтенсивне вимивання біоплівки та зменшення маси мікроорганізмів.

Окрім надмірних навантажень, проблеми з функціонуванням біофільтрів можуть виникати через відчутні зміни гідравлічного навантаження, навіть якщо його середні значення відповідають нормативам. Нерівномірне надходження стічних вод протягом доби може призвести до того, що в певні періоди

гідралічного навантаження буде недостатньо для своєчасного змиву біологічної плівки. Як наслідок, плівка поступово накопичуватиметься у завантаженні. У відносно товстих шарах біоплівки розгортаються анаеробні процеси. Газу, що виділяються під час бродіння, сприяють відриванню біоплівки від матеріалу завантаження. Водночас із біофільтра виноситься значна частина неокислених органічних речовин.

Відрив біоплівки внаслідок анаеробних процесів відбувається нерівномірно по всьому об'єму завантаження, що спричиняє замулювання окремих ділянок, погіршення аерації та зменшення окислювальної здатності. Винесення з біофільтра відпрацьованої біоплівки призводить до незадовільного освітлення очищених стоків у вторинних відстійниках. Ця біоплівка погано осідає, найчастіше загниває та виноситься з відстійників.

До основних факторів, що впливають на нормальну роботу очисної станції, належать перебої в електропостачанні, недотримання термінів планово-попереджувальних ремонтів споруд та обладнання, а також порушення правил технічної експлуатації споруд персоналом.

Перебої в електропостачанні зупиняють подавання повітря в аеротенки та рециркуляційного мулу, що порушує весь технологічний процес. Осідання активного мулу на дно аеротенків та його тривале перебування в анаеробних умовах зумовлює необхідність певного часу, інколи тривалого, для відновлення нормального режиму роботи аеротенків після відновлення електропостачання.

Відключення рециркуляційних насосів на очисних спорудах з біофільтрами може призвести до замулювання фільтрувального завантаження. Перебої з подачею електроенергії порушують також експлуатацію піскоуловлювачів і первинних відстійників, обладнаних скребковими механізмами та насосами для видалення осаду.

Таким чином, загальний стан і ефективність роботи очисних споруд безпосередньо залежать від організації їхнього обслуговування.

*7. Недостатня робота або брак повного комплексу споруд для обробки піску, сирого осаду та надлишкового активного мулу або біоплівки [1].* Неefективна робота споруд для обробки осадів на багатьох станціях створює ситуації, коли експлуатаційний персонал вимушений йти на значні порушення технологічних режимів очищення стічних вод.

Часто, через незадовільну роботу піскових майданчиків, видалення осадів з піскоуловлювачів відбувається рідше, що призводить до потрапляння піску в первинні відстійники. Проблеми з обробкою сирого осаду також змушують подовжувати період його накопичення у первинних відстійниках, що призводить

до збільшення винесення завислих речовин проясненою водою та загнивання осаду. Незадовільна робота мулозгущувачів порушує роботу метантенків або аеробних стабілізаторів і в подальшому спричиняє перевантаження мулових майданчиків. За наявності споруд механічного зневоднення зброджених або аеробно стабілізованих осадів, виникають порушення технологічного режиму їх роботи. Брак на очисних спорудах надійної технології обробки вилученого піску є екологічно небезпечною, оскільки на станціях накопичується велика кількість піщаної маси з високим вмістом органічних забруднень.

### **Обстеження і аналіз роботи діючих очисних споруд**

У випадку виявлення недостатньої ефективності роботи очисних споруд, є критична необхідність щодо з'ясування основних причин, що зумовлюють такий стан [1]. Це передбачає проведення детального та всебічного аналізу всіх етапів технологічної схеми, а також оцінку потенціалу для підвищення ефективності вже наявних споруд або впровадження нових технологічних процесів без потреби у зведенні нових об'єктів. На основі цього аналізу буде ухвалено рішення щодо конкретних заходів з інтенсифікації та реконструкції діючих очисних споруд.

Кваліфіковане обстеження функціонуючих очисних споруд, що підлягають реконструкції чи розширенню, повинна проводити робоча група, до якої входять проєктувальники, експлуатаційний персонал очисних споруд та, за необхідності, представники науково-дослідних і пусконаладжувальних організацій. На підставі такого обстеження розробляється та узгоджується технологічна схема очищення стічних вод, яка стане основою для завдання на розробку проєкту реконструкції споруд.

Для отримання реальної картини роботи діючих очисних споруд насамперед необхідно встановити:

- актуальні витрати стічних вод;
- режим їх надходження;
- склад та концентрації забруднень.

Для оцінки гідравлічного режиму функціонування станції потрібно здійснити вимірювання витрат стічних вод на всіх стадіях їх проходження через споруди станції: на вході, до та після кожної групи споруд, а у деяких випадках – також і розподіл витрат між окремими спорудами. Для цього використовуються існуючі вимірювальні прилади, застосовуються традиційні методи вимірювання витрати стічних вод, або встановлюються додаткові спеціальні водовимірювальні пристрої. За результатами вимірювань будуються

добові графіки надходження стічних вод на очисні споруди та окремі блоки для характерних періодів роботи станції. Бажано мати такі графіки протягом року. З цих графіків визначаються розрахункові витрати та коефіцієнти нерівномірності.

Склад та концентрації забруднень визначаються для оцінки ефективності як усього комплексу, так і окремих очисних споруд. Наприклад, для такої оцінки необхідно знати фактичні концентрації забруднень у характерних точках (до та після споруд) за біохімічним споживанням кисню (далі БСК), хімічним споживанням кисню (далі ХСК), концентрації завислих речовин, специфічних забруднень, біогенних елементів, рН тощо. Максимальні, мінімальні та середні концентрації забруднень, а також їхні коливання протягом доби, слугують основою для ухвалення рішення щодо доцільності використання та розрахунку усереднювача стічних вод.

Ефективність функціонування кожної споруди очисної станції може бути оцінена за результатами технологічного контролю їхньої роботи.

У випадку низької ефективності прояснення стічних вод у первинних відстійниках, доцільно визначити потенційну межу прояснення стічних вод шляхом відстоювання, тобто кількість речовин, що осідають (протягом двохгодинного відстоювання), виражену у відсотках від загальної кількості завислих речовин. Для визначення кількості речовин, що осідають, і дослідження кінетики їх осідання розроблено спеціальну методику технологічного моделювання процесу відстоювання у посудині з діаметром не менше 100 мм і з висотою зони відстоювання не менше 500 мм [1].

Під час проведення аналізу діючих аеротенків необхідно визначити технологічні параметри їхньої роботи, ключовими з яких є:

- навантаження на активний мул;
- об'ємне навантаження;
- окислювальна потужність;
- концентрація активного мулу;
- муловий індекс;
- витрати повітря на 1 кг видаленої БСК.

Навантаження на активний мул – це маса забруднень, що подається протягом доби, і визначається за величинами БСК<sub>5</sub> чи БСК<sub>повн</sub> на 1 г сухої чи беззольної речовини, БСК/г·добу [1], за такою формулою:

$$R = \frac{L_a \cdot Q}{a \cdot W}, \quad (3.1)$$

де  $L_a$  – БСК стічної води, що надходить в аеротенк, м<sup>3</sup>;

$a$  – концентрація активного мулу, г/м<sup>3</sup>;

$W$  – реакційний об’єм аеротенка,  $\text{м}^3$ .

Об’ємне навантаження обчислюється в кілограмах  $\text{БСК}_5$  чи  $\text{БСК}_{\text{повн}}$ , що припадає за добу на  $1 \text{ м}^3$  реакційного об’єму аеротенка.

Окислювальна потужність визначається масою видалених протягом доби забруднень, що враховуються величинами  $\text{БСК}_5$  чи  $\text{БСК}_{\text{повн}}$ , віднесеною до  $1 \text{ м}^3$  реакційного об’єму аеротенка,  $\text{кг БСК}/\text{м}^3 \cdot \text{добу}$  [1], за такою формулою:

$$\text{ОМ} = \frac{(L_a - L_t) \cdot Q}{W}, \quad (3.2)$$

де  $L_a$  та  $L_t$  – БСК відповідно неочищених та очищених стічних вод,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Під час встановлення технологічних параметрів, для розрахункових показників  $\text{БСК}_5$  та  $\text{БСК}_{\text{повн}}$  сирих та очищених стічних вод, необхідно використовувати середньозважені значення, отримані з аналізу збовтаних зразків, отриманих протягом доби після первинних та вторинних відстійників відповідно.

Для аеротенків з окремими або інтегрованими вторинними відстійниками об’єм реакції розраховується як сума об’єму аеротенка, мулової частини вторинних відстійників та робочого об’єму резервуарів станцій мулових насосів. Під час розрахунку загальної маси активного мулу, залученого до біохімічного процесу, потрібно враховувати відмінності концентрації активного мулу в аеротенку, регенераторі, муловій частині вторинних відстійників та мулових резервуарах.

Витрати повітря, що подається в аеротенки повітродувками, визначаються за показниками встановлених витратомірів або, як виняток, на основі паспортних даних діючих повітродувок.

Зіставлення знайдених технологічних параметрів із показниками, що характеризують нормальну роботу аеротенків в ідентичних умовах (табл. 3.1), а також комплексна оцінка цих параметрів дозволяють коректно проаналізувати ситуацію та визначити можливі шляхи інтенсифікації процесу біологічного очищення.

Головними характеристиками біологічних фільтрів є гідравлічне навантаження і навантаження через забруднення.

Гідравлічне навантаження виражається кількістю води ( $\text{м}^3$ ), що припадає на  $1 \text{ м}^2$  площі біофільтра за добу. Навантаження через забруднення – кількість забруднень, що оцінюється величиною БСК, що подається на  $1 \text{ м}^3$  об’єму завантаження за добу. Припустимі межі коливань навантажень біофільтрів різних типів наведені в таблиці 3.2.

Визначення ступеня перевантаження та потенційних причин низької ефективності роботи.

Таблиця 3.1 – Оптимальні технологічні параметри роботи аеротенків [1]

Технологічний параметр	Аеротенк		
	Високо-навантажений (на неповну очистку)	Середньо-навантажений (на повну очистку)	Низько-навантажений (подовженої аерації)
Навантаження на активний мул, г БСК <sub>5</sub> /(г · добу)	1–2	0,2–0,5	0,05–0,15
Об’ємне навантаження, кг БСК <sub>5</sub> /(м <sup>3</sup> · добу)	1–6	0,2–1	0,1–0,5
Окислювальна потужність, кг БСК <sub>5</sub> /(м <sup>3</sup> · добу)	0,6–5	0,18–0,95	0,09–0,45
Концентрація активного мулу, кг/м <sup>3</sup>	1–5	1,5–3	3–4
Витрата повітря (за дрібнобульбашкової аерації), м <sup>3</sup> /кг БСК <sub>5</sub>	30–50	40–60	100–150
Муловий індекс, см <sup>3</sup> /г	80–100	50–120	40–80
Примітка. Навантаження на активний мул вказане у розрахунку на 1 г беззольної речовини.			

Таблиця 3.2 – Оптимальні навантаження біологічних фільтрів [1]

Біофільтр	Висота завантаження, м	Навантаження	
		Гідравлічне, м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> · добу)	За забрудненнями, г БСК <sub>повн</sub> /(м <sup>3</sup> · добу)
Краплинний	2	1–3	100–300
Високонавантажений	4	10–30	500–1500
Із пластмасовим завантаженням	4	30–45	1 600–2 200

Аналіз функціонування обладнання для обробки осаду варто починати з розрахунку обсягів осаду, що видаляються з пісковловлювачів, первинних відстійників, надлишкового активного мулу чи біоплівки, а також осаду, що

утворюється під час доочистки стічних вод. Порівняння фактичних та нормативних параметрів роботи споруд дасть змогу оцінити рівень їх навантаження. У випадках явного перевищення нормативних навантажень завдання реконструкції вирішуються простіше, ніж коли незадовільна робота зумовлена іншими факторами. У таких ситуаціях необхідно зосередитися на технологічних параметрах, що можуть впливати на функціонування конкретної споруди.

В осаді з пісковловлювачів необхідно визначити вміст органічних речовин, які погіршують фільтраційні властивості. Під час огляду самих піскових майданчиків потрібно звернути увагу на стан дренажної системи та наявність пристроїв для поверхневого відведення води.

Муловий індекс та концентрація мулу [1] суттєво впливають на ефективність роботи мулоущільнювачів, тому завдання щодо покращення роботи мулоущільнювачів необхідно вирішувати одночасно з оптимізацією роботи аеротенків та вторинних відстійників.

Основними технологічними показниками анаеробного зброджування, на які потрібно звертати увагу під час аналізу роботи метантенків, є температура, тривалість перебування осаду в метантенку, навантаження за органічною речовиною (сухою беззольною), концентрація завантаженого осаду, режим завантаження та перемішування вмісту метантенка, ступінь розпаду органіки, питомий опір осаду фільтрації, об'єм газу, що виділяється ( $\text{м}^3$  на 1 кг сухої беззольної речовини), склад газу, активна реакція мулової води (рН та лужність), концентрація в ній летких жирних кислот та амонійного азоту, наявність та концентрація токсичних речовин в осадах. Порівняння фактичних параметрів з параметрами, які характеризують нормальний перебіг процесу [1], допоможе зробити висновки щодо можливих причин порушення процесу зброджування.

Ефективність роботи аеробних стабілізаторів може визначатися ступенем розпаду органіки, зольністю осаду, дегідрогеназною активністю, швидкістю споживання кисню стабілізованим осадом, питомим опором осаду фільтрації тощо [1].

Найважливішими характеристиками осадів, що надходять на мулові майданчики, є ступінь зброджування та питомий опір фільтрації. Останній показник визначається в лабораторних умовах за допомогою спеціального обладнання [1]. Ефективність функціонування мулових майданчиків залежить не тільки від якості підготовки осаду, але й від конструкції та стану дренажної системи, на що потрібно звернути особливу увагу під час обстеження майданчиків.

Враховуючи якомога більше факторів, що впливають на роботу очисних споруд, аналіз цих факторів разом з технологічними параметрами процесу очищення стічних вод та обробки осаду на різних етапах дозволить виявити дійсні причини низької ефективності роботи споруд та обрати найбільш раціональні способи інтенсифікації роботи всього комплексу очисної станції.

### **Контрольні питання**

1. Назвіть головні підстави недостатньої якості очищення на наявних очисних комплексах.
2. Які наслідки спричинить перевищення проєктної потужності для споруд очисної станції?
3. До яких негативних наслідків здатне призвести нерівномірне надходження стічних вод на очисну станцію?
4. З яких джерел у міській стічній воді можуть надходити токсичні забруднювачі? Який найбільш важливий метод захисту біологічних очисних споруд від впливу цих домішок?
5. Обставини, що спричиняють надмірне винесення піску з пісковловлювачів.
6. Чим може бути обумовлена низька ефективність функціонування первинних відстійників?
7. Чому виникають проблеми з роботою аеротенків?
8. З чим можуть бути пов'язані проблеми з ефективністю очищення стічних вод на біофільтрах?
9. Чим загрожують перебої з електропостачанням для очисної станції?
10. Яка існує послідовність кроків для з'ясування реального функціонування чинних очисних споруд?
11. Які ключові показники необхідно визначити під час аналізу функціонуючих аеротенків?
12. Сутність оцінки ефективності роботи аеротенків.
13. Як потрібно оцінювати працездатність біофільтрів?
14. Що варто враховувати під час обстеження піскових майданчиків?
15. Особливості аналізу функціонування метантенків?
16. Від яких факторів залежить успішність роботи мулових майданчиків?

## Тема 4 Реконструкція споруд з механічного очищення стічних вод

1. Реконструкція решіток.
2. Реконструкція піскоуловлювачів.
3. Реконструкція відстійників.

### Реконструкція решіток

Решітки на очисних станціях призначені для затримання і вилучення зі стічних вод порівняно великих забруднень. У недалекому минулому рекомендувалося споруджувати решітки з прозорами в 16 мм, затримані на них забруднення надходили на дробарки, і після їх подрібнення знову скидалися в канал перед решітками. Однак практика показала малу ефективність такої схеми.

На сьогодні на великих очисних станціях решітки реконструюються. По-перше, необхідне зменшення прозорів істотно збільшує ефективність затримання сміття. По-друге, замість дробарок, робота яких є малоефективною за наявності волокнистих забруднень, рекомендується скеровувати сміття у спеціальні гідравлічні преси типу ПТГ – поршневі насоси, за допомогою яких ці забруднення пресуються і далі транспортуються по закритому трубопроводу в цех механічного знезараження або в крайньому випадку на складування для вивезення на звалища.

У процесі реконструкції встановлюються ступінчасті решітки фірми «ESMIL GROUP» [4], конструкції яких розроблені п'яти типів для каналів шириною від 500 мм до 1 960 мм з шириною прозорів 2 мм, 4 мм і 6 мм. Ці решітки встановлюються замість звичайних грабельних і поміщаються в існуючі канали за рахунок зменшення товщини смуг із 12 мм до 3 мм і застосування для пристрою смуг більш міцних сталей. Решітки забезпечені пристроями для самоочищення і автоматизовані. Заміна грабельних решіток на ступінчасті дозволила збільшити масу затриманого шламу в 1,3 рази.

Грабельні решітки можуть встановлюватися в каналізаційних насосних станціях (КНС) перекачування стічних вод та в будівлях решіток на майданчику очисних споруд [4]. Відрізняються високою надійністю та простотою експлуатації. Грабельні решітки призначені для вилучення з виробничих і господарсько-побутових стічних вод крупних та середніх відходів з наступним їх механізованим вивантаженням на транспортуючій пристрій або у збірник відходів. Решітки призначені для використання в стічних водах із рН = 6,5–8,5.

Решітки-дробарки «Грізлі» призначені для подрібнення крупних відходів у виробничих та господарсько-побутових стічних водах. Решітки-дробарки можуть встановлюватися в каналізаційних насосних станціях (КНС)

перекачування стічних вод та в будівлях решіток на майданчику очисних споруд. Решітки призначені для використання в стічних водах із рН = 6,5–8,5.

### **Реконструкція піскоуловлювачів**

Головне завдання піскоуловлювачів, що застосовуються на сьогодні – відокремити пісок, що в них випадає з розмірами зерен до 2 мм від органічних забруднень, оскільки пісок осідає в піскоуловлювачах спільно з органічними фракціями і створює великі проблеми під час його переробки і утилізації.

Щодо цього найкращою конструкцією є піскоуловлювач, що аерується з гвинтовим поступально-обертальним плином рідини. Тому має сенс, коли це можливо, переобладнати звичайні піскоуловлювачі, що аеруються. Однак досвід експлуатації пісковловлювачів на каналізаційних станціях показав, що і цей захід із наступним сушінням піску на піскових майданчиках або в бункерах часто не приводить до бажаного результату, оскільки пісок після такого зневоднення неможливо утилізувати і його доводиться просто відвозити і ховати. Це пов'язано з великими транспортними витратами і до того ж є джерелом забруднення навколишнього середовища в місцях поховання, зокрема ґрунтових вод.

Поліпшити якість осаду в піскоуловлювачах можливо шляхом застосування його рециркуляції, тобто вивантажений осад один-три рази повертається в початок піскоуловлювача, і органічні забруднення частково вимиваються. Водночас можливе зменшення органіки в складі піску до 40 %.

За дослідями, які проводилися [1] із вишукування раціональної технології отримання зневодненого і істотно очищеного від органіки піску з пісковловлювачів, розроблена схема, до якої входить подання пульпи, що містить пісок, у гідроциклон і далі в спіральний класифікатор. Після нього за допомогою скребкового конвеєра пісок подається в бункер для зберігання і часткового зневоднення (рис. 4.1). Для більш глибокого ступеня очищення піску та його знезараження рекомендується двостадійна схема обробки піску, доповнена в середині обробки проміжним вібраційним гуркотом і термообробкою (пропарюванням) піскової пульпи з метою її знезараження. У цьому випадку кінцевий продукт (пісок) задовольняє всім санітарним правилам і придатний для утилізації шляхом додавання в асфальтобетонні суміші і для інших будівельних робіт.

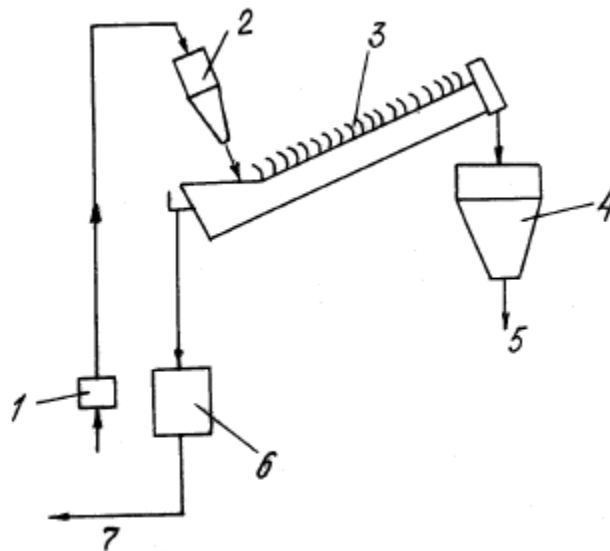


Рисунок 4.1 – Схема обробки осаду з піскоуловлювача:

- 1 – насос; 2 – гідроциклон; 3 – спіральний класифікатор і скребковий конвеєр;  
 4 – бункер із очищеним піском; 5 – пісок на навантаження в автомашини;  
 6 – збірник для зливу води від відмитого піску

### Реконструкція відстійників

Ефективність затримання зважених речовин в звичайних відстійниках досить низька і ледь досягає 50–60 %. Для інтенсифікації роботи відстійників у них вставляються тонкошарові блоки, а також застосовується преаерація і біокоагуляція. Якщо в побутових водах наявні виробничі стоки, особливо поверхнево-активні речовини (ПАР), жири або нафтопродукти, то доцільно переобладнати відстійники у флотаційні біокоагулятори.

Проектування тонкошарових відстійників і умови їхнього застосування детально розглянуті в темі 2, де розглядаються відстійники для оброблення природної води.

Попередня аерація і біокоагуляція здійснюються зазвичай у спеціальних спорудах: преаераторах, біокоагуляторах або в освітлювачах із природною аерацією. Тут наводяться тільки їх основні дані. Преаератори застосовуються перед первинними відстійниками переважно на очисних станціях з аеротенками. Вони можуть бути у вигляді окремих споруд або вбудованими, наприклад, у горизонтальні відстійники. У преаераторів стічні води разом із доданим до них активним мулом продуваються повітрям протягом 20-ти хвилин.

Попередня аерація сприяє флокуляції, тобто укрупненню дрібнодисперсних фракцій зважених речовин, щоб вони інтенсивніше випадали в осад. Доданий в преаератор активний мул прискорює коагуляцію, тобто утворення пластівців із забруднень, які, зі свого боку, сприяють сорбції забруднень. Такі ж процеси

відбуваються в біокоагуляторі та освітлювачах із природною аерацією. Витрата повітря 5 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> стічних вод, тривалість біокоагуляції 20 хвилин.

Біокоагулятори застосовуються не тільки на станціях з аеротенками, але і з біофільтрами. У цьому випадку замість активного мулу застосовується біоплівка, яка вся попередньо обробляється в регенераторах протягом 24-х годин, а потім подається в біокоагулятори або освітлювачі з природною аерацією.

За рахунок застосування біокоагуляторів затримання зважених речовин зростає на 20–25 % порівняно з вертикальними відстійниками. Переобладнання вертикальних відстійників у біокоагулятори здійснюється шляхом вбудовування в них центральної камери біокоагуляції з об'ємом

$$W_k = q_s \cdot t_n, \quad (4.1)$$

де  $q_s$  – витрата стічних вод, що припадає на один відстійник, м<sup>3</sup>/хв;

$t_n$  – тривалість перебування води в камері біокоагуляції дорівнює  $t_n = 20$  хв.

Після цієї камери вода потрапляє в зону відстоювання. Гідравлічне навантаження на зону відстоювання визначається за формулою

$$q_{ss} = \frac{q_s}{f_{\text{від}}} \leq 3 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{год}, \quad (4.2)$$

де  $f_{\text{від}}$  – площа поверхні зони відстоювання, м<sup>2</sup>.

Під біокоагулятори або освітлювачі з природною аерацією переобладнана зазвичай тільки половина відстійників. Справа в тому, що біокоагуляцію шляхом додавання у стічні води надлишкового активного мулу можна вважати універсальним засобом поліпшення відстоювання, оскільки зростає винесення зважених речовин із первинних відстійників, а це в кінцевому підсумку призводить до збільшення обсягу осаду, що підлягає обробці.

Інтенсифікації процесу відстоювання і зменшення обсягу споруд можна досягти також шляхом додавання у стічні води різних реагентів, таких як сульфат алюмінію, хлористе залізо, поліакриламід тощо. Водночас підвищується ефект освітлення, видаляється частина розчинених і колоїдних органічних забруднень. Подібну реагентну обробку стічних вод можна рекомендувати тільки в тих випадках, коли з економічних міркувань недоцільно змінювати конструкцію існуючих відстійних споруд із метою підвищення їх продуктивності.

Поряд із відстійниками, як зазначено вище, за наявності у воді виробничих стоків можна застосовувати флотаційні біокоагулятори, які також переобладнуються зі звичайних відстійників у результаті їх реконструкції. Перевагами флотаційного освітлення стічних вод є менша тривалість освітлення стоків (зазвичай не більше 30-ти хвилин замість 1,5 години відстоювання в звичайних відстійниках), зменшення обсягів осаду, оскільки вологість

флотаційних шламів менша за вологість осадів із первинних відстійників, брак на поверхні аеротенків піноутворення [1]. На рисунку 4.2 зображений вертикальний відстійник, переобладнаний під флотаційні біокоагулятори.

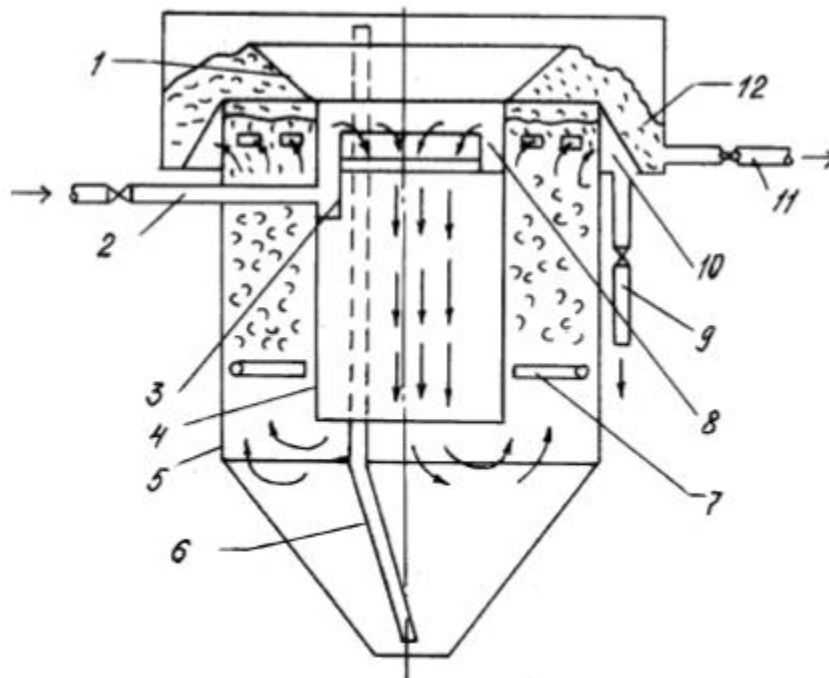


Рисунок 4.2 – Вертикальний флотаційний біокоагулятор:

- 1 – козирок для відділення шламу; 2 – підвідний трубопровід стоків;
- 3 – відбивач; 4 – центральний циліндр біокоагулятора; 5 – стінки відстійника;
- 6 – мулова труба для видалення осаду; 7 – аератори для розподілу повітря;
- 8 – розподільний лоток для подачі води; 9 – трубопровід для відведення освітленої води; 10 – жолоб для збору води після біокоагулятора;
- 11 – трубопровід для відведення піни; 12 – жолоб для збору піни

Сутність флотації полягає в насиченні стічних вод у процесі відстоювання бульбашками повітря. Для цього частина відстоюючої води знову подається у відстійник і під час надходження насичується повітрям за допомогою ежектора, потім накачується в напірний бак.

У цьому баку повітря розчиняється у воді, яка далі надходить до системи аераторів (дірчасті або поруваті труби), розташованих у флотаторі. У відстійній частині флотатора тиск знижується, і бульбашки повітря, виділяючись із води, піднімаються вгору. Разом із бульбашками спливає на поверхню води у відстійнику частина легких фракцій забруднень, що прилипли до них, важкі фракції випадають на дно. Забруднена піна, що утворюється на поверхні флотатора відводиться окремо від води і надходить на подальше відстоювання та очищення. Для інтенсифікації процесу у флотатор-відстійник додається

активний мул або біологічна плівка в кількості близько  $0,2 \text{ кг/м}^3$ , тому подібні споруди називаються флотаційними біокоагуляторами.

На флотаційні біокоагулятори зазвичай відводиться до 70 % кількості стічних вод, інші води подаються у звичайні відстійники. Ефект затримання забруднених речовин досягає 70 %, водночас БСК<sub>20</sub> знижується на 30 %.

Під час використання для освітлення води радіальних відстійників дуже важливо вирівнювати кромку кругових водозливів, розташованих по периметру відстійників. Навантаження на водозливи зазвичай становить від  $0,5 \text{ л/(м}\cdot\text{с)}$  до  $5 \text{ л/(м}\cdot\text{с)}$ . Відхилення по висоті рівня водозливів навіть на 1 мм призводить до нерівномірності відбору рідини з відстійників і до перевантаження або недовантаження відвідних лотків. Водночас домогтися вирівнювання переливних кромок периферійних гладких лотків – непросте завдання.

Для досягнення вирівнювання витрати освітленої води з відстійника в збірні жолоби рекомендується забезпечувати кромки водозливів гребінчастими жолобами, що мають по довжині трикутні або трапецієподібні вирізи. Водночас вдається усунути будівельні дефекти водозливними пристроями та їх нерівномірність. Гребінчасті водозливи споруджуються з дерева або з неіржавійної сталі, але в останні роки їх рекомендують виготовляти з пластмас хвилястого профілю. Такі водозливи випускаються фірмою «Екополімер» [5]. Такий водозливний лоток із пластмаси дозволяє поліпшити розподіл води по довжині водозбору, збільшити коефіцієнт використання відстійника, вирівняти гідродинамічні навантаження для групи відстійників.

### **Контрольні питання**

1. Які існують методи вдосконалення функціонування решіток?
2. Як можна підвищити ефективність піскоуловлювачів з точки зору їхньої пропускної здатності?
3. Які існують варіанти оновлення піскоуловлювачів, що працюють за принципом кругового руху води?
4. Які технологічні рішення можливо розробити для знешкодження та повторного використання піску, зібраного у піскоуловлювачах?
5. Які існують шляхи прискорення роботи первинних відстійників?
6. Як можна підвищити продуктивність первинних відстійників?
7. Як аерація стічних вод перед відстоюванням впливає на процес?
8. Що таке біокоагуляція? Які в неї є переваги та недоліки?
9. Як впровадити біофлокуляцію на існуючих очисних спорудах з первинними відстійниками?

10. Що таке флотаційне освітлення стічних вод? Які технологічні рішення застосовуються?

11. Які бувають типи флотації та які технологічні схеми використовуються?

## **Тема 5 Реконструкція споруд біохімічного очищення стічних вод**

1. Реконструкція біофільтрів.
2. Реконструкція аеротенків.

### **Реконструкція біофільтрів**

До теперішнього часу велика частина біофільтрів під час будівництва завантажується щебнем, галькою, шлаком та іншими об'ємними насипними матеріалами. Досвід їхньої експлуатації показує, що з плином часу відбувається руйнування щебню та інших наповнювачів, збільшення частки дрібних фракцій, а іноді і заболочування завантаження. Активна маса у таких біофільтрах зосереджена переважно у верхньому шарі завантаження товщиною до 250 мм, в нижчих шарах відчувається дефіцит кисню і наявність анаеробних бактерій, особливо в крапельних біофільтрах. Тому основним засобом реконструкції таких біофільтрів є заміна засипного завантаження на пластмасове об'ємне або плоске. Подібне завантаження створює малий опір повітряному потоку, завдяки чому в низці випадків стало можливим відмовитися від штучної вентиляції. Продуктивність біофільтрів зазвичай підвищується в 3–4 рази. Якість профільтрованої води при цьому здебільшого не поліпшується. Залишковий БСК<sub>20</sub> навіть після заміни завантаження на пластмасове все одно залишається в межах 15–20 мгО<sub>2</sub>/л, що в більшості випадків буває недостатнім.

Серед пластмасових завантажень біофільтрів найбільш поширеними є полімерні блоки фірми «Екополімер» (рис. 5.1, а), що збираються з гофрованих листів. Вони мають питому поверхню близько 100 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup> і здатні працювати в діапазоні температур від мінус 30 °С до мінус 65 °С. Виробники гарантують термін служби завантаження до 15–20 років. Обсяги затриманої біомаси складають 75 г/м<sup>2</sup>. Питома поверхня в 3–4 рази більша, ніж щебенева. Внаслідок того, що завантаження дуже легке (40–50 кг/м<sup>3</sup>), зовнішнє огороження біофільтра також можна робити з легких матеріалів, наприклад, із пластмасових або азбестоцементних листів. Для аерофільтрів можливе вимкнення вентиляторів. Заміна завантаження не є складним процесом. На рисунку 5.1, б зображено блок тонкоплівкового гофрованого завантаження [1]. Подібні блоки отримують шляхом склеювання або з'єднання на заклепках гофрованої

поліетиленової плівки з термостійкою поліетиленовою стрічкою на спеціальному верстаті. Щільність отриманого матеріалу не вище за 15–25 кг/м<sup>3</sup>. Блоки випускаються діаметрами 250 мм і 500 мм. Застосовуються також блоки, зібрані з тонкостінних, скляних або пластмасових трубок, закріплені плівкою, що термічно усаджується (рис. 5.1, в). Всі ці блоки мають приблизно однакові характеристики і встановлюються в біофільтрі зі зміщенням на 0,2–0,5 діаметра один на одному (рис. 5.1, г).

Якщо в звичайних високонавантажених біофільтрах навантаження зі стічних вод становить від 10 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> до 20 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> на добу, то в біофільтрах з пластмасовими блоками вона підвищується до 25–40 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> на добу. Висота завантаження збільшується до 3–6 м, (з 2–4 м), але примусова вентиляція зазвичай не потрібна.

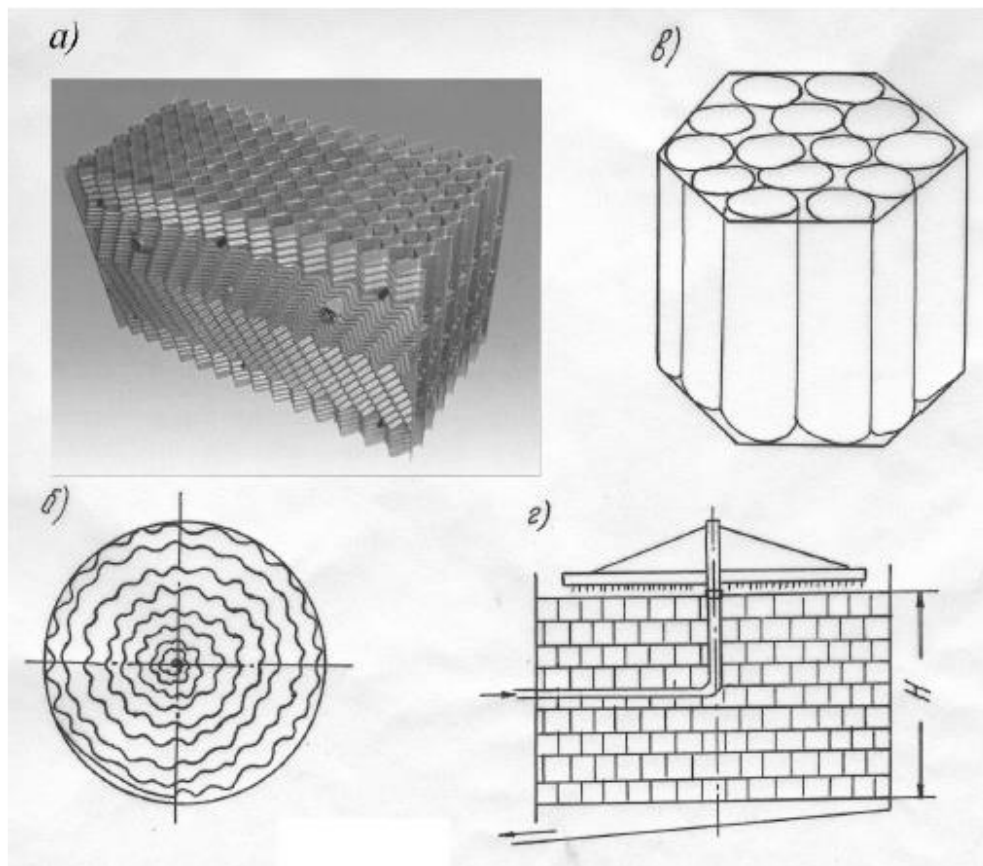


Рисунок 5.1 – Блокове завантаження біофільтрів:

а – блок із гофрованих пластмасових листів; б – блок із рулонного гофрованого пластмасового завантаження; в – блок із тонкостінних скляних або пластмасових трубок; г – схема біофільтра, завантаженого об'ємними блоками

Є досвід застосування біофільтрів із пластмасовим завантаженням, під час використання якого вдається не тільки збільшити продуктивність очисних споруд, а й знизити БСК<sub>5</sub> очищеної води [4]. Для цього стічна вода разом з біоплівкою надходить спочатку в аераційний резервуар, а з нього – на вторинний

відстійник. Тривалість перебування мулової суміші в аераційному резервуарі становить від 25 хв до 50 хв. Інтенсивність аерації становить  $6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ . БСК<sub>5</sub> після другого відстоювання знижується до 9–12 мгО<sub>2</sub>/л, тоді як у разі використання звичайної схеми очищення становить понад 20 мг/л.

### Реконструкція аеротенків

Під час біологічного очищення побутових стічних вод на сьогодні найчастіше застосовуються аеротенки, а ще додається активний мул і застосовується система аерації, подається повітря. Під системами аерації необхідно розуміти комплекс споруд, пристроїв та обладнання, що забезпечують подання та розподіл повітря (кисню) в аеротенку, підтримання активного мулу у зваженому стані та створення сприятливих гідродинамічних умов роботи аеротенків, а також віддування утворених в результаті метаболізму газів, надлишок яких може гальмувати процеси, що відбуваються під час очищення стічних вод в цій споруді.

Системи аерації класифікуються за багатьма ознаками. Відповідно до найпростішої класифікації системи аерації поділяють на пневматичну, механічну та комбіновану (пневмомеханічну або гідропневматичну).

Для оцінки та порівняння різних систем аерації використовують кілька показників:

1. Ефективність аерації – це кількість кисню, який розчиняється в рідині за одиницю витраченої електроенергії, кг О<sub>2</sub>/(кВт·год). Витрата електроенергії на подачу кисню в аеротенку становить до 80 % витрат електроенергії на очисних спорудах.

2. Окисна здатність системи аерації (швидкість розчинення кисню) – це кількість кисню, який розчиняється в 1 м<sup>3</sup> рідини за 1 годину, кг О<sub>2</sub>/(м<sup>3</sup>·рік);

3. Продуктивність аератора за киснем – це кількість кисню, що розчиняється в рідині за годину роботи аератора, кг О<sub>2</sub>/год. Продуктивність вказують зазвичай для механічних, пневмомеханічних та гідропневматичних аераторів.

4. Коефіцієнт використання кисню – кількість кисню, що перейшов у рідину у відсотках від поданого в аеротенки.

Усі зазначені вище показники визначають у стандартних умовах – за нормальної температури 20 °С, нормального атмосферного тиску на безкисневої водопровідної води.

Під час застосування механічних, пневмомеханічних та гідропневматичних аераторів використовується поняття так званої робочої зони

аератора. Є зони, в яких забезпечується необхідна концентрація розчиненого кисню та підтримання активного мулу у зваженому стані.

Основним способом підвищення окислювальної спроможності пневматичної системи аерації є збільшення площі, яку займають аератори в плані аеротенка. Водночас відбувається покращення гідродинамічних умов в аеротенку з точки зору збільшення швидкості оновлення поверхні розділення фаз, що інтенсифікує процеси масообміну. Крім цього дещо збільшити об'ємний коефіцієнт масопередачі можливо за рахунок підвищення інтенсивності аерації. Але найоптимальнішим варіантом є комбінація цих двох способів, тобто зі збільшенням витрати повітря, що подається в аеротенк, потрібно збільшити кількість аераторів.

Під час використання механічної аерації об'ємний коефіцієнт масопередачі можна збільшити за допомогою скорочення об'єму аеротенка, що припадає на кожний з механічних аераторів. Але водночас необхідно пам'ятати, що таке скорочення (для запобігання інтенсивного піноутворення, різкого зниження ефективності аерації, погіршення умов перемішування мулової суміші в аеротенку) можливе до певної межі.

Згідно зі [1] у разі біологічної очистки стічних вод в аеротенках із високими дозами активного мулу найбільш ефективні імпульсні та пневмомеханічні аератори. Під час використання для очистки стічних вод аеротенків-змішувачів із підвищеними дозами активного мулу досить успішно можуть використовуватись струминні аератори (рис. 5.2), принципом роботи яких є залучення атмосферного

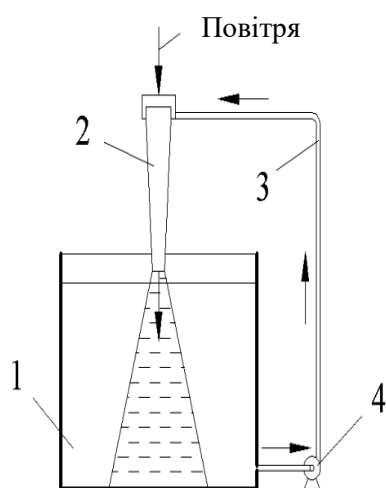


Рисунок 5.2 – Схема установки струминного аератора типу шахтного водозливу:

1 – аеротенк; 2 – струминний аератор;  
3 – напірний трубопровід; 4 – насос

повітря в аеротенк струменем рідини, яка рухається з високою швидкістю (8–12 м/с).

До переваг струминних аераторів належать:

- висока окислювальна спроможність, що сягає  $3 \text{ кг O}_2/(\text{м}^3 \cdot \text{год})$  із високою ефективністю аерації  $2,5\text{--}5 \text{ кг O}_2/(\text{кВт} \cdot \text{год})$ ;

- інтенсивне перемішування мулової суміші;

- простота конструкції аераторів;

- можливість використання низьконапірних насосів;

- висока надійність системи;
- простота обслуговування.

В Україні для біологічного очищення стічних вод найчастіше використовують пневматичні аератори, серед яких найбільш ефективними є дрібнобульбашкові. Основний шлях удосконалення дрібнобульбашкової аерації полягає у створенні аераторів, які були б стійкими до засмічення, а також легкими в монтажі та демонтажі [1].

Поширеними у вітчизняній практиці є поруваті керамічні аератори, відомі як фільтросні пластини або фільтроси. Зазвичай це квадратні пластини розміром 300 мм × 300 мм × 35 мм, виготовлені з висушеної та обпаленої суміші подрібненого шамоту (вогнетривкої глини) з силікатом натрію та кремнефтористим натрієм. Розмір пор фільтросних пластин варіюється від 80 мкм до 300 мкм, водночас середній діаметр бульбашок повітря не перевищує 2,4 мм. Це забезпечує велику площу міжфазового контакту, достатню швидкість спливання бульбашок та сприяє покращенню процесу дифузії кисню в рідину. Пропускна здатність нової фільтросної пластини складає 200 л/хв, а її опір – 210 мм вод. ст. [1].

Перевагами фільтросних пластин є:

- хороша дисперсія повітря;
- відносно невеликі витрати на виробництво та монтаж;
- доступність матеріалу.

Водночас вони мають низку суттєвих недоліків. До них належать:

- труднощі з отриманням рівномірного розподілу повітря в разі під'єднання декількох пластин до одного повітропроводу;
- швидке засмічення як зовні (активним мулом), так і зсередини (іржею), що призводить до збільшення їх опору, зменшення пропускної здатності, погіршення розподілу повітря в муловій суміші;
- тривалий монтаж, який може займати декілька місяців для одного аеротенка;
- необхідність у спеціальних водоскидних стояках.

Фільтросами перекривають канали, що подають повітря, влаштовані у днище аеротенків. Поруваті труби, так само як і керамічні труби, найчастіше виготовляються з поруватого поліетилену. Ці пристрої під час експлуатації здебільшого дуже недосконалі. Часті порушення кріплення фільтросів до каналів і утворення тріщин у місцях з'єднання фільтрувальних труб призводять до перевитрати електроенергії і негативно впливають на технологічний процес. Капітальний ремонт повітророзподільних каналів, фільтрувальних пластин і

труб зазвичай можливий тільки у разі вимкнення аеротенків на тривалий час. Тому в останні роки за кордоном і в нашій країні під час реконструкції аеротенків поширилися тарілчасті поруваті ковпачки та трубчасті аератори різних форм.

Також були випробувані зарубіжні пластмасові аератори – трубчасті і дискові (плоскі) [1], – і сконструйовані свої плоскі дрібнопухирцеві аератори з двошаровими поруватими пластинами (рис. 5.3). Результати випробувань показали, що ці дискові аератори за продуктивністю кращі, ніж трубчасті. Коефіцієнт використання повітря для них склав 15–25 %, наявності відкладень на дні аеротенка не спостерігалось (за інтенсивності аерації  $1,4 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ). Витрати електроенергії для таких аераторів склали  $0,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}$  на  $1 \text{ кг}$  знятої БСК<sub>5</sub>, втрати напору склали 100–200 мм. Діаметр бульбашок повітря під час розроблення повітряно-пропускної пластини був обраний 2–2,5 мм. Розрахункова кількість повітря через один аератор 5–8 м<sup>3</sup>/год.

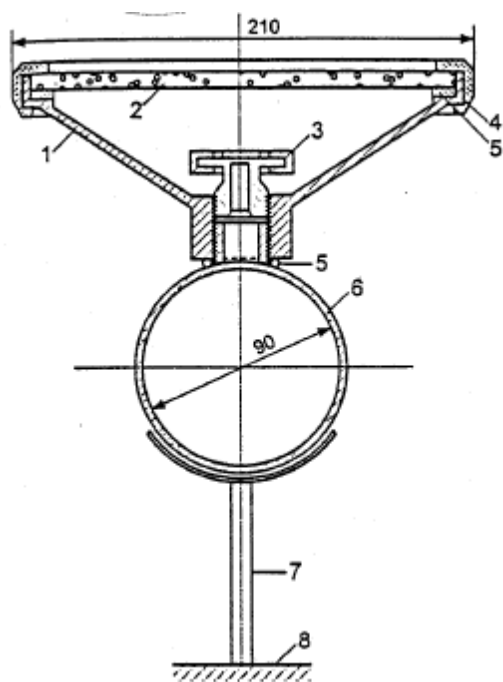


Рисунок 5.3 – Пластмасовий дрібнопухирцевий аератор:

- 1 – корпус аератора; 2 – двошарова порувата пластина; 3 – зворотний клапан;
- 4 – затискне кільце; 5 – гумове ущільнення;
- 6 – повітропровід; 7 – стійка;
- 8 – дно аеротенка

Також негативною особливістю є необхідність спорожнення цілої секції аеротенка під час заміни відірваних пластин.

Складнощів, які виникають під час монтажу фільтросів, можна уникнути, використовуючи фільтросні труби. Наразі в Україні випускають фільтросні труби, що з'єднуються одна з одною за допомогою пластмасових різьбових з'єднань, розташованих на кінцях труб [1].

Популярність на заході здобули трубчасті керамічні аератори, які збираються в секції довжиною до 3,9 м (так звана система «Шумахер»). На 1 пог. м довжини аератора встановлюється від 6-ти до 20-ти керамічних трубок довжиною 500 мм і діаметром 70 мм або 100 мм. У разі потреби в ремонті, секція може витягуватися за допомогою спеціальних поворотних шарнірів без спорожнення аеротенка (рис. 5.4).

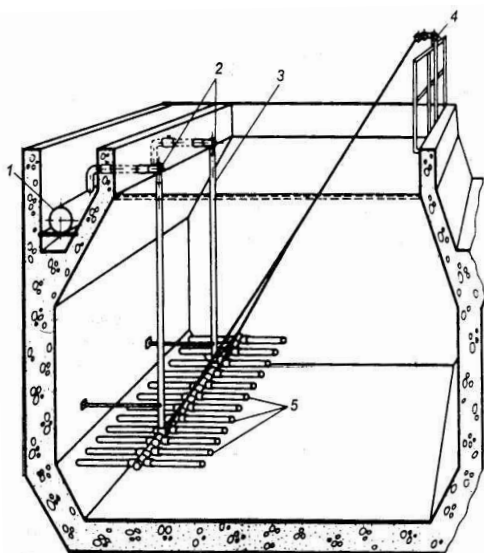


Рисунок 5.4 – Система аераторів із поруватих керамічних труб «Шумахер»:

- 1 – магістральний повітровід; 2 – шарніри;
- 3 – повітряні стояки; 4 – переносна лебідка;
- 5 – поруваті труби

Застосування подібних аераторів порівнянно з традиційними керамічними пластинами (фільтросами) і звичайними поруватими трубами забезпечує скорочення капітальних витрат на 40–50 %, а енерговитрат – на 25–30 %. Крім цього, на відміну від фільтрувальних пластин, які розташовуються зазвичай уздовж однієї із стін аеротенка для додавання бульбашок повітря частково обертального руху,

встановлено, що поруваті пластмасові ковпачки краще розташовувати рівномірно по всьому днищу аеротенка. Водночас зона аерації, тобто відношення площі зони, що аерується до всієї площі аеротенка в плані, досягає майже 1-ці, що дозволяє зменшити витрату повітря та інтенсивність аерації в 1,6 рази порівняно із застосуванням фільтрувальних пластин, покладених уздовж однієї із стін аеротенка.

Перспективним виглядає використання аераторів із тканини, що можуть бути трубчастими, тарілковими та інших форм. У ВНДІ ВОДГЕО з'ясували [1], що за однакового рівня дисперсії повітря, тканинні фільтроси приблизно у 6 разів доступніші, ніж керамічні, а їхнє відновлення відбувається шляхом стандартного прання у розчині мийних засобів.

Заслуговує на увагу конструкція диспергатора, виконаного у вигляді вертикального циліндра, розділеного за висотою сітками. У просторі між сітками розміщуються кульки з легкого матеріалу, водночас розмір кульок зменшується в напрямку руху повітря (знизу догори), що дозволяє досягти необхідного ступеня диспергування повітря.

Поряд із плоскими аераторами, в Україні широко використовуються плоскі аератори відомих українських науково-виробничих фірм «ESMIL GROUP» [4] і «Екополімер». До лінійки аераторів, що виробляються «Екополімер», належать дисковий аератор із еластичною мембраною АКВА-ПЛАСТ, дисковий аератор АКВА-ТОР та трубчасті аератори АКВА-ЛАЙН й АКВА-ПРО, (рис. 5.5), які

також застосовуються під час реконструкції аеротенків [1]. Основу таких аераторів становить опорна пластмасова труба, на якій зовнішня поверхня виконана у вигляді низки поздовжніх ребер і поглиблень, що рівномірно чергуються. У трубі в місцях поглиблень є отвори. Труба має двошарове диспергуюче покриття. Вихід через отвори в опорній трубі повітря по заглибинах рівномірно поширюється уздовж всієї поверхні труби. Кінці труб сполучаються муфтами або розтрубними сполуками з різьбленням. В аеротенках можливо комбінувати трубчасті аератори і плоскі у вигляді ковпачків. Оптимальна витрата повітря 12–16 м<sup>3</sup>/год. Розміри труб: довжина від 1 м до 2 м, внутрішній діаметр від 0,13 м. Гідравлічний опір окремих труб 1,5–2,1 кПа залежно від витрати повітря. Розмір бульбашок повітря 2–2,5 мм.

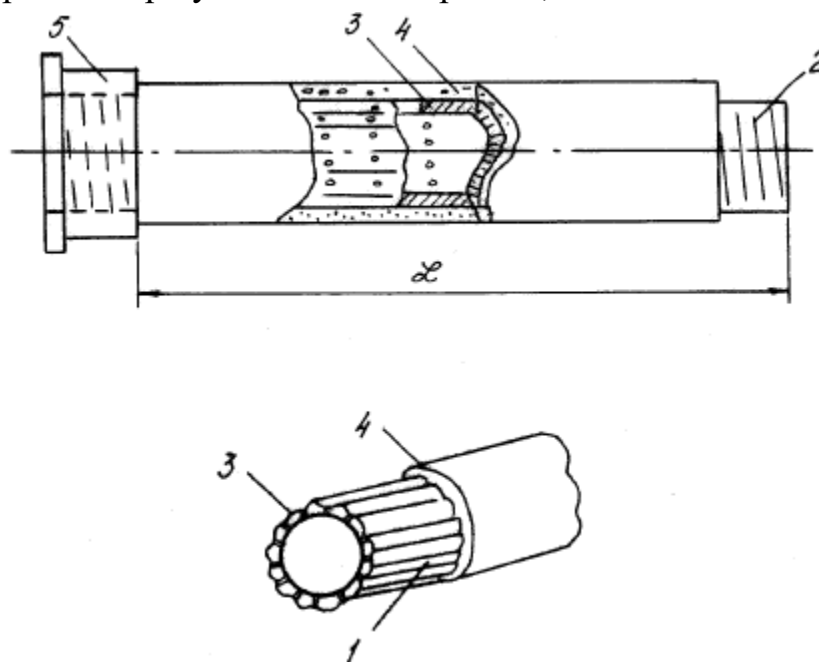


Рисунок 5.5 – Трубчастий аератор «АКВА-ПРО»:

1 – опорна пластикова труба з отворами і заглибленнями; 2 – різьбове закінчення труби; 3 – отвір; 4 – диспергуючий шар; 5 – муфта для з'єднання труб

Обладнанням української науково-виробничої фірми «ESMIL GROUP» [4] користуються не тільки в Україні, а і в європейських країнах та США. А саме дрібнобульбашкові трубчасті аератори Esmil Fiber Tube є довговічними, ефективними та не потребують обслуговування. Вони відзначаються високою ефективністю перенесення кисню (SOTE), стабільною довготривалою продуктивністю та легкою установкою за низьких капітальних витрат.

Аератори ESMIL поєднують ефективність дрібнобульбашкових аераторів із довговічністю крупнобульбашкових завдяки унікальній технології Fiber.

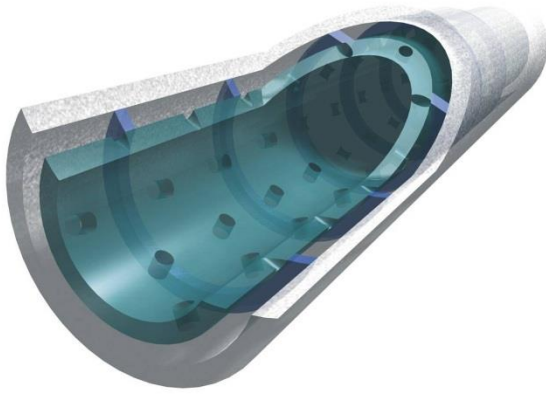


Рисунок 5.6 – Дрібнобульбашковий трубчастий аератор Esmil Fiber Tube

Переваги трубчастих аераторів Esmil [4]:

– дрібні бульбашки, що мають розмір від 2 мм до 3 мм, забезпечують надзвичайну ефективність у передачі кисню; це також сприяє ретельному перемішуванню стічних вод, що є ключовим фактором для ефективної аерації;

– завдяки особливостям конструкції та ретельно підібраним розмірам нанопор, вдається досягти

мінімальних втрат тиску, що є економічно вигідним;

– аератори демонструють високу стійкість до біологічного обростання, що виключає необхідність частого очищення чи заміни обладнання;

– капітальні витрати значно скорочують завдяки мінімальній кількості компонентів та спрощеному процесу монтажу, що робить обладнання більш доступним;

– міцність аератора досягається завдяки унікальній конструкції з двох труб, між якими розташовані кільця жорсткості; це забезпечує тривалий термін служби;

– довжина плити, до 20-ти метрів, забезпечує рівномірний розподіл повітря, що є важливим для ефективної роботи системи.

У низці випадків на біологічні очисні споруди потрапляють води з низькою концентрацією органічних забруднень, наприклад, під час очищення зливових стоків або у разі надходження їх у побутову систему водовідведення. У таких випадках забруднення стічних вод нерідко становить за БПК<sub>20</sub> від 20 мгО<sub>2</sub>/л до 100 мгО<sub>2</sub>/л. Така концентрація недостатня для нормальної роботи аеротенків, оскільки активний мул майже не осідає у вторинних відстійниках і виноситься разом з очищеною водою, приріст активного мулу явно недостатній. Те саме часто відбувається у так званих малих очисних спорудах.

У цьому випадку під час реконструкції аеротенків рекомендується додавати в них затоплене завантаження, на якому відбувається затримання активного мулу (біомаси). Такі аеротенки називаються аеротенками з прикріпленою мікрофлорою.

Як затоплене завантаження широко застосовуються синтетичні водорості – «йоржі» (рис. 5.7). Це гнучкі пухнасті гірлянди з волосіння, вплетеного в

сердечник із неіржавійного дроту. Діаметр «йоржів» дорівнює 120 мм, довжина у 1 м<sup>3</sup> об'єму становить 36–64 м. Вони часто постачаються у вигляді готових касет і так встановлюються в аеротенках. Поряд з «йоржами» іноді застосовують знімні металеві сітки, вініпластові перфоровані плівки та інші завантаження. Основні переваги подібного завантаження – хороші умови для прикріплення мікроорганізмів і висока стійкість утримання активного мулу. Наростання біомаси відбувається всього за 1–1,5 місяця, що значно швидше, ніж у незавантажених аеротенках. Модернізація аеротенків здійснюється без зупинки їх роботи.

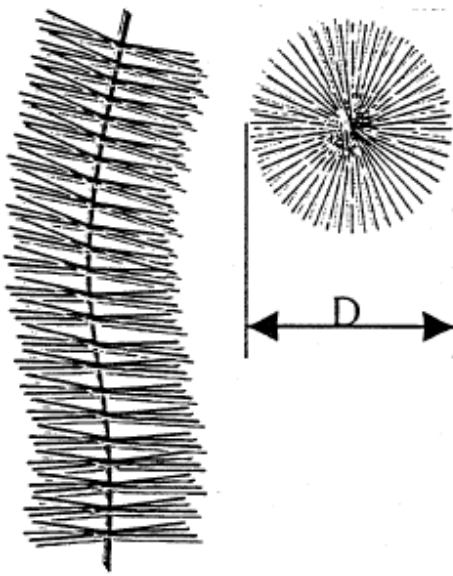


Рисунок 5.7 – Синтетичні водорості («йоржі») для біологічного очищення стічних вод

Важливо, що подібне завантаження аеротенків здійснюється і під час очищення промислових стічних вод із високим вмістом органічних речовин, і в спорудах для доочищення води. З метою вирівнювання навантаження по довжині аеротенків і більш рівномірного витрачання повітря іноді під час реконструкції застосовується часткова рециркуляція мулового середовища з кінця аеротенка в його початок (до 3 %). На напірній лінії цієї циркуляційної системи рекомендується встановлювати гідродинамічні ультразвукові випромінювачі (ГДВ), які, як помічено на експериментах, активізують діяльність мікроорганізмів і різних ферментів, які беруть участь у процесі біологічного очищення. У результаті вдається кінцеве БПК<sub>20</sub> очищеної води зменшити до 7–0 мгО<sub>2</sub>/л замість звичайних 15 мгО<sub>2</sub>/л, зменшити енерговитрати на аерацію води на 20 % і поліпшити седиментаційні характеристики активного мулу без істотних капітальних витрат. Однак треба мати на увазі, що подібний технологічний процес очищення стічних вод поки що перебуває в стадії випробувань.

### Контрольні питання

1. У чому полягає мета посилення функціонування біологічних фільтрів?
2. Які дії необхідно впровадити для вирішення задач реконструкції біофільтрів?

3. Які ключові способи посилення роботи біофільтрів вам відомі?
4. Надайте типові технологічні схеми реконструкції вже функціонуючих станцій з біофільтрами.
5. Як можливо покращити роботу біофільтрів із великим навантаженням?
6. Як впливає вентиляція наповнювача біофільтрів на їхню ефективність?
7. Які існують двоступеневі технологічні схеми очищення стічних вод із використанням біофільтрів?
8. За яких обставин виникає потреба у реконструкції аераційних установок?
9. Які методи існують для посилення ефективності аераційних споруд?
10. Як реалізується процес збільшення кількості активного мулу в аераційних установках?
11. Які технологічні схеми біологічного очищення стічних вод від азоту та фосфору вам відомі?
12. Яким способом можна активізувати роботу аераційної системи?
13. Які ключові методи підвищення окислювальної здатності пневматичної аерації?
14. Які типи аераторів демонструють найвищу ефективність за великих концентрацій активного мулу?
15. Які існують основні підходи до перемішування мулової суміші в аеротенках?
16. У чому сутність гідравлічного методу перемішування?

## **Тема 6 Реконструкція цехів механічного зневоднення осадів**

### *Реконструкція споруд з обробки осадів*

На сьогодні одним з найактуальніших викликів у сфері обробки стічних вод є поводження з осадами, що утворюються під час очищення. На жаль, практика зберігання осадів на мулових картах досі досить поширена [7, 8]. Проте обмеженість придатних територій та погіршення екологічної ситуації в регіонах вимагають переходу від застарілих підходів до сучасних технологій зневоднення.

Одним із ключових факторів під час вибору методу зневоднення є максимальне зменшення об'єму осаду, адже це безпосередньо впливає на скорочення витрат на його подальшу обробку, транспортування та утилізацію. Не менш важливим є використання ефективнішого обладнання та методів рекуперації енергії, що дозволяє додатково оптимізувати експлуатаційні витрати [7].

Одним із найважливіших етапів очищення стічних вод є механічне зневоднення осаду первинних відстійників (або промислових шламів, одержуваних методом флотації або осадження) та/або надлишкового активного мулу.

Осади стічних вод, які утворюються під час їхнього механічного, біологічного та фізико-хімічного очищення, належать до суспензій колоїдного типу, які важко фільтруються, іноді містять специфічні домішки у вигляді жирів, масел, нафтопродуктів тощо. Для їхнього зневоднення на сьогодні на очисних спорудах каналізації (ОСК) здебільшого використовуються стрічкові фільтр-преси, центрифуги і мультидискові шнекові дегідратори.

Промислова група ESMIL вже понад 14 років постачає стрічкові фільтр-преси та згущувачі на об'єкти середньої і високої продуктивності [7]. За цей час було накопичено безцінний досвід запуску й експлуатації зневоднювального обладнання (понад 130 комплексів). Тісна співпраця з експлуатаційними підприємствами допомогла вдосконалити конструкції цих апаратів й забезпечити комфортні умови їхньої експлуатації.

В останні роки серед муніципальних і промислових підприємств зростає попит на економічне й енергоефективне зневоднювальне обладнання для малих і середніх ОСК. Із 2011 року на заводах ESMIL налагоджено виробництво шнекових дегідраторів MDQ за ліцензією японської компанії TSURUMI PUMP [6]. За цей час надійшло понад 60 комплексів механічного зневоднення осаду на базі дегідраторів з одним або кількома барабанами, які зневоднюються. Серед підприємств, які успішно експлуатують дегідратори MDQ – муніципальні об'єкти та промислові підприємства у країнах Європейського Союзу, СНД, Північної і Південної Америки, Близького Сходу, Південно-східної Азії.

Зневоднювальний барабан мультидискового дегідратора (рис. 6.1) складається із зібраного в загальній рамі набору кілець (дисків). Нерухомо закріплені диски в барабані чергуються з рухливими дисками через дистанційні вставки, які забезпечують відстань між дисками від 0,5 мм до 0,15 мм та є фільтрувальними порами для відведення вільної вологи з осаду. У середині барабана розташований шнек зі зменшувальною відстанню між витками від зони надходження зфлоккульованого осаду (зона згущення) до виходу з барабана (зона зневоднення). Під час повільного обертання шнека (1–5 оборотів на хвилину) осад, під впливом витків, просувається до зони вивантаження, поступово втрачаючи вільну вологу через фільтрувальні пори й ущільнюючись за рахунок зменшення обсягу камер між витками. Під час обертання шнека його витки впливають на внутрішню поверхню рухомих дисків, за рахунок чого вони знаходяться в постійному русі щодо нерухомих дисків. Такий плоскопаралельний рух дисків призводить до постійного очищення

фільтрувальних пор навіть під час роботи з опадами, що містять жири й масла (флотошлами).

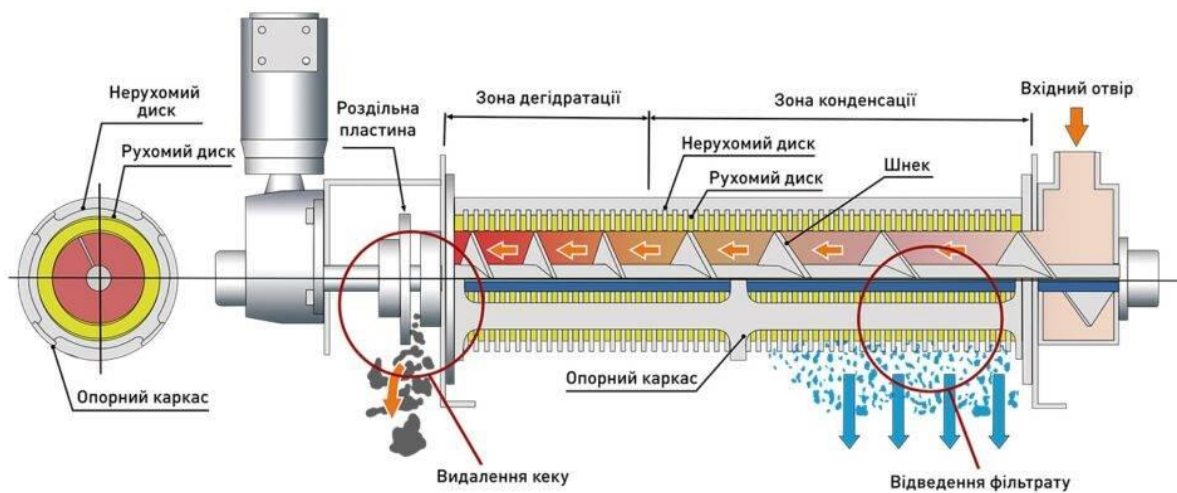


Рисунок 6.1 – Схема роботи мультидискового дегідрататора

Таким чином, вода для очищення фільтрувальних пор під час роботи дегідрататора не потрібна. На виході з барабана розташована пластина, яка створює додатковий протитиск осадженню й сприяє його віджиманню. Відстань між виходом із барабана й пластиною регулюється та, відповідно, тиск на осад можна змінювати залежно від потрібних технологічних показників.

Розглянемо комплексний аналіз витрат на експлуатацію перерахованого вище обладнання, що зневоднює осад, виконаний на основі інформації, отриманої промисловою групою ESMIL від клієнтів компанії, які придбали та експлуатують їх обладнання, а також від потенційних замовників, які експлуатують на своїх ОСК обладнання різних виробників [7].

Завдяку тісному спілкуванню виробництва та споживача, були виявлені проблеми, пов'язані з технічним обслуговуванням устаткування в сфері ВКГ, а саме:

1. Споживач (замовник) рідко звертає увагу на вартість та доступність запчастин для технічного обслуговування й ремонту. Через кілька років це може призводити до витрат на сервіс (включно із запасними частинами та приладдям), порівнянними з витратами на покупку нової одиниці обладнання, які можуть виявитися неприйнятними для експлуатуючої організації.

2. Під час вибору обладнання для зневоднення далеко не завжди враховуються витрати на реагенти, різниця в яких може бути дуже суттєвою.

3. Не поодинокими є випадки, коли експлуатаційний персонал в процесі вибору обладнання участі не бере, або ж його досвід та думка не враховуються під час ухвалення рішення.

4. Спроби обслуговувати технологічне обладнання силами місцевих технічних служб не завжди, але вкрай часто закінчуються погано через брак достатньої кваліфікації персоналу замовника та необхідного технічного оснащення.

Ці дані можуть бути корисні для фахівців, котрі ухвалюють рішення про придбання обладнання для зневоднення, та допоможуть зважити всі ризики та оцінити приховані витрати, пов'язані з експлуатацією.

Кожен тип обладнання для зневоднення має свої переваги і недоліки, які забезпечують найбільшу застосовність в конкретних умовах, насамперед залежно від типу і обсягу осаду, що зневоднюється. Так, наприклад, застосування центрифуг виправдано насамперед для масло- і жировмісних осадів, а також осадів із високим вмістом надлишкового активного мулу. Водночас не рекомендується їх застосування під час роботи з осадами, що містять абразивні домішки, які через недостатність якісної механічної очистки зустрічаються на вітчизняних ОСК дуже часто. Перевагами застосування стрічкових фільтр-пресів є висока продуктивність, особливо відчутна під час роботи з осадами первинних відстійників, низька енергоємність і досить низькі витрати на обслуговування та ремонт. Шнекові мультидискові дегідратори найбільш універсальні за типами осаду та демонструють відмінні результати (вміст сухої речовини (далі – СР) у кеку 18–25 %), під час роботи з різними осадами, зокрема з масло- та жировмісних осадів, осадами з низьким або високим вмістом СВ вихідного осаду, з осадами, що містять абразивні домішки, що обумовлює повсюдну застосовність цього обладнання. Усі три типи розглянутого обладнання у виробників подані досить широкою типорозмірною низкою (табл. 6.1). Це дозволяє підібрати обладнання залежно від необхідної продуктивності.

Однак чи тільки на продуктивність необхідно орієнтуватися у разі підбору обладнання? Узагальнивши власний досвід і інформацію, отриману від технічних фахівців замовників і партнерів [7], ми провели аналіз простоти / складності технічного обслуговування і загальних експлуатаційних витрат. Під час вивчення враховувалися як експлуатаційні витрати, що забезпечують технологічний процес роботи комплексу устаткування, так і витрати на ремонт і технічне обслуговування.

Таблиця 6.1 – Порівняння продуктивності різних типів обладнання (для муніципальних шламів)

	Центрифуга	Стрічковий фільтр-прес (СФП)	Мультидисковий шнековий дегідратор (MDQ)
Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	3–150	5–50	1,5–50
Продуктивність за СР, кг/год	100–4 000	200–1 100	3–420
Концентрація зважених речовин у фільтраті, мг/л	100–800	200–700	200–700

Центрифуги дозволяють домогтися досить високого вмісту сухої речовини і чистого фільтрату. Однак такі результати можливі тільки за високої швидкості обертання барабана, що спричиняє великі витрати електроенергії і збільшення дози флокулянта. Високі експлуатаційні витрати – зворотний бік технологічних переваг центрифуг.

Стрічкові фільтр-преси (далі СФП) і дегідратори (далі MDQ) – набагато більш енергоефективне обладнання. Досить низька швидкість обертання шнеків дегідраторів порівнянна з низькою швидкістю обертання валів фільтр-пресів. У результаті витрати енергії в процесах із застосуванням цих типів обладнання значно нижчі, ніж під час центрифугування. У таблиці 6.2 наведено порівняння витрат на електроенергію, для розглянутих типів обладнання, включно із енерговитратами основного агрегату і допоміжного обладнання (насосів осаду, флокулянта і промивної води, установки приготування реагенту).

Таблиця 6.2 – Порівняння витрат на електроенергію, кВт год на 1 кг сухої речовини осаду

	Центрифуга	СФП	MDQ
Витрати на електроенергію, кВт год на 1 кг сухої СР осаду	≈ 0,1 високі	≈ 0,03 низькі	≈ 0,028 низькі

Завдяки вбудованій ємності флокуляції з регульованим плавним перемішуванням, яке можна контролювати, мультидискові шнекові дегідратори споживають менше цього дорогого реагенту, ніж центрифуги, в яких перемішування відбувається вже в закритому барабані за високих швидкостей, через які найчастіше відбувається розбивання великих флокул на більш дрібні.

Таблиця 6.3 – Порівняння споживання флокулянту

	Центрифуга	СФП	MDQ
Споживання флокулянту, кг/тону СР осаду	4–10	3–6	2–5

Все розглянуте обладнання для зневоднення в кінці кожної робочої зміни має проходити через процедуру обов'язкової очистки робочих частин, що стикаються з осадом і фільтратом. Барабани центрифуг в кінці зміни заповнюються водою для внутрішнього очищення. Під час роботи мультідискового шнекового дегідратора вода з тиском і витратою, як у звичайному водопровідному крані, вмикається автоматично на короткий час не більше, ніж на 3 клапани промивки. Вода в дегідраторі не використовується для очищення фільтрувальних прозорів (оскільки вони і так мають властивість самоочищення), а потрібна тільки для очищення зовнішньої поверхні барабана від несфлокульованих частинок осаду.

Крім миття після зміни, стрічкові фільтр-преси під час процесу роботи постійно потребують води під тиском для очищення фільтрувальних пор своїх стрічок, тому за споживанням води значно випереджають і центрифуги, і дегідратори.

Порівняння потреби в промивній воді наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Порівняння потреби в промивній воді

Обладнання	Потреба в промивній воді
Центрифуга	Використовується очищення внутрішніх поверхонь агрегату; 2–5 м <sup>3</sup> води за зміну
СФП	Використовується для очищення фільтрувальних пор стрічок; потреба від 20 % до 40 % від обсягу вихідного осаду
MDQ	Використовується для промивання зовнішньої поверхні барабана приблизно 1 раз на 10 хв; потреба в промивній воді становить 1–2 % від обсягу осаду; 0,05–1 м <sup>3</sup> води за зміну

Трапляються випадки, коли у вихідному осаді, що зневоднюється міститься багато абразивних домішок (особливо це стосується осадів первинних відстійників). Шнеки і барабани центрифуг дуже чутливі до таких осадів; найчастіше проблеми виникають вже через 2 000–3 000 годин після початку експлуатації, а через 3 000–7 000 годин необхідно проводити ремонт і заміну шнека, що може досягати 20–40 % вартості нової центрифуги. Ситові стрічки фільтр-пресів також можуть бути схильні до пошкоджень гострими краями

абразивних домішок, що значно скорочує їх термін служби і збільшує вміст завислих речовин у фільтраті.

Мультидискові шнекові дегідратори з їх наднизькими швидкостями обертання менш схильні до впливу абразивних домішок в осаді, тому можуть ефективно експлуатуватися без ризику необхідності ремонту і заміни частин барабана 5–7 років експлуатації після запуску.

Для обслуговуючого персоналу, а також задля мінімізації впливів на навколишнє середовище, важливі характеристики обладнання щодо шуму і вібрацій, а також виділення забруднюючих і смердючих речовин в повітря. Мультидискові шнекові дегідратори об'єднують всі позитивні риси, притаманні іншим типам обладнання – їх барабани закриті кожухами, що, як і у разі використання центрифуг, перешкоджає поширенню запахів у цеху. Також, як і стрічкові фільтр-преси, шнекові дегідратори під час роботи не шумлять і не вібрують (У дегідраторів навіть немає додаткового шуму від промивних форсунок, як у фільтр-пресі). Таким чином, облаштування приміщення зневоднення для установки дегідраторів не потребуватиме витрат на спеціальний шумовий захист і захист від вібрацій, а також посиленних систем вентиляції з подальшим обслуговуванням цих додаткових систем. Порівняння за цими параметрами наведено у таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Порівняння за шумом, вібрацією, виділенням запахів

Обладнання	Шум і вібрація	Поширення запахів і санітарний стан у цеху
Центрифуга	Високі значення шуму – понад 70 дБ. Для запобігання передачі вібрації необхідно влаштувати спеціальні фундаменти	Закрита компактна система виключає поширення газів і запаху. Потрібна тільки загальна вентиляція
СФП	Сам агрегат не шумить і не вібрує, але досить сильний шум спричиняють промивні форсунки (50 дБ)	Необхідна надійна система вентиляції і очищення обладнання після кожної зміни
MDQ	Вібрації практично немає, а шум від форсунок трапляється періодично (хвилину-дві на годину) – в межах допустимої норми	Закрита компактна система, виключає поширення газів і запаху. Потрібна тільки загальна вентиляція

Оптимальним обладнанням з точки зору автоматизації на наш погляд є мультидискові шнекові дегідратори. За постійних властивостей осаду вони не

потребують уваги обслуговуючого персоналу в процесі роботи. Водночас початок і кінець робочої зміни для цього обладнання не спричиняє «прикордонних» технологічних періодів, що властиво іншому зневоднювальному обладнанню, і часто створює низку як технологічних, так і експлуатаційних незручностей [7].

Мультидискові дегідратори оснащуються шафами управління на базі контролерів, що дозволяє здійснювати різні алгоритми увімкнення комплексу зневоднення в автоматичному режимі – залежно від рівня у зовнішній ємності з вихідним осадом, у певний час доби, на задані проміжки часу, віддалено з зовнішнього ПК тощо. Така автоматизація процесів дозволяє мінімізувати участь обслуговуючого персоналу в обслуговуванні комплексів на базі мультидискових дегідраторів, а також долучити MDQ до загальної схеми автоматизованої системи управління (АСУ) та диспетчеризації очисних споруд. За такої інтеграції шаф управління дегідратором можливе програмування залучення обладнання комплексу зневоднення у міру накопичення певної кількості осаду на спорудах (синхронізація з автоматичним відведенням осаду в буферні ємності з первинних і вторинних відстійників), досягнення оптимальної вологості для подачі на зневоднення (використання гравітаційних згущувачів) та інших важливих технологічних показників.

До сервісного обслуговування належать як рутинні роботи з технічного обслуговування, які виробляються місцевим персоналом обслуговуючої організації, так і більш складні сервісні роботи, до яких необхідно залучати більш кваліфікований персонал або представників заводів-виробників.

Всі типи обладнання потребують заміни масел у приводних мотор-редукторах, але оскільки ця операція проводиться відносно не часто (один раз на 5–10 років), то порівнянням за цим показником можна знехтувати.

На відміну від стрічкового фільтр-преса, який в своїй конструкції містить значну кількість валів із підшипниковими вузлами, які необхідно змащувати близько 3–5 разів на рік, мультидискові шнекові дегідратори MDQ взагалі не оснащені підшипниками і не потребують рутинної зміни мастила.

Дуже складним є ремонт шнека центрифуг. Провести якісний ремонт (напилення або приварювання стійкого до спрацювання покриття, балансування тощо) шнека центрифуги в умовах ремонтного цеху підприємства практично неможливо, тому ремонтні роботи проводяться на заводі виробника або на його ремонтній базі. Оскільки основна маса якісних центрифуг для зневоднення осадів стічних вод проводиться за кордоном, ремонтні роботи пов'язані з тривалими термінами простою обладнання. Вартість ремонту шнека центрифуги

досягає 25–40 % від вартості самої центрифуги і досить часто проводиться 1–3 рази за 5–9 років експлуатації обладнання.

Основним витратним матеріалом на фільтр-пресах є ситові стрічки і манжети підшипників, необхідність заміни яких виникає один раз на 6–10 років. Важливою перевагою стрічкових фільтр-пресів є оперативність ремонтних робіт. Заміна ситових стрічок займає 1–2 год робочого часу, заміна манжет 2–3 робочі дні, ремонт вала – не більше 2-х тижнів.

Водночас досвід експлуатації мультідискових шнекових дегідраторів MDQ на об'єктах замовників показує, що перші 4–6 років експлуатації це обладнання не потребує будь-яких сервісному обслуговуванні основного робочого агрегату – зневоднює барабана. Після закінчення цього терміну може виникнути необхідність заміни комплекту рухомих кілець, що становить всього 10 % від вартості обладнання, а після 6–10 років роботи необхідна буде заміна шнека, що може скласти 15–20 % від первісної вартості дегідратора. Порівняння за вартістю сервісу, засноване на аналізі експлуатаційних витрат низки підприємств, наведено в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Сервісні витрати і трудовитрати

Обладнання	Сервісні витрати за 5 років експлуатації (у % від вартості обладнання)	Трудовитрати на технічне обслуговування
Центрифуга	25–40	Високі, часто необхідне залучення кваліфікованого персоналу виробника обладнання
СФП	20–25	Високі, іноді необхідне залучення кваліфікованих фахівців
MDQ	Не більше 15	Низькі, для більшості робіт можливе використання персоналу очисних споруд

Зневоднення мулистих осадів у невеличких містах та селищах здебільшого здійснюється на мулових майданчиках. Процес підсушування осаду на них залежить від метеорологічних факторів і відбувається доволі повільно. Для розташування мулових майданчиків необхідні значні території. Окрім цього, вони є небажаними з позиції захисту довкілля. Отже, механічні методи зневоднення осаду мають суттєві переваги порівняно з підсушуванням на мулових майданчиках [5].

У процесі очищення стічних вод лише метантенки мають позитивний

енергетичний баланс. Важливими складовими анаеробної обробки осаду та його утилізації є видобуток та використання біогазу, що забезпечує повторне використання ресурсів та є енергозбережною технологією [1].

Як показує зарубіжний досвід та результати експериментів, за умови правильної організації робіт з отримання та використання біогазу на очисних спорудах систем водовідведення цілком реально забезпечити до 75 % власних енергетичних потреб.

Основними завданнями поліпшення метанового зброджування є:

- зменшення тривалості зброджування зі збереженням необхідного ступеня розпаду органічних речовин;
- збільшення об'єму біогазу, що виділяється в процесі бродіння, для його подальшого використання на обігрів метантенків та отримання інших видів енергії;
- збільшення вмісту метану у біогазі для підвищення ефективності його використання;
- поліпшення вологовіддавальних властивостей зброженого осаду для покращення його зневоднення тощо.

Варто зауважити, що одночасне вирішення вищевказаних завдань зазвичай неможливе, тому необхідно чітко визначити ціль інтенсифікації.

Основними напрямками інтенсифікації процесу анаеробного зброджування в метантенках можуть бути:

- вдосконалення та модернізація технологічних параметрів самого процесу анаеробного зброджування; використання різних прийомів та методів, що сприяють оптимізації анаеробного зброджування;
- покращення та модернізація конструкцій або конструктивних елементів споруд анаеробного зброджування осадів, що сприятиме покращенню умов протікання процесу та підвищенню його ефективності.

До основних методів інтенсифікації роботи метантенків належать:

- підвищення температури зброджування;
- збільшення концентрації осадів, що зброджуються;
- поліпшення перемішування осаду;
- перехід на безперервне завантаження та вивантаження осаду;
- дво- та багатоступеневе зброджування;
- збільшення концентрації анаеробних мікроорганізмів.

Найбільш важливим та визначальним параметром процесу анаеробного зброджування є температура. Робота існуючих споруд анаеробного зброджування може бути інтенсифікована за рахунок підвищення температури

зброджування, тобто переведенням мезофільного режиму зброджування у термофільний ( $t = 53\text{--}55^\circ\text{C}$ ). Водночас процес прискорюється вдвічі. Відповідно збільшуються доза завантаження метантенків та їхня пропускна здатність. Крім того, за термофільного зброджування досягається більш повна дегельмінтизація осадів. Проте такий режим потребує більших витрат енергії на підігрів метантенків, і необхідно враховувати, що після термофільного зброджування дещо погіршується вологовіддача осадів.

Для регіонів із теплим кліматом (наприклад, для південних областей України) проблему анаеробного зброджування в деяких випадках можна вирішити шляхом повного або часткового переходу на психрофільне зброджування ( $t = 15\text{--}17^\circ\text{C}$ ) осаду без його нагрівання. Цей метод можливий за наявності достатньої площі для розширення очисних споруд. Це пов'язано з тим, що за такого режиму зброджування зменшується швидкість процесу бродіння і, відповідно, збільшується необхідний об'єм установок. Однак це компенсується простотою їх конструкції та легкою експлуатацією. Так, в деяких країнах досить поширене використання метантенків у вигляді земляної ємності з похилими стінками та пласким дном, герметичність яких забезпечується пласмасовим плівковим покриттям.

Важливим фактором для перебігу процесу анаеробного зброджування є концентрація осаду. Під час зброджування більш концентрованих осадів можна забезпечити необхідний час зброджування за меншого об'єму метантенків, оскільки збільшується концентрація метаноутворюючих бактерій і біохімічні процеси починаються та протікають швидше. Для цього перед надходженням у метантенки осад повинен ущільнюватися. Рекомендований мінімальний вміст сухої речовини складає 1,5 %. Для інтенсифікації роботи існуючих метантенків можна застосувати попереднє ущільнення осаду за допомогою таких методів, як гравітаційне ущільнення, флотація, центрифугування. Під час ущільнення надлишкового активного мулу найбільш простим та економічним є флотаційний метод. Вітчизняний та зарубіжний досвід показують його ефективність під час ущільнення сирого осаду або його суміші з надлишковим активним мулом. Для попереднього ущільнення осаду часто застосовуються центрифуги, що дозволяють ущільнювати осад до 5–8 % концентрації сухої речовини [96]. Наприклад, під час реконструкції існуючої станції аерації [1] було встановлено 3 центрифуги для попереднього згущення осадів без реагентів від 1 % до 6 % вмісту сухої речовини перед надходженням у метантенки. Це суттєво підвищило ефективність зброджування та збільшило вихід біогазу.

Існують дані про успішну експлуатацію метантенків у разі концентрації

сухої речовини в осаді, що подається, 6–8 %, а також результати напіввиробничих досліджень процесу зброджування осаду з концентрацією до 12–15 % сухої речовини зі зменшенням часу зброджування та збільшенні навантаження за беззольною речовиною [1].

Підвищенню ефективності процесу метанового зброджування сприяє забезпечення регулярного завантаження свіжого осаду та вивантаження зброженого, щоб підтримувати співвідношення беззольної речовини та мікроорганізмів якомога більш стабільним та уникати раптових змін у розвитку мікроорганізмів [1].

Для інтенсифікації анаеробного зброджування використовують попередню обробку осадів різними фізичними та хімічними методами.

Наприклад, пастеризація осаду протягом декількох годин за температури 85–95 °С збільшує швидкість обробки в середньому на 14,8 % [1]. Стерилізація осадів перед зброджуванням протягом 15–20 хвилин за температури 100–120 °С скорочує час зброджування на 30 %, однак вихід біогазу не збільшується.

Попередня обробка осаду ультразвуком забезпечує диспергування часток осаду та його рівномірне розподілення в реакторі.

Результати експериментальних досліджень свідчать, що під час попереднього дезінтегрування біологічних осадів із метою розкриття клітинних оболонок та вивільнення внутрішньоклітинної рідини, клітинна маса стає більш доступною для мікроорганізмів-анаеробів і під час анаеробного зброджування питомий вихід біогазу збільшується на 40 %, а об'єм стабілізованого осаду після зневоднення зменшується вдвічі. Для механічного препарування клітинної речовини біологічних осадів застосовують спеціальний млин та високонапірний гомогенізуючий клапан.

Дослідження впливу попередньої обробки осадів очисних споруд розчином луку на ефективність анаеробного зброджування показали, що під час обробки осадів із концентрацією сухої речовини 1–2 % розчином NaOH із дозуванням 20 мг-екв/л та 40 мг-екв/л, час зброджування скорочується, а вихід біогазу вдається збільшити майже вдвічі.

Інтенсифікувати процес анаеробного зброджування можна також додаванням ферментів.

Додавання гормонів та стимуляторів росту (тестостерону, фітостерону, вітамінів групи Д тощо) також дозволяє інтенсифікувати процес зброджування. У разі додавання спороутворюючих бактерій вихід біогазу збільшується до 70 % [1].

## **Контрольні питання**

1. Яке обладнання застосовують під час механічного зневоднення осаду?
2. Назвіть переваги мультидискових шнекових дегідраторів над іншим обладнанням?
3. Які є ключові цілі інтенсифікації процесу метанового зброджування?
4. У чому полягає суть основних напрямків та головних методів інтенсифікації функціонування метантенків?
5. Які способи попередньої обробки осаду використовуються з метою посилення процесу зброджування?
6. Які пристрої використовуються в процесі реконструкції вже існуючих метантенків?
7. Які технологічні схеми використовуються для утилізації біогазу та побічного тепла?
8. Які прийоми застосовуються для інтенсифікації аеробної стабілізації на працюючих очисних спорудах?
9. Які методи інтенсифікації процесу механічного зневоднення осадів, а також природного сушіння на мулових майданчиках?

## **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 РЕКОНСТРУКЦІЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД**

### **Тема 7 Вимоги до реконструкції гідротехнічних споруд**

1. Вимоги до реконструкції гідротехнічних споруд.
2. Роль та етапи реконструкції у забезпеченні функціонування гідротехнічних споруд.

### **Вимоги до реконструкції гідротехнічних споруд**

Сучасні технології широко застосовуються у всьому світі для гідротехнічних споруд (далі ГТС), забезпечуючи високу технічну надійність і безпеку цих споруд [10].

Сучасні технології в цій галузі стосуються будівельних матеріалів, обладнання, пристроїв і механізмів та методів їх застосування, включно із технологіями лиття під тиском, технологіями гідроізоляції, технологіями захисту від корозії та технологіями вибухозахисту, які забезпечують високу адгезію та міцність конструкцій. Крім того, сучасні проєктні рішення з компонування та використання будівельних матеріалів і конструктивних елементів у спорудах

підвищують експлуатаційну надійність гідротехнічних споруд та стійкість конструктивних елементів до низки негативних впливів.

Світова практика також містить ефективні заходи щодо боротьби з замуленням чаш водосховищ, захисту гребель і майданчиків, зниження ризику руйнування гребель у разі таких явищ, як землетруси і деформації, що з кожним роком стає все більш актуальним, враховуючи ґрунтово-кліматичні умови. Водночас необхідно звернути увагу на сучасні вимірювальні прилади і пристрої, що використовуються в міжнародній практиці, контрольовано-вимірювальне обладнання на базі сучасних технічних засобів контролю з регулярним моніторингом, інші технічні засоби для автоматизованого управління роботою ГТС.

Тому роботи із забезпечення надійності та безпеки ГТС не повинні завершуватися після будівництва, ремонту або реконструкції цих об'єктів. Це пов'язано з тим, що всі ідеї, закладені в проєктні рішення під час будівництва, ремонту та реконструкції, можуть виявитися не повністю ефективними, якщо ГТС не буде експлуатуватися на достатньо високому технічному та організаційному рівні. Тому для надійної та безпечної експлуатації ГТС важливо визначити відповідні правила та інструкції з експлуатації об'єкта з урахуванням існуючої законодавчої бази та сучасних технологій. Для вирішення цього питання необхідно розробити методологію загальних правил експлуатації ГТС.

Запропонована методологія дослідження і впровадження зазначених та інших нововведень є ключовою для успішної реалізації завдання забезпечення надійності та безпеки технічного стану ГТС системи, включно з усім життєвим циклом ГТС.

Основні вимоги до гідротехнічних споруд [10]:

– під час проєктування, будівництва та експлуатації гідротехнічних споруд необхідно виконувати вимоги законодавства України та нормативних документів у галузі гідротехнічного будівництва, «Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд»;

– за умов належної експлуатації гідротехнічних споруд основні вимоги до них повинні виконуватися протягом обґрунтованого строку служби споруд з урахуванням передбачуваних навантажень та впливів на них згідно з ДБН В.1.2-2. Основними вимогами до гідротехнічних споруд є:

– забезпечення міцності та стійкості згідно з ДБН В. 1.2-6;  
– забезпечення пожежної безпеки згідно з ДБН В. 1.2-7, ДБН В. 1.1-7, техногенної безпеки та інженерно-технічних заходів цивільного захисту (цивільної оборони) згідно з ДБН В. 1.2-4 і ДСТУ Б А.2.2-7;

- забезпечення безпеки життя і здоров'я людини та захисту навколишнього природного середовища згідно з ДБН В.1.2-8, ДБН А.2.2-1, ДБН В.1.2-4 та ДСТУ Б А.2.2-7;
- забезпечення безпеки експлуатації з виключенням ризиків нещасних випадків згідно з ДБН В.1.2-9;
- захист від шуму згідно з ДБН В. 1.2-10;
- економія енергії, водних ресурсів згідно з ДБН В. 1.2-11.

Під час проектування, будівництва та експлуатації гідротехнічних споруд необхідно дотримуватися вимог міцності та стійкості, наведених у ДБН В. 1.2-6. Навантаження на гідротехнічну споруду під час будівництва та її експлуатації не повинне призводити до руйнування її в цілому чи окремих її частин і деформації, більшої за ту, що допускається будівельними нормами.

Під час проектування, будівництва та експлуатації гідротехнічних споруд необхідно дотримуватися вимог пожежної безпеки згідно з ДБН В.1.2-7, техногенної безпеки та інженерно-технічних заходів цивільного захисту (цивільної оборони) згідно з ДБН В.1.2-4: збереження несучої здатності конструкцій гідротехнічних споруд протягом визначеного часу; обмеження поширення вогню та диму в гідротехнічній споруді (будівлях ГЕС, ГАЕС, насосних станціях тощо) на інші сусідні споруди і прилеглі території; забезпечення у разі виникнення небезпеки евакуації людей зі споруди або їхнє рятування в інший спосіб; забезпечення безпеки рятувальних команд.

Під час проектування, будівництва та експлуатації гідротехнічних споруд необхідно дотримуватися вимог безпеки життя і здоров'я людини. Гідротехнічні споруди повинні відповідати вимогам законодавства України з питань захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру та ДБН В.1.2-4 охорони здоров'я людей та навколишнього природного середовища та ДБН В. 1.2-8.

Під час розроблення проєкту гідротехнічних споруд необхідно керуватися чинним законодавством України і нормативними вимогами, спрямованими на забезпечення безпеки споруд згідно з ДБН В.1.2-9, вживання інженерно-технічних заходів цивільного захисту (цивільної оборони) згідно з ДБН В. 1.2-4 і ДСТУ Б А.2.2-7.

Під час проектування, будівництва та експлуатації гідротехнічних споруд необхідно дотримуватися вимог захисту від шуму та ДБН В.1.2-10. Рівень шуму та вібрації у гідротехнічних спорудах від роботи технологічного обладнання не повинен перевищувати встановлених норм.

Під час проектування, будівництва та експлуатації гідротехнічних споруд необхідно дотримуватися вимог економії енергії та ДБН В.1.2-11. Під час зведення гідротехнічної споруди та її експлуатації необхідно забезпечити ефективне використання енергії з урахуванням кліматичних умов.

Під час проектування, будівництва та експлуатації гідротехнічних споруд класу наслідків (відповідальності) СС3 та СС2-1 необхідно передбачати їх науково-технічний супровід згідно з ДБН В. 1.2-5 (призначення класу (підкласу) наслідків (відповідальності) гідротехнічних споруд див. 2.1).

### **Роль та етапи реконструкції у забезпеченні функціонування гідротехнічних споруд**

Реконструкція гарантує тривалу роботу гідротехнічних об'єктів шляхом ліквідації недоліків, оновлення та підвищення їхньої стабільності, надійності та безпеки. Її головна задача полягає у відновленні міцності конструкцій, вдосконаленні гідравлічних властивостей та пристосуванні до сучасних стандартів експлуатації. Стадії реконструкції містять:

- попереднє обстеження;
- розробку проекту;
- безпосереднє виконання робіт;
- моніторинг та впровадження в експлуатацію.

Роль реконструкції:

- відновлення та посилення:
- реконструкція повертає міцність конструкціям, усуває дефекти, які з'явилися під час експлуатації, і зміцнює елементи, що не відповідають сучасним навантаженням.

Модернізація та збільшення ефективності дозволяє впроваджувати новітні технології та матеріали, що поліпшує гідравлічні, експлуатаційні та екологічні параметри споруди.

Одним із головних завдань також є збільшення надійності та безпеки роботи споруди, що критично важливо для гідротехнічних об'єктів.

Реконструкція сприяє адаптації споруди до змін в навколишньому середовищі та до нових правил експлуатації.

Стадії реконструкції:

1. Обстеження та діагностика. Огляд споруди: вивчення стану всіх компонентів споруди, виявлення дефектів та ушкоджень.

Інструментальні дослідження: здійснення вимірювань, що дозволяють визначити стан матеріалів, несучу здатність та наявність деформацій.

2. Передпроектні дослідження та аналіз. Збір вихідних даних: вивчення історії експлуатації споруди, наявних проектних рішень та результатів попередніх обстежень.

Обґрунтування потреби у реконструкції: аналіз причин появи дефектів та визначення оптимального способу вирішення проблеми.

3. Проектування: розробка технічних рішень: створення проекту, який містить нові схеми, матеріали та технології для усунення дефектів та вдосконалення функцій споруди.

Отримання дозвільних документів: узгодження проекту з відповідними органами та отримання необхідних дозволів.

4. Виконання робіт. Демонтажні роботи: видалення старих, пошкоджених елементів.

Будівельні роботи: монтаж нових елементів, використання сучасних матеріалів, ремонт та посилення наявних конструкцій.

Установка обладнання: монтаж нового гідромеханічного, електротехнічного та іншого обладнання.

5. Моніторинг та впровадження в експлуатацію. Контроль якості: постійний контроль за виконанням робіт на всіх етапах.

Випробування: проведення випробувань для перевірки функціональності споруди та її нового обладнання.

Впровадження в експлуатацію: офіційне впровадження реконструйованої споруди з подальшим моніторингом її роботи.

### **Контрольні питання**

1. Чого стосуються сучасні технології під час реконструкції гідротехнічних споруд?

2. Чого необхідно дотримуватися під час проектування, будівництва та експлуатації гідротехнічних споруд?

3. Назвіть сучасні технології, які сьогодні широко застосовуються для забезпечення високої технічної надійності і безпеки гідротехнічних споруд.

4. Які основні вимоги до гідротехнічних споруд ви можете навести?

5. Перелічіть стадії реконструкції гідротехнічних споруд.

6. Яка роль реконструкції гідротехнічних споруд?

## Тема 8 Реконструкція водозабірних споруд

1. Реконструкція підземних водозабірних споруд.
2. Реконструкція водозабірних споруд на поверхневих джерелах.

### Реконструкція підземних водозабірних споруд

Необхідність реконструкції та/або інтенсифікації підземних водозаборів виникає у таких випадках:

1. Дебіт свердловини зменшився або його необхідно збільшити.
2. У воді, що відкачується, з'явилися частинки водоносної породи.
3. Погіршилась якість води.
4. Необхідно скоротити споживання енергії.

Інтенсифікації передують ретельне обстеження споруд.

#### *Обстеження роботи діючих споруд*

Обстеження підземних водозаборів здійснюється у декілька етапів:

- збирають та аналізують документацію з буріння, відкачувань, монтажу водопідйомника, експлуатації свердловини, аналізів води, що здійснені раніше за ремонти, обстеження тощо;
- за паспортом свердловини звіряють місце розташування, назву організації, що бурила свердловину, спосіб буріння, абсолютну відмітку поверхні землі;
- аналізують геологічний розріз, зразки порід, конструкцію свердловини;
- отримані матеріали порівнюють із гідрогеологічними даними по району;
- уточнюють відомості про фільтрову колону: довжину і діаметри надфільтрової та робочої частини, відстійника, діаметр отворів і матеріал каркасу, сітки та дроту, назву та номер сітки або діаметр та крок дроту, крупність та товщину гравійної обсыпки, висоту, спосіб засипки, конструкцію сальника та пробки;
- уточнюють статичний рівень (СР) води, дебіт, пониження, питомий дебіт<sup>4</sup> під час дослідного відкачування та в період її експлуатації;
- систематизують відомості з експлуатації свердловини: час експлуатації, перерви в роботі насосу, причини зупинок тощо.

Потім здійснюють попереднє обстеження свердловини в натурі. Визначають марку насосу, його технічний стан, наявність та стан системи контролю та управління, арматуру, обв'язку свердловини. Оглядають устя свердловини, перевіряють цементацию міжтрубного простору, встановлюють, як

<sup>4</sup> Питомий дебіт – відношення продуктивності свердловини до пониження, розмірність – м<sup>3</sup>/год·м.

часто промивають резервуари чистої води, беруть пробу осаду з нього на аналіз (можлива наявність піску).

Під час обстеження устя свердловини необхідно звернути увагу на наявність і стан ущільнювальних сальників в отворах опірної плити для введення кабелю, сенсорів виміру рівня води, резинової прокладки між опірною плитою та фланцем устьового патрубку.

Вимірювання рівня води у свердловині здійснюють рулеткою з метрированим дротом або сталевим канатиком, з'єднаним із наконечником – електрорівнеміром, який працює за принципом замикання водою ланцюгу між сенсором, що опускається в свердловину, та землею. Для вимірювання рівня води в свердловині можна використовувати і більш складні прилади – манометричні, поплавкові, самописні тощо. Статичний рівень води у свердловині вважається ustalеним, якщо протягом 6-ти годин він практично не змінюється. Дебіт можна виміряти водоміром, ультразвуковим накладним витратоміром або іншими витратовимірами.

Після цього встановленим насосом або спеціально змонтованим водопідйомним обладнанням відкачують воду та визначають статичний рівень, динамічний рівень (ДР), питомий дебіт. Крім того, відбирають проби води на аналізи (мікробіологічний, токсикологічний та органолептичний).

Під час використання для підйому води насосів необхідно отримати їх фактичні характеристики. Для занурених насосів методика дещо змінюється, оскільки напір тут визначається інакше.

Напір занурених насосів визначається за такою формулою [1]:

$$H = H_H + Z_H - Z_D + h + \frac{V^2}{2g}, \quad (8.1)$$

де  $H_H$  – напір, визначений за показаннями манометра, м;

$Z_H, Z_D$  – геодезичні відмітки осі манометра та динамічного рівня води, м;

$h$  – втрати напору на вході в насос та у водопідйомній трубі від насоса до манометра, м;

$V$  – швидкість води у водопідйомній трубі, м/с.

Втрати напору наближено визначаються за такою формулою:

$$H = (1,2 - 1,3) \cdot 1\,000 \cdot i \cdot L, \quad (8.2)$$

де 1,2 – 1,3 – коефіцієнт, що враховує місцеві опори;

$L$  – довжина водопідйомної труби від насоса до манометра, км;

$1\,000 i$  – гідравлічний ухил, м/км.

### Бурові свердловини

За отриманими під час обстеження даними виконують перевірочний розрахунок системи «свердловина – споживач». Знаючи матеріал труб, діаметри, фактичний опір труб, будують п'єзометричну лінію та порівнюють її з даними манометричної зйомки. Оцінюють правильність підбору насосів, необхідність регулювання їх роботи, взаємовпливу свердловин.

Інтенсифікація водозабірних свердловин може бути досягнута як шляхом відновлення дебіту діючих, так і будівництва нових свердловин.

У процесі експлуатації водозабірних свердловин питомий дебіт їх може зменшуватись. Це відбувається внаслідок таких можливих причин, як:

- заростання отворів у фільтрі та пор в оточуючому фільтр водоносному шарі солями заліза, кальцію або біологічною плівкою;
- механічне заклинювання цих отворів частинками, більш мілкими, ніж основна маса водоносної породи;
- зниження статичного рівня через збільшення загального відбору води з водоносного пласту заново побудованими свердловинами;
- надходження води з водоносного пласту, що експлуатується, до тих, що не експлуатуються через тріщини у заробці затрубного та міжтрубного простору або через свищі, що утворились в обсадних трубах в результаті їхньої корозії;
- зміни характеристик насосного обладнання.

Вплив деяких причин на зменшення продуктивності свердловин зведено в таблицю 8.1 [1].

Таблиця 8.1 – Можливі причини зменшення дебіту свердловин

Статичний рівень (СР)	Динамічний рівень (ДР)	Питомий дебіт	Можливі причини зміни продуктивності
Без змін	Вище, ніж раніше	Без змін, або дещо більше	Зменшення продуктивності насосу
Постійне пониження на $\Delta H_1$	Постійне пониження на $\Delta H_1$	Без змін	Збільшення на $\Delta H$ районної депресії
Періодичне пониження на $\Delta H_2$	Періодичне пониження на $\Delta H_2$	Без змін	Вплив роботи сусідніх свердловин
Без змін	Нижче, ніж раніше	Зменшення	Замулення свердловини, фільтра та прифільтрової зони

В деяких випадках зменшення продуктивності свердловин може відбутись у результаті погіршення умов живлення водоносного пласту (зменшення випадіння атмосферних осадів, дренавання території тощо). У цьому випадку вдаються до штучних методів поповнення запасів підземних вод.

Погіршення якості води у більшості випадків відбувається в результаті порушення режиму в зоні санітарної охорони, а також через надходження забруднених поверхневих вод, що проникають у водоносний пласт крізь устя свердловини по незатампованому або погано затампованому затрубному простору.

Якщо в процесі експлуатації виявлено погіршення мікробіологічних показників якості води, свердловину дезінфікують та виявляють джерела забруднення води. Для усунення більш стійких забруднень очищують труби та насосне обладнання і обробляють надводну та підводну частини свердловини розчином хлорного вапна (концентрацією до 50 мг/л), який додають у заливочні труби.

Аналіз отриманих даних дозволяє встановити причину зменшення продуктивності свердловини та намітити заходи щодо її відновлення (табл. 8.2).

Таблиця 8.2 – Аналіз контрольних вимірювань і рекомендації щодо відновлення продуктивності свердловин

Результати контрольних вимірювань	Причини зменшення продуктивності свердловин	Рекомендації щодо відновлення продуктивності свердловин
1	2	3
Дебіт, питомий дебіт, СР, вміст піску не змінились; ДР понизився, пониження збільшилось	Дебіт зменшується внаслідок заростання фільтра та прифільтрової зони осадками; фільтрова колона та насос справні	Здійснити профілактичний ремонт, у подальшому інтервал між такими ремонтами обрати рівним одному року
Пониження, питомий дебіт та вміст піску не змінились; зменшився дебіт, понизився СР та ДР	Спрацювання п'езометричного рівня по району (районна депресія), свердловина справна	Збільшити глибину занурення насоса та продовжити експлуатацію цього пласту або перейти на нижчий горизонт
СР, питомий дебіт та вміст піску не змінились, дебіт та пониження зменшились, ДР підвищився	Несправність насоса	Здійснити ремонт насоса, інтервал між профілактичними ремонтами встановити не більше ніж один рік

Продовження таблиці 8.2

1	2	3
Дебіт та питомий дебіт збільшились, СР не змінився, ДР підвищився, пониження зменшилось, вміст піску збільшився.	Неповна розглинізація свердловини або продовження формування природного зворотного фільтра (або і те й інше); на забої наявна піщана пробка, що не здійснює помітного впливу на дебіт свердловини	Експлуатацію свердловини можна продовжувати
СР та вміст піску не змінились, дебіт та питомий дебіт зменшились, ДР понизився, збільшилось пониження	Заростання фільтра та прифільтрової зони хімічними осадами, а також несправність насосу та накопичення осадів в насосній лінії	Демонтувати насос, оглянути та усунути несправності; у випадку несправності насосу здійснити механічну очистку та обробку свердловини; інтервал планово-попереджувального ремонту (ППР) свердловини та насосу обрати рівним одному року
Дебіт не змінився або зменшився, СР та вміст піску не змінились, пониження та питомий дебіт збільшились, ДР понизився (вимірюванню не підлягає – нижче за насос) – ДР опустився до критичної відмітки	Відбулося заростання фільтра та прифільтрового простору; фільтр, сальник, пробка відстійника порушені, можливі несправності в насосі	Демонтувати насос, оглянути та полагодити, у випадку справності насосу здійснити ремонт свердловини, інтервал між ППР обрати 6 місяців
Подача дорівнює 0, СР рівний ДР	Насос несправний	Ремонт або заміна насосу
СР не змінився, спочатку піску не було, під час вимірювань виявлений пісок, дебіт та питомий дебіт наближаються до 0 (подача води пульсує), пониження зростає, ДР наближається до критичної відмітки (верх насосу)	Несправність водоприймальної частини (руйнування фільтрової або опускання обсадної колони, заповнення фільтра піском внаслідок пошкодження сальнику, обмотки фільтра або несправності ізоляції відстійника)	Демонтувати насос, дослідити свердловину та усунути несправності, замінити фільтрову колону

У випадку зменшення продуктивності свердловини через механічну кольматацію фільтра або прифільтрової зони частинками водоносної породи, а також хімічну кольматацію (гідратованими окисами та солями) вдаються до спеціальних методів відновлення продуктивності свердловин. До основних із них належать імпульсні, реагентні та імпульсно-реагентні [1].

*Імпульсні методи* засновані на створенні всередині фільтра та прифільтрової зони миттєвого перепаду тиску, що призводить до ударних навантажень різної інтенсивності, що утворюють фільтраційні потоки навперемінного напрямку.

Спільна дія ударних та фільтраційних сил здійснює руйнівний ефект на кольматант, що цементує отвори фільтрів та прифільтровий простір. Регенерація свердловин за цими методами здійснюється вибухом торпед із детонуючого шнуру, електрогідравлічним ударом, пневмовибухом та іншими способами. Вибухові методи очищення фільтрів та свердловин застосовують під час закладання їх у міцних тріщинуватих породах, а також у разі заростання фільтрів щільними, міцними осадками, в яких переважають карбонати та солі кремнієвих кислот.

Під дією вибуху торпеди з детонуючого шнуру в зоні фільтра та в зоні водоприймальної частини безфільтрової свердловини утворюються великі тріщини, а в результаті обвалення породи збільшується діаметр водоприймальної частини свердловини. Рекомендується використання вибухового методу в свердловинах не більше 3-х разів через небезпеку руйнування фільтра та виходу свердловини з ладу.

Електрогідравлічна обробка ґрунтується на руйнуванні та видаленні кольматуючих відкладень хвилями, що виникають за імпульсних та електричних розрядів. Для цього використовуються спеціалізовані установки, що забезпечують створення електрогідравлічного удару за довжиною фільтра з тиском до 5–6 МПа. Енергія, накопичена в конденсаторі розрядного контуру, через повітряний проміжок по коаксиальному кабелю в формі імпульсу току високої напруги подається до рідинного розрядного пристрою, зануреного в свердловину в зоні розташування фільтра. У рідинному розряднику, що безперервно переміщується вздовж фільтра, збуджуються ударні хвилі.

Пневмоімпульсна дія здійснюється спеціальними установками, що утворюють за допомогою стисненого повітря (за високого тиску повітря) у стволі свердловини хвилі підвищеного тиску інтенсивністю до 4 МПа та фільтраційні потоки з високими градієнтами.

Імпульсні методи регенерації дозволяють відновити продуктивність свердловин до 40–60 % від початкової під час міжремонтного періоду в умовах подальшої експлуатації не менше одного року.

Реагентні методи обробки свердловин ґрунтуються на використанні реагентів, що сприяють розчиненню кольматантів у фільтрі та прифільтровому просторі. Вони дозволяють домогтися практично початкової продуктивності свердловин.

Підбір реагентів здійснюється залежно від складу водоносних порід, конструкції свердловин та фільтра, а також характеру кольматуючих осадів.

Найбільш поширеним розчином є інгібована соляна кислота концентрацією 10–15 %. Для обробки однієї водозабірної свердловини необхідно від 300 кг до 1 000 кг соляної кислоти залежно від діаметра та довжини фільтра. Обробка свердловини зводиться до декількох циклів, що повторюються, кожен із яких складається з таких операцій (рис. 8.1) [4].

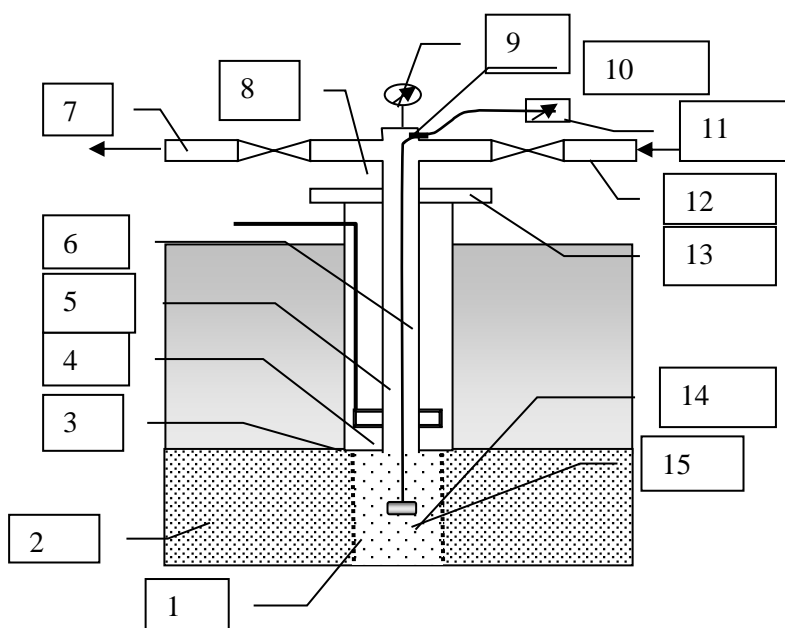


Рисунок 8.1 – Схема реagentної обробки свердловини:

- 1 – фільтр; 2 – водоносна порода; 3 – обсадна колона; 4 – пневматичний пакер; 5 – труба подання повітря; 6 – дво жильний кабель; 7 – трубопровід для випуску продуктів реакції; 8 – оголовок; 9 – манометр; 10 – сальник; 11 – омметр; 12 – трубопровід для подання реагенту; 13 – опора; 14 – реагент; 15 – сенсор для вимірювання електричного опору розчину

По трубопроводу (12) здійснюється подання розчину соляної кислоти самопливом. Одразу після зливу кислоти оголовок (8) свердловини

перекривається, та компресором по трубопроводу (5) подають повітря для стиснення води до визначеного рівня.

Після закінчення 15–20 хв компресор зупиняють та по трубопроводу (7) скидають продукти реакції. Після того як рівень в свердловині відновиться, операцію повторюють 8–10 разів протягом двох годин.

Продавлювання кислоти стисненим повітрям через фільтр у прифільтрову зону, заповнену кольматантом, сприяє його розчиненню, після чого продукти реакції видаляються зі свердловини.

Після закінчення обробки свердловини демонтують герметизуючий пристрій, монтують ерліфтну систему або занурений насос та здійснюють відкачування, в результаті якого видаляють залишкову кількість реагенту та продуктів реакції. Потім свердловину запускають у режим експлуатації.

*Комбінований імпульсно-реагентний (вібраційно-реагентний) метод* відновлення дебіту свердловин заснований на дії на кольматант реагенту у поєднанні з його гідродинамічною обробкою.

Наведені вище методи обробки свердловин дозволяють домогтися високих показників відновлення їхньої продуктивності – до 70 % відносно початкової та значного збільшення дебіту.

Як зазначалося вище, у разі розширення водозабору з підземних джерел, крім підвищення продуктивності існуючих свердловин, розглядають можливість збільшення їхньої кількості.

Окрім того, вирішуються такі питання:

- вибір нового майданчика водозабору (свердловини зазвичай розміщують в районі існуючого водозабору);
- оптимізація схеми збірних водоводів нових свердловин, відстань між ними та під'єднання їх до діючої схеми;
- проектування конструкції свердловини (визначення діаметра та кількості обсадних труб, вибір та розрахунок фільтра, підбір насосного обладнання);
- взаємодія свердловин у разі відкачування з одного водоносного пласту;
- перевірка схеми подання споживачеві з урахуванням спільної роботи всіх споруд;
- прогнозування зміни дебіту в процесі експлуатації.

### *Променеві водозабори*

Практика експлуатації промислових водозаборів показала їх високу експлуатаційну надійність та простоту обслуговування. Багато з цих водозаборів

добре працюють протягом тривалого часу, та їх дебіт за цей час не зменшився. Водночас нерідкими є випадки зменшення дебіту промислових водозаборів у процесі їхньої експлуатації порівняно з початковим.

Основними причинами зменшення дебіту промислових водозаборів є:

- замулення або кольматація русла ріки у місці розташування променів;
- занесення фільтрових труб піском;
- заростання променів солями кальцію, заліза, марганцю та іншими хімічними з'єднаннями.

Заростання або кольматація русла ріки є головною причиною зменшення дебіту інфільтраційних промислових водозаборів. Так, досвід експлуатації підруслового водозабору промислового типу системи водопостачання Варшави, спорудженого під руслом ріки Вісла, показав, що за 10 років продуктивність водозабору зменшилась із 150 тис. м<sup>3</sup>/добу до 100 тис. м<sup>3</sup>/добу переважно за рахунок кольматації русловими відкладеннями. Інші промислові водозабори, побудовані в Німеччині, також показали значне зменшення дебіту в процесі експлуатації. Результати спостережень за інфільтраційними промисловими водозаборами з фільтровими трубами, протисненими під дном ріки, дозволили встановити, що ґрунт дна ріки, що лежить над горизонтальними свердловинами, поступово так сильно засмічується завислими речовинами та іншими найменшими частинками, що приток до свердловин різко зменшується або зникає повністю. Тому у разі значної забрудненості води у ріках та за великого вмісту завислих наносів будівництво інфільтраційних промислових водозаборів повинно бути ретельно обґрунтовано.

Заходи із боротьби з кольматацією дна ріки досить складні та трудомісткі порівняно з відновленням продуктивності вертикальних свердловин. Для цієї мети застосовують очистку русла з використанням земснарядів, спеціальні водоструминні пристрої та розпушувачі дна [1]. Крім цього, вдаються до зміни гідрогеологічного режиму ріки або зменшення інтенсивності забору води інфільтраційними променями. Якщо перераховані методи не дають помітного результату застосовують штучне поповнення ґрунтових вод. Водночас частка води, що надходить із берегового боку, в загальному дебеті промислового водозабору підвищується і компенсує зменшення частки води, що надходить із ріки.

Занесення піском фільтрових труб у меншому ступені впливає на продуктивність промислових водозаборів. Однак потрапляючи з фільтрових труб у колодязь, пісок може негативно впливати на роботу встановленого в ньому насосного обладнання. Крім того, він заважає щільному зачиненню засувки,

засмічує водовідвідні труби, зменшуючи їхню пропускну здатність, а також заклинає частину щілин. Водночас зростає опір променів, що призводить до пониження рівня води в колодязі.

Існує декілька причин занесення піску в фільтрові труби:

- під час здійснення робіт із прокладання променів не встигають здійснити видалення піску з оточуючого фільтрову трубу ґрунту;
- при дуже інтенсивному відкачуванні води з колодязя відбувається суфозія ґрунту та мілкі частинки піску потрапляють у фільтрову трубу;
- ухвалений метод горизонтального проходження з улаштування променів не прийнятний для цього ґрунту.

Очистку фільтрових труб від піску виконують порівняно успішно введенням у них промивної труби з наконечником. Водночас сильним струменем води пісок розмивається та виноситься в колодязь.

Заростання фільтрових труб солями різних хімічних з'єднань відбувається в результаті відкладання на стінках та в щілинах фільтрових труб солей кальцію, заліза, марганцю тощо. Зазвичай заростання посилюється, якщо течія ґрунтових вод має турбулентний характер, а також за наявності вільного кисню.

Коли вода проходить через отвори фільтра з великою швидкістю, то внаслідок значного перепаду тиску ззовні та всередині фільтра з води виділяється деяка частина розчиненого в ній вуглекислого газу, що тягне за собою перетворення бікарбонатів у менш розчинені карбонати. У результаті відбувається їх осідання не тільки на поверхні та в щілинах фільтрової труби, але і в порах ґрунту, що оточує фільтр.

У разі відновлення продуктивності променевиx водозаборів використовують механічну очистку йоржем, промивання їх із застосуванням гідронасадок та продувкою стисненим повітрям, а також реагентну обробку шляхом затиснення реагенту за контур фільтра.

### *Шахтні колодязі*

Шахтні колодязі порівняно з водозабірними свердловинами мають більші розміри поперечного перерізу та застосовуються для забору підземних вод, що залягають на порівняно невеликій глибині до 30 м.

Зменшення дебіту шахтних колодязів у процесі їхньої експлуатації може відбуватись в результаті механічної та хімічної кольматації водоприймальної частини. Для відновлення продуктивності шахтних колодязів застосовують реагентні та комбіновані методи регенерації, що були описані раніше. Водночас досвід показує, що у більшості випадків стійка робота шахтних колодязів

забезпечується їх механічною або гідравлічною очисткою. Для цієї мети розроблено низку установок, якими очищують колодязь від мулу або розрідженого ґрунту (очищувач шахтних колодязів – ОШК-30, струминний елеватор-ежектор).

Гідравлічний принцип чистки колодязів реалізований у гідроциклонній насосній установці. Установка працює так: на дно шахтного колодязя опускають гідроелеватор та вмикають воду, яка після проходження гідроелеватору захоплює з колодязя донні наноси. Потім суміш надходить до гідроциклонну, де відбувається відокремлення осаду від рідини, після чого вода знову надходить до гідроелеватора, а осад – до гідроциклонну-згущувача, де відбувається його ущільнення.

У санітарно-профілактичних цілях шахтний колодязь оглядають раз на місяць та детально не рідше ніж один раз на рік. Для збільшення продуктивності шахтних колодязів бурять горизонтальні свердловини (фільтрові труби), що значно (у 2–3 рази) збільшує приток води в колодязь [1].

Для цього під час спорудження шахтного колодязя попередньо в його стінках на проєктній відмітці в ділянці водоносного пласту передбачають отвори. Кількість отворів повинно бути в 1,5–2 рази більшою ніж розрахункова кількість променів (на випадок заміни або влаштування додаткових свердловин для збільшення продуктивності водозабору). В отвори вставляються відрізки труб, які втискаються у водоносний шар домкратами [1].

Відрізки труб (ланки) з'єднуються між собою за допомогою зварювання або різьблення, утворюючи промінь. На кінцях променів у колодязі встановлюють засувки.

Підвищення продуктивності шахтних колодязів може бути також досягнуто збільшенням їхньої кількості. Водночас необхідно вирішувати ті ж запитання, що і під час будівництва водозабірних свердловин.

### **Реконструкція водозабірних споруд на поверхневих джерелах**

Підвищення продуктивності діючих водозабірних споруд із поверхневих джерел, також як і з підземних, може бути досягнуте шляхом їхньої інтенсифікації, будівництвом нового комплексу або окремих його елементів. Зазвичай реконструкція споруд виявляється економічно більш вигідною, ніж нове будівництво, а іноді достатнім є відновлення продуктивності водозабору до початкової. З огляду на це необхідно розглянути причини зменшення продуктивності водозабірних споруд у процесі експлуатації. Основними з них є:

- занесення оголовку наносами, шугозаторами;

- забруднення сміттєзатримуючих решіток, сіток, поруватих касет;
- відкладання донних наносів на подавальних лініях;
- незадовільна робота насосів, що спричинена неправильним їх підбором (наприклад, без врахування добової нерівномірності), кавітацією тощо.

Для з'ясування причин зменшення продуктивності водозабірних споруд проводять їх обстеження та аналіз. Для цього спочатку докладно вивчають технічну документацію, що є в наявності, виконавчу проєктну зйомку, журнали експлуатації, наявність інструкцій з експлуатації та регламенту споруд. Аналізують частоту промивань решіток, сіток, подавальних ліній; якість промивань; частоту та повноту видалення осаду з приймального відділення; зміну глибин в оголовку; якість води; коливання рівнів води в річці та колодязі; аварії та їхні причини; спільні характеристики насосів та водоводів; режим роботи НС-1 за сезонами. Крім цього, вивчають гідрологічний режим джерела водопостачання, рух наносів та шуги в створі водозабору.

Після цього проводять обстеження водозабору, що містить:

- огляд (за необхідності водолазом) водоприймальних отворів оголовку, вимірювання навколо нього глибини;
- апробація роботи встановленого в колодязі обладнання: сіток, промивання сіток та подавальних ліній, ежектору або насосу для видалення осаду (можливість змучування осаду), а також контрольно-вимірювальних приладів (КВП);
- вимірювання рівнів води в річці, приймальному та всмоктуючому відділенні за одночасного вимірювання подачі насосів.

Після цього будують спільну характеристику насосів та водоводів, виконують перевірчий розрахунок та порівнюють розрахункові та фактичні опори подавальних ліній та водоводів. Потім визначають нерозмиваючі швидкості для оголовків та незамулюючі для подавальних ліній з урахуванням дисперсійного складу наносів. За необхідності здійснюють промивання та знову повторюють вимірювання. Після цього планують заходи із підвищення продуктивності водозабірних споруд.

Збільшення різниці рівнів води в джерелі водопостачання та колодязі порівняно з початковими значеннями, а також винесення осаду в колодязь свідчить про засмічення оголовку та подавальних ліній. Якщо у водоприймальних отворах оголовку встановлені решітки, їх очистку здійснюють граблями з човна або з льоду (в зимовий період). Якщо в оголовку встановлені поруваті касети, їх промивають таким же чином, як і подавальні лінії – зворотним током води від насосів насосної станції першого підняття.

У разі занесення оголовку здійснюють його промивання водоповітряною сумішшю, гарячою водою. За необхідності влаштовують щити, що регулюють річковий потік та рух наносень.

Зі збільшенням шару донних осадів та за достатньої глибини ріки можливе встановлення металевго коробу для збільшення порогу водоприймальних отворів [1].

У цьому випадку відбір води з ріки здійснюється вище за розташування донних наносень. Для запобігання потрапляння осаду в оголовок металевий короб повинен герметично прилягати до оголовку.

У разі вмерзання оголовка в лід влаштовують кругову запань з дерев'яних коробів, яку зверху перекривають матами, соломою, снігом. Така ж запань може слугувати і для захисту від шуги.

Лінії, що подають та оголовок, як зазначалося раніше, промивають зворотним током води. Однак якщо ефективність зворотного промивання недостатня, вживають імпульсне промивання (методики розрахунку наведені у [1]).

Для імпульсного промивання в береговому колодязі на кожній подавальній лінії встановлюється вертикальна колона (труба), закрита зверху, під'єднана до вакуум-насосу та оснащена клапаном впуску повітря. Після закриття засувки на підвідній трубі вмикають вакуум-насос. Рівень води в колоні підвищується і після її наповнення вакуум-насос вимикається. Після цього відчиняється клапан впуску повітря. Стовп води в колоні швидко падає, створюючи хвилю позитивного тиску, що діє на подавальні лінії та оголовок. Потім стовп води за інерцією проходить нижче за рівень води у річці, створюючи від'ємні тиски. Поступово коливання рівня води вгамовуються. За необхідності зарядження колони повторюють.

Біообростання поруватих касет, встановлених у оголовку, видаляються попереднім хлоруванням води з додаванням хлору перед водоприймальними вікнами (концентрація залишкового хлору 0,3 мг/л).

Зі збільшенням перепаду рівнів води між приймальним та всмоктуючим відділеннями колодязя здійснюють промивання сіток. Плоскі сітки промивають струменем води з брандспойта, для чого їх піднімають у наземну частину колодязя, а на їхнє місце встановлюють резервні. Сітки, що обертаються, промивають водою під тиском 0,2–0,3 МПа за їхнього обертання в напрямку, що зворотний проціджуванню.

Особливу небезпеку під час експлуатації водозабірних решіток викликає наявність у річці шуги, для боротьби з якою застосовують спеціальні міри:

електрообігрів решіток, підведення теплої води або стисненого повітря, а також влаштування ковшових водозаборів.

Підвищення продуктивності водозабірних споруд, як зазначалося раніше, може бути досягнуто новим будівництвом як окремих елементів водозабору (оголовку, подавальних ліній, насосу), так і всього комплексу в цілому.

Під час будівництва нового комплексу водозабірних споруд вирішують такі питання:

- вибір типу водозабору;
- підбір типу водоприймача (у випадку руслового водозабору);
- вибір місця розташування водозабору;
- розрахунок окремих елементів водозабірних споруд, зокрема з урахуванням аварії;
- перевірка схеми подання води з урахуванням спільної роботи всіх споруд.

### **Контрольні питання**

1. Перерахуйте роботи, що виконуються під час обстеження підземного водозабору.
2. Як визначають параметри існуючого водопідйомного обладнання?
3. Які причини зміни продуктивності свердловин? Назвіть методи усунення цих причин.
4. Причини погіршення якості води, що забирається підземним водозабором. Назвіть методи покращення якості води.
5. Як за результатами обстежень визначити причину зміни продуктивності водозабору?
6. Дайте коротку характеристику методів відновлення продуктивності свердловин.
7. Які питання необхідно вирішити під час буріння нових свердловин на існуючому водозаборі?
8. Основні причини зменшення дебіту промислових водозаборів та шахтних колодязів?
9. Назвіть методи реконструкції та інтенсифікації промислових водозаборів, шахтних колодязів.
10. Які причини зменшення продуктивності водозаборів із поверхневих джерел?
11. Які матеріали вивчають під час аналізу роботи діючого водозабору?
12. Перерахуйте роботи, що виконуються під час обстеження водозабору.
13. Як встановити необхідність промивання подавальних ліній та оголовку?

14. Яким чином здійснюється імпульсне промивання подавальних ліній та оголовку?

15. Як досягається збільшення продуктивності всього комплексу водозабірних споруд?

16. Де варто будувати новий оголовок: вище або нижче за існуючий щодо руху ріки?

17. Як визначити гранично допустимий рівень води в приймальному відділенні під час інтенсифікації?

18. Які запитання вирішуються під час будівництва нового комплексу водозабірних споруд?

## **Тема 9 Реконструкція споруд транспортування води**

1. Реконструкція водопровідних мереж.

2. Реконструкції водовідвідних мереж.

### **Реконструкція водопровідних мереж**

Водопровідні мережі є системами життєзабезпечення, що призначені для транспортування води споживачам в необхідній кількості, з необхідними напором і якістю.

Експлуатація системи водопостачання передбачає підтримку її в працездатному стані. У процесі експлуатації здійснюють планово-попереджувальні огляди (ППО) і планово-попереджувальні ремонти (ППР). Перелік робіт і періодичність їх проведення рекомендовані нормативними документами.

Трудомісткими роботами є прочищення мережі, промивання і дезінфекція. Прочищення водопровідних труб може проводитися механічним, хімічним, гідропневматичним способами, а також їхнім поєднанням. Промивання і дезінфекція здійснюються в кілька етапів: попереднє промивання-дезінфекція та остаточне промивання до отримання двох задовільних бактеріологічних та фізико-хімічних аналізів води.

Об'єктивна оцінка стану водопровідної мережі можлива під час проведення телевізійного обстеження. Причинами появи пошкоджень мережі, що сприяють порушенню режиму роботи як самої мережі, так і системи водопостачання в цілому, є гідравлічні удари, що виникають у разі раптового вимкнення електроенергії або з інших причин; вібрація стиків, наприклад під час руху великовагового транспорту; підвищення напору в мережах із метою підтримки

розрахункових витрат води; електрохімічна і ґрунтова корозія; неякісне виконання монтажних робіт; сторонній вплив на трубопроводи тощо.

На підставі аналізу виявлених пошкоджень ухвалюють рішення про вибір способу їх усунення. Відновлення працездатного стану трубопроводу здійснюється або традиційним відкритим способом, або із застосуванням безтраншейних технологій. Під час вибору варіанта відновлення визначальними є технічні та економічні фактори, а також фактори, які визначаються навколишнім середовищем.

У практиці реконструкції трубопроводів відомі численні методи і технології безтраншейного ремонту, найбільш ефективні й поширені з яких наведені нижче.

#### *Методи санації водопровідних мереж*

Облицювання внутрішньої поверхні трубопроводу цементно-піщаним покриттям застосовують для безтраншейного ремонту водопровідних мереж діаметром 100 мм і більше. Зазвичай цей метод використовують для відновлення сталевих трубопроводів.

Суть методу полягає в нанесенні на внутрішню поверхню трубопроводу цементно-піщаного розчину відцентровим способом за допомогою пневматичної або електричної металеві головки облицювального агрегата, протягнутого всередині трубопроводу за допомогою троса і лебідки (рис. 9.1).

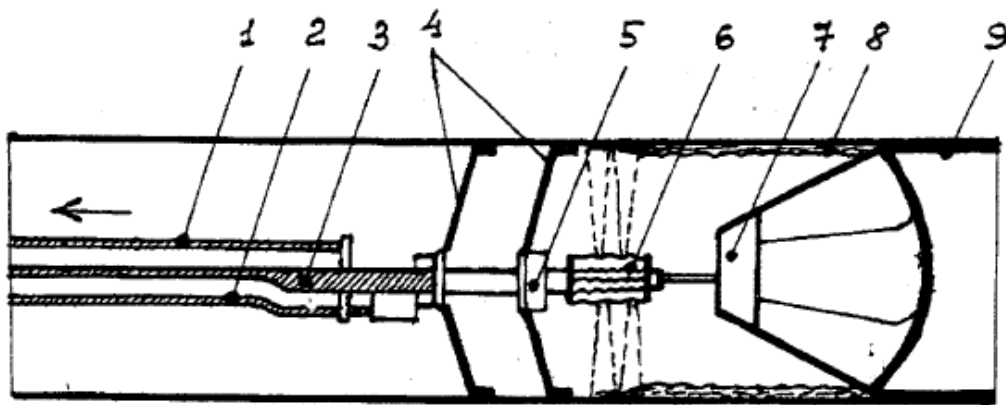


Рисунок 9.1 – Схема облицювального агрегату:

- 1 – робочий трос; 2 – рукав подання повітря; 3 – рукав подання розчину;
- 4 – пристрій, який центрує; 5 – металеві головки; 6 – лопатеве колесо;
- 7 – заглажувальний конус; 8 – покриття з шорсткою поверхнею;
- 9 – заглаженість покриття

Товщина шару, що наноситься залежить від діаметра труби і швидкості руху металеві головки всередині трубопроводу. За один прохід можна нанести шар товщиною від 3 мм до 12 мм. Вирівнювання і заглажування нанесеного шару розчину здійснюється легким металевим конусом, який кріпиться на штанзі.

Для приготування розчину застосовують попередньо просіяний портландцемент марки 500, фракціонований кварцовий пісок і воду питної якості. Максимальний розмір зерен піску не повинен перевищувати 1 мм, фракцій розміром не менше 0,14 мм має бути не більше 3 %. Вагове співвідношення цементу і піску 1 : 1, водо-цементне відношення 0,32 : 0,37. Для більш швидкого досягнення марочної міцності цементно-піщаного покриття трубопровід заповнюють водою, але не раніше ніж через 12 годин після нанесення розчину. Затверділий цементно-піщаний розчин володіє необхідною міцністю і характеризується високою щільністю прилягання до стінок трубопроводу.

Покриття надійно герметизує невеликі пошкодження в тілі труби, а також порушені стикові з'єднання.

Унікальність цементно-піщаного покриття полягає в тому, що воно має захисний ефект від корозії металу. Ефект досягається як за рахунок механічної ізоляції металевої стінки труби шаром розчину, так і за рахунок утворення субмікроскопічного покривного шару з оксидів заліза, що запобігає подальшому окисленню металу, тобто корозії. Утворені в процесі схоплювання цементу наскрізні і ненаскрізні тріщини закупорюються виділеним із води карбонатом магнію.

Цементно-піщане покриття покращує також гідравлічні характеристики трубопроводу. Причиною цього є брак корозії і відкладень в трубі, а також виникнення на поверхні покриття слизького гідрофільного (гелевого) шару, утвореного дрібними частинками глини і заліза із марганцевими сполуками.

Надійність роботи облицьованих сталевих трубопроводів приблизно на порядок вище за надійність необлицьованих, термін служби таких труб збільшується у 2–3 рази.

Вартість виробництва облицьовальних робіт становить 15–40 % вартості будівництва нового трубопроводу (менші цифри відповідають великим діаметрам).

Розробниками та виробниками технологічного обладнання для нанесення цементно-піщаного покриття на внутрішню поверхню трубопроводів є європейські та американські фірми [1, 4].

Недоліком методу є те, що коліна, відводи, вертикальні спуски і підйоми трубопроводів доводиться розкопувати і замінювати на облицьовання в заводських умовах. Пожежні гідранти і засувки, хоча і тимчасово, повинні бути демонтовані; виробництво робіт можливо тільки за позитивних (більше ніж +5 °С) температур навколишнього середовища.

Поряд із цементно-піщаним покриттям в останні роки все частіше використовують напилення на внутрішню поверхню труб синтетичних складів на основі епоксидних смол.

З усіх відомих безтраншейних методів відновлення трубопроводів нанесення органічних і неорганічних покриттів, зокрема цементно-піщаного, є доступним, екологічно безпечним і економічним. Нанесення покриття запобігає погіршенню якості води, в мінімальному ступені скорочуючи перетин труби, але не відновлює міцність спрацьованих і пошкоджених корозією труб до вихідного рівня.

*Облицювання внутрішньої поверхні трубопроводу гнучким рукавом.* Матеріал облицювального рукава повинен відповідати санітарно-гігієнічним вимогам. Суть методу в тому, що всередину трубопроводу, що ремонтується подається еластична полімерна оболонка-рукав, що має в своєму складі полімерну композицію, яка після затвердіння утворює конструкцію типу «труба в трубі». Рукав може бути виготовлений із синтетичного нетканого полотна, ламінованого синтетичною плівкою. Неткане полотно просочується полімерною композицією холодного або гарячого затвердіння. Після затвердіння полімерної композиції у трубі утворюється самонесуча конструкція, яка не потребує приклеювання до стінок труби, або не самонесуча конструкція, якщо гнучкий рукав наклеюється (приварюється) до стінок трубопроводу, що ремонтується.

Схема заведення облицювального рукава у трубопровід, що ремонтується для утворення самонесучої конструкції подана на рисунку 9.2.

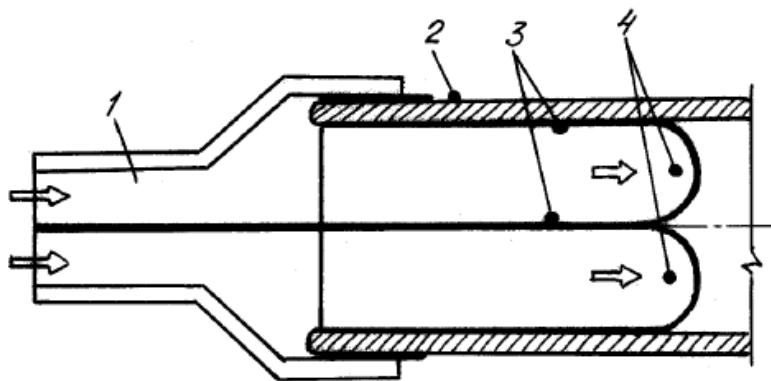


Рисунок 9.2 – Схема заведення облицювального рукава в трубопровід, що ремонтується:

- 1 – рукав для подання води або повітря; 2 – трубопровід, що ремонтується;
- 3 – облицювальний рукав; 4 – пазухи облицювального рукава

На зовнішню поверхню вільного кінця трубопроводу, що ремонтується натягується облицювальний рукав того ж діаметра, внутрішня поверхня якого по

всій довжині попередньо оброблена клейким складом. Потім вручну приблизно на метрову довжину облицювальний рукав вивертають всередину трубопроводу. У процесі вивертання рукава його внутрішня поверхня стає зовнішньою, а зовнішня – внутрішньою, подальше вивертання рукава, проходження його по довжині трубопроводу, рівномірність і щільність прилягання до стінок труб забезпечуються тиском стисненого повітря або води, що подаються в утворені пазухи. Для інтенсифікації затвердіння рукава трубопровід заповнюється паром або гарячою водою на певний час.

Перевагою методу є висока продуктивність і доступність проходження практично по всій внутрішній поверхні трубопроводу.

Є технологія, придатна для будь-яких трубопроводів із використанням різних полімерних композицій, що забезпечує у відновлюваному трубопроводі самостійного каркасного типу «трубу в трубі».

Для виготовлення рукава застосовується комбінований матеріал – повсть із поліефірних волокон із каркасом, що збільшує його механічну міцність. Товщина матеріалу 4 мм. З одного боку він вкритий полімерною плівкою ПВХ товщиною 0,4 мм. Рукавний матеріал виготовляється і постачається у вигляді рулонів шириною 1,7–2 м. Для виготовлення рукава конкретного діаметра (зовнішній діаметр рукава дорівнює внутрішньому діаметру труби) з полотнища вирізається заготівля потрібної ширини і довжини, згортається у вигляді труби і зшивається у стик. Шов герметизується шляхом приварювання стрічки з полімерної плівки.

Довжина рукава відповідає довжині ремонтованої ділянки. Довжина захватки становить до 200 м. Перед введенням рукава в трубопровід всередину рукава заливається полімерна композиція (епоксидна, поліефірна або поліуретанова), яка просочує штучну повсть по всій довжині рукава. Товщина стінки рукава залежить від діаметра трубопроводу і становить від 6 мм (для діаметра 100 мм) до 18 мм (для діаметра 1 200 мм). Введення рукава в трубопровід здійснюється методом вивертання під гідростатичним тиском стовпа води (рис. 9.3).

Технологія реалізується в такий спосіб: кінець рукава на довжину, що дорівнює висоті водяного стовпа, не просочується полімерною композицією. Вивернутий кінець пропускається через валик в обичайку і простягається до початку ремонтованої ділянки (введення в трубу).

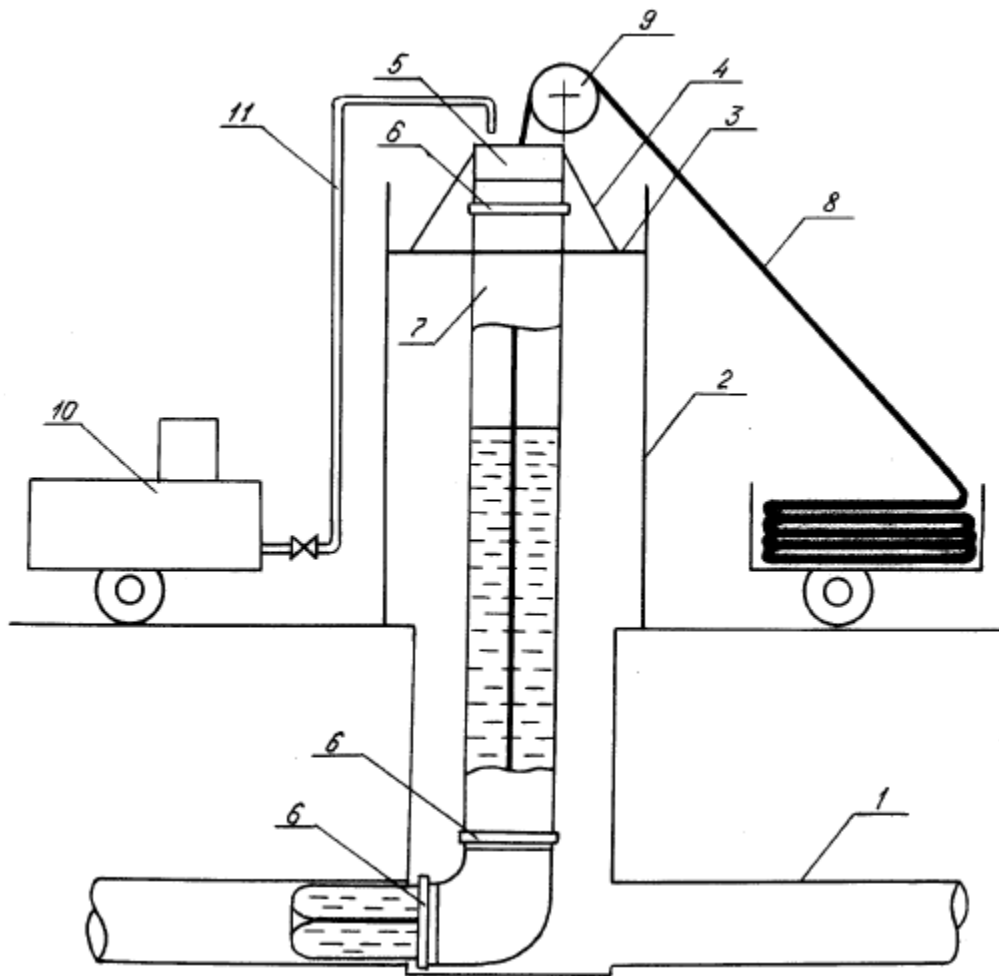


Рисунок 9.3 – Технологія нанесення покриття на внутрішню поверхню трубопроводу:

1 – труба, що ремонтується; 2 – вишка; 3 – трап; 4 – обичайка; 5 – піраміда; 6 – хомут; 7, 8 – рукав; 9 – валик; 10 – установка для подавання води; 11 – рукав для подавання води

Кінець вивернутої частини загортається на обичайку і закріплюється на ній хомутом. Потім всередину вивернутої частини рукава заливається вода.

Під тиском стовпа води (він може досягати  $10 \text{ м} = 1 \text{ атм}$ ) рукав починає вивертатися, водночас відбувається подача рукава з контейнера всередину вивернутої частини. Вивернута частина скеровується у трубопровід. Подавання води здійснюється до повного вивертання рукава в трубопроводі. Кінець рукава замуруваний герметично. Капроновий трос, закріплений на кінці рукава, утримує рукав від довільного просування всередину трубопроводу. Після повного введення рукава в нього по гнучкому шлангу подається гаряча вода температурою  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ . Холодна вода відкачується через відкритий кінець рукава на обичайці. Після досягнення всім об'ємом води температури  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  виробляється витримка рукава протягом чотирьох годин. За цей час рідка

полімерна композиція повністю твердне і утворює у відремонтованому трубопроводі нову трубу, яка повністю герметизує всі можливі дефекти трубопроводу (свищі, розгерметизовані стики, проломи тощо). Після затвердіння рукава його надлишки на кінцях обрізаються, залишки води видаляються і ремонтується ділянка, готова до роботи.

У європейській практиці ремонту трубопроводів за одним із варіантів технології подавання рукава в трубу здійснюється за допомогою стисненого повітря. Після повного проходження рукава через ділянку труби в неї подається суміш сухого пару високої температури (близько 105 °С) за постійного тиску, що забезпечує затвердіння клею і прилягання рукава до стінок трубопроводу. Після полімеризації відбувається процес охолодження, для чого пар випускається через кілька клапанів. Процес терморегуляції контролюється температурними сенсорами.

Цей метод має низку переваг:

- можна відновлювати ділянки труб із різними діаметрами;
- не робить негативного впливу на навколишнє середовище (низький рівень шуму, пилу), запобігає забрудненню ґрунту та ґрунтових вод через нещільності в трубопроводах;
- передбачає малий обсяг земляних робіт і мінімальний ремонтний майданчик – готується котлован завдовжки 2,5–3 м;
- незначно скорочує вихідний діаметр трубопроводу;
- захищає трубопроводи від внутрішньої корозії і підвищує їхню міцність і довговічність;
- забезпечує можливість проходження кута повороту до 90°.

*Протягування у відновлюваний трубопровід нових поліетиленових труб.* Суть методу в тому, що всередину трубопроводу, що ремонтується вводяться поліетиленові труби попередньо зменшеного діаметра або зміненої форми поперечного перерізу. Методика виконання робіт заснована на еластичних властивостях поліетиленових труб.

Попереднє зменшення діаметра труби приблизно на 10 % здійснюється під час її нагрівання до 70 °С і протягування крізь спеціальний калібрований пристрій. Після цього поліетиленову трубу вводять всередину попередньо очищеного існуючого трубопроводу через спеціально підготовлений котлован. Фасонні частини трубопроводу повинні бути демонтовані. Відновлення первинного діаметра і щільне прилягання до внутрішньої частини поверхні трубопроводу, що ремонтується забезпечується подаванням стисненого повітря у внутрішню порожнину поліетиленових труб.

В іншому випадку у відновлюваний трубопровід вводять поліетиленові труби зміненого профілю, наприклад V-подібної форми поперечного перерізу. Під час подавання у цей трубопровід пару під тиском труба відновлює свою круглу первісну форму (ефект пам'яті форми) і щільно прилягає до старої труби (рис. 9.4).

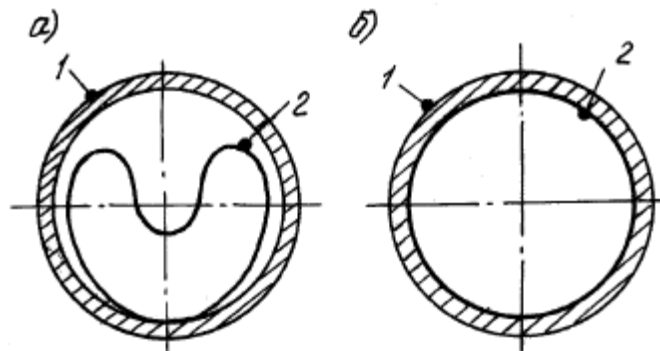


Рисунок 9.4 – Схема розміщення облицювального трубопроводу в порожнині ремонтної труби:

а – під час введення; б – остаточне;

1 – трубопровід, що ремонтується; 2 – облицювальний трубопровід

Цей метод належить до найменш дорогих, оскільки не вимагає великої кількості спеціального обладнання і заснований на застосуванні стандартних поліетиленових труб. Внутрішній діаметр зменшується більшою мірою, ніж під час наповнення покриттів або проштовхування рукавів, проте введений поліетиленовий трубопровід не залежить від ремонтної і сам здатний сприймати всі внутрішні і зовнішні впливи.

Необхідно зазначити, що у встановлюваний трубопровід можна протягувати або проштовхувати поліетиленові труби і без їх попередньої деформації. Водночас між стінками існуючої і протягнутої труби повинен бути проміжок 20–100 мм, що залежить від діаметра, профілю і довжини ділянки. Це найбільш дешевий спосіб виробництва робіт, проте перетин труби скорочується у разі його застосування найбільшою мірою.

*Заміна водопровідних мереж поліетиленовими трубопроводами з руйнуванням старих труб.* Метод полягає в руйнуванні старих трубопроводів за допомогою спеціальних пристосувань і одночасному проштовхуванні нового поліетиленового трубопроводу зі збереженням або збільшенням діаметра. Залишки зруйнованої труби цими ж пристосуваннями із більшим зусиллям втискаються в ґрунт, в результаті чого утворюється горизонтальний виріб круглої форми з ущільненими стінками. В якості руйнівного пристосування може бути використаний пневмопробійник або гідравлічна машина.

Дія пневмопробійника заснована на імпульсивно-ударному принципі. Розколювання старої труби відбувається під впливом ріжучих полотен із надміцної сталі, розташованих на пневмопробійниках, і великої енергії удару. Одночасно з поступальним рухом пневмопробійника у напрямку до приймального котловану відбувається протягування нової батоги поліетиленових труб, діаметр яких може бути більше діаметра старої труби на 30 %.

Таким методом можна забезпечити заміну труб діаметром 100–400 мм, водночас протяжність проходження становить 30–100 м.

Для заміни водопровідних труб зі сталі та ковкого чавуну були розроблені комплекти обладнання, дія яких здійснюється за рахунок тягового зусилля, створюваного гідравлічними машинами.

Гідравлічна машина розташована в заздалегідь підготовленому приймальному котловані і впирається у стару трубу або упорну стінку. Далі в стару трубу послідовно за допомогою машини просуваються штанги, що з'єднуються між собою на різьбленні. Коли штанги досягають робочого котловану, до них приєднується розширювач із ріжучим полотном і батоги із поліетиленових труб. Зворотним ходом за рахунок гідравлічного тягового зусилля здійснює руйнування старого трубопроводу незалежно від матеріалу, з якого він виготовлений, з одночасним протягуванням батоги з поліетиленових труб.

Застосовуючи різні комплекти обладнання, можна здійснити заміну трубопроводу діаметром від 100 мм до 500 мм, водночас протяжність проходження становить 100–150 м.

Правильний вибір технології реконструкції водопровідних мереж дозволяє забезпечити працездатність не тільки мережі, але і всієї системи, яка виконує функції водозабезпечення споживачів у межах, встановлених нормативно-технічними вимогами.

### **Реконструкції водовідвідних мереж**

Основними причинами, що спричиняють необхідність реконструкції існуючих мереж, є:

- 1) розвиток населених місць, будівництво в них нових житлових мікрорайонів (під час збирання стічних вод від нових мікрорайонів в існуючі мережі, пропускна здатність яких обмежена, виникає необхідність їхньої реконструкції з метою збільшення пропускної спроможності);

2) підключення до міських мереж існуючих і знову споруджуваних промислових підприємств;

3) підвищення ступеня благоустрою існуючих населених пунктів (газифікація будинків, перехід на централізоване гаряче водопостачання тощо призводить до зростання витрат стічних вод, що може потребувати збільшення пропускної здатності існуючих водовідвідних мереж);

4) підвищення ступеня благоустрою територій населених пунктів (перехід на більш досконалі дорожні покриття тощо; в подібних випадках може виявитися доцільним перехід до більш досконалих систем водовідведення, наприклад від існуючих неповної роздільної та повної роздільної до напівроздільної);

д) підвищення вимог до охорони водойм від забруднення стічними водами (водночас виникає необхідність переходу до більш досконалих систем водовідведення, наприклад, від існуючих неповної роздільної, повної роздільної і загальносплавної до напівроздільної);

е) поганий технічний стан існуючих водовідвідних мереж (засмічення труб, руйнування окремих ділянок мережі, просідання ґрунту по трасі тощо; в цих випадках виникає необхідність відновлення існуючої мережі).

#### *Завдання реконструкції існуючих водовідвідних мереж*

Завдання реконструкції мереж обумовлені причинами, що спричиняють необхідність їх реконструкції.

Такими завданнями можуть бути:

1) відновлення втраченої в процесі експлуатації мережі її первісної пропускної здатності та цілісності;

2) збільшення пропускної спроможності існуючої мережі;

3) усунення перевантажень існуючих мереж, спричинених зростанням припливу стічних вод від нових житлових мікрорайонів, від під'єднаних до мереж нових промислових об'єктів тощо;

4) усунення перевантажень існуючих мереж внаслідок попадання в них ґрунтових вод;

5) перехід до більш досконалих систем водовідведення, наприклад, від існуючої неповної роздільної системи до повної роздільної або напівроздільної; від існуючої повної роздільної системи до напівроздільної; від існуючої загальносплавної системи до напівроздільної.

### *Основні вихідні данні для розробки проєкту реконструкції водовідвідних мереж*

Для обґрунтованого ухвалення рішення про необхідність реконструкції водовідвідної мережі, її завдання, цілі та методики реконструкції необхідно здійснити попереднє ретельне обстеження існуючої мережі з метою встановлення її технічного стану та фактичної пропускної здатності.

У процесі обстеження необхідно встановити фактичні діаметри і ухили труб на окремих ділянках мережі, наявність відкладень в трубах, наявність руйнувань труб і колодязів у мережі, наявність просідань ґрунту по трасі мережі, фактичні витрати стічних вод на ділянках мережі, надходження ґрунтових вод до мережі, наявність інших дефектів мережі тощо.

Дані про фактичний стан водовідвідної мережі можна отримати з технічного паспорта водовідвідної мережі, зі звітів по зовнішнім і технічним оглядам мережі за час її експлуатації, а також шляхом спеціальних цілеспрямованих обстежень існуючої мережі. Під час таких спеціальних обстежень стан трубопроводів можна встановити і оцінити або за допомогою загальновідомого методу «свічка і дзеркала», або за допомогою спеціальних пересувних телевізійних установок, що дозволяють оглядати труби зсередини. Можна застосовувати також інші дефектоскопії, наприклад геофізичні методи контролю технічного стану мережі і стану ґрунтів у затрубному просторі. Для проведення таких робіт у водоканалі доцільно створювати спеціальні служби діагностики мережі і оснащувати їх усім необхідним обладнанням, як це зроблено, наприклад, у водоканалі Харкова.

Ретельний аналіз технічного стану існуючої мережі, її фактичної пропускної здатності та дефектів дозволить ухвалити правильне рішення про необхідність реконструкції мережі та її завдання, вибрати метод реконструкції і розібрати проєкт її здійснення.

### *Способи реконструкції існуючих водовідвідних мереж*

Вибір способу (методу) реконструкції мережі залежить від цілей реконструкції, від вартості робіт, пов'язаних із реконструкцією, від технічного стану існуючої мережі, від комплексу місцевих умов та інших чинників.

Під час вибору способу реконструкції необхідно розглядати різні можливі варіанти, що забезпечують однаковий кінцевий результат, виробляти їх розробку і техніко-економічне порівняння.

У якості остаточного повинен обиратися найбільш економічний варіант, що гарантує не тільки досягнення поставленої мети реконструкції, але також надійність і безперервність роботи реконструйованої системи водовідведення та захист навколишнього середовища від забруднення.

Залежно від фінансових можливостей і комплексу місцевих умов у практиці проектування можливі різні варіанти вирішення конкретного завдання реконструкції існуючої системи водовідведення. Нижче коротко розглянуті деякі можливі варіанти реконструкції водовідвідних систем із метою досягнення певних конкретних цілей реконструкції.

*Реконструкція існуючої неповної роздільної системи водовідведення в повну роздільну*

Існуюча система має одну підземну мережу труб, в яку збираються побутові і забруднені виробничі води і відводяться по головному колектору на очисні споруди; очищені стоки скидаються у водоймище. Дошові води збираються у відкриті лотки, кювети і канали і найкоротшим шляхом відводяться у водойму без очищення, що завдає шкоди водоймі, тому що дошові води за складом забруднень близькі до розведених побутових.

В останні роки з'явилися вимоги до охорони водойм від забруднення, тому згідно з ДБН розробляються системи водовідведення, які повинні забезпечити очищення найбільш забрудненої частини поверхневого стоку, що утворюється в період випадання дощів, танення снігу і миття дорожніх покриттів, тобто не менше 70 % річного стоку. З огляду на це актуальним стає питання реконструкції існуючої неповної роздільної системи водовідведення в повну роздільну. Залежно від фінансових можливостей та інших чинників під час реконструкції можуть бути розглянуті п'ять варіантів.

*Варіант I* полягає в тому, що замість відкритих лотків, кюветів і каналів будується підземна дощова частина, в яку збираються дошові і талі води і найкоротшим шляхом відводяться у водойму без очищення. Оскільки цей варіант не виключає забруднення водойми поверхневим стоком він може розглядатися лише як перший етап (перша черга) реконструкції, обумовлений обмеженими фінансовими можливостями. Із появою засобів від першого варіанта реконструкції можна перейти до наступних чотирьох варіантів, що передбачають очищення поверхневого стоку.

*Варіант II* передбачає очищення поверхневого стоку перед скиданням його у водойму на локальних очисних спорудах поверхневого стоку (далі ЛОСПС). За цим варіантом замість відкритих лотків, кюветів і каналів для скидання і відведення у водойму дошових вод будується підземна мережева труба, на якій влаштовуються розділові камери, через які 70 % найбільш забрудненого річного поверхневого стоку відводяться на ЛОСПС, і лише після очищення на них скидаються у водоймище. Водночас у цьому варіанті тільки 30 % найбільш

чистих порцій дощової води надходить у водойму без очищення. Недолік цього варіанта – необхідність будівництва декількох ЛОСПС, що може виявитися дорого і не досить ефективно з точки зору організації кваліфікованої експлуатації декількох малих очисних споруд.

*Варіант III* передбачає створення централізованих очисних споруд поверхневого стоку (далі ЦОСПС) за межами об'єкта, що обслуговується. За цим варіантом, крім будівництва замість відкритих лотків і кюветів підземної мережі труб для збору дощових вод, передбачається будівництво головного колектора дощової мережі, в якій через розділові камери скидається 70 % забрудненого річного поверхневого стоку; цей забруднений стік по головному колектору відводиться на ЦОСПС і тільки після очищення на них скидається у водойму.

*Варіант IV*, так само як і в третій, передбачає будівництво підземної дощової частини, головного колектора дощової мережі і розділових камер, але очищення забрудненого дощового стоку пропонується проводити на існуючих очисних спорудах побутових і виробничих вод. Водночас для зменшення навантаження на існуючі очисні споруди на головному колекторі дощової мережі передбачається будівництво регулюючого резервуара і насосної станції, яка перекачує забруднені дощові води на споруди протягом 24-х годин після закінчення дощу, що помітно зменшить витрати дощової води, які одноразово подаються на існуючі очисні споруди.

*Варіант V* відрізняється від попереднього тим, що для очищення дощових вод замість існуючих очисних споруд будують ЦОСПС. Для зменшення навантаження на ЦОСПС у цьому варіанті, так само як у попередньому, на головному колекторі дощової мережі будують регулюючий резервуар і насосну станцію, яка перекачує дощові води на ЦОСПС протягом 24-х годин після закінчення дощу, що дозволяє зменшити розміри ЦОСПС порівняно з варіантом III і зменшити вартість їх будівництва. Цей варіант в разі будівництва другої насосної станції може за необхідності скеровувати очищені на спорудах дощові води для подальшої доочистки на існуючі очисні споруди.

Остаточне рішення щодо вибору найбільш доцільного і економічного варіанта реконструкції неповної роздільної системи в повну роздільну може бути ухвалено тільки на підставі розробки та техніко-економічного порівняння всіх розглянутих варіантів.

## *Реконструкція існуючої повної роздільної системи водовідведення у напівроздільну*

Існуюча повна роздільна система водовідведення складається з двох підземних мереж виробничо-побутової мережі, по якій забруднені виробничі та побутові води відводяться по головному колектору на очисні споруди і після очищення скидаються у водоймище, і дощової мережі, в яку збираються дощові води і найкоротшим шляхом без очищення відводяться у водойму, що завдає йому шкоди, оскільки дощові води забруднені. В останні роки підвищилися вимоги до охорони водойм, тому згідно з ДБН частина найбільш забрудненого поверхневого стоку, що утворюється після випадання дощів, танення снігу і миття дорожніх покриттів (не менше 70 % річного стоку), повинні підлягати очищенню перед скиданням у водойму. З огляду на це актуальним стає питання реконструкції існуючих повних роздільних систем водовідведення в більш досконалі напівроздільні системи. Водночас залежно від місцевих умов і фінансових можливостей можуть бути використані різні варіанти реконструкції, деякі з них розглянуті нижче.

*Варіант I* передбачає влаштування на існуючих дощових колекторах розділових камер, через які перші (найбільш забруднені) порції дощової води будуть скидатися в існуючий головний колектор виробничо-побутової мережі і впливати відповідно до нього на існуючі очисні споруди виробничо-побутових стічних вод, звідки після очищення надійдуть у водойму; чистіша частина дощових вод по зливовідводу надходитиме від розділових камер у водойму без очищення.

Варіант I можливий в тому випадку, коли існуючий головний колектор виробничо-побутової мережі розташований нижче за дощові колектори і коли його пропускна здатність достатня для додаткового прийому частини дощової води під час заповнення його (відповідно до [9], п. 7.1.8 не більше ніж на 0,95 (а саме  $h/d \leq 0.95$ ), а пропускна здатність існуючих очисних споруд забезпечує прийом і очищення на них в цьому випадку дощових вод, що подаються. За браком такої можливості можуть бути розглянуті такі можливі варіанти, як II і III.

*Варіант II* передбачає будівництво нового підземного головного колектора дощової мережі, в який через розділові камери будуть скидатися з дощових колекторів найбільш забруднені дощові води і відводитися по ньому в регулюючий резервуар, звідки за допомогою побудованої насосної станції протягом 24-х годин після закінчення дощу будуть перекачуватися для очищення на існуючі очисні споруди виробничо-побутових стоків. Таке рішення дозволить

розвантажити (порівняно з варіантом I) існуючі очисні споруди. Якщо і за такого рішення очисні споруди не можуть очистити дощовий сток, то може бути розглянутий варіант III.

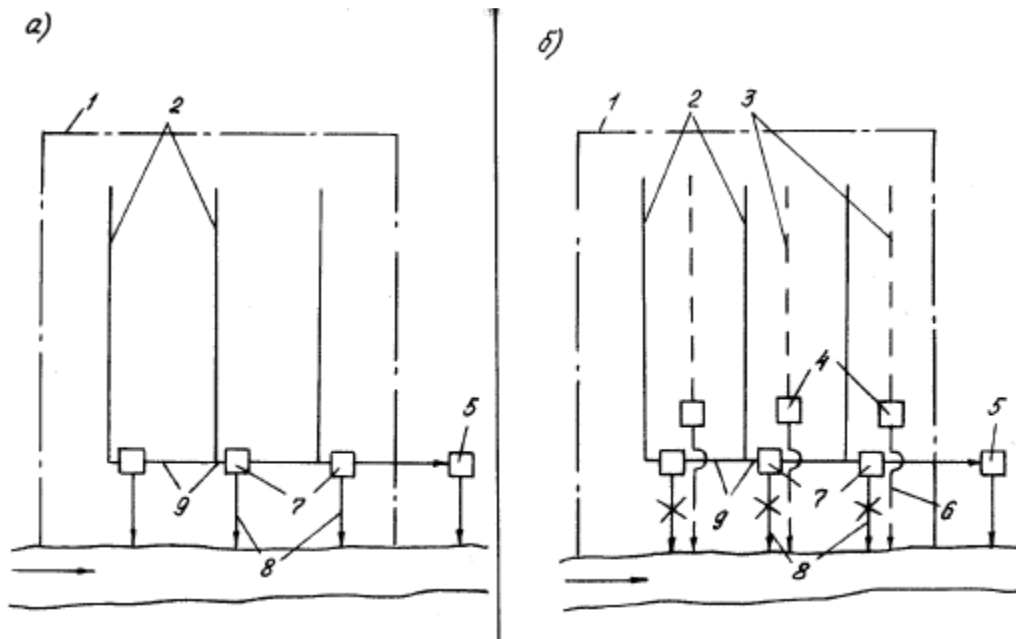
*Варіант III*, так само як варіант II, передбачає будівництво нового підземного головного колектора дощової мережі і розділових камер на існуючих дощових мережах, через які найбільш брудні порції дощової води будуть скидатися в головний колектор дощової мережі і по ньому відводитися під новозбудований регулювальний резервуар, а наступні, більш чисті порції дощової води – будуть скидатися від розділових камер у водойму без очищення. Новозбудована насосна станція буде перекачувати забруднені дощові води з регулюючого резервуара протягом 24-х годин після закінчення дощу на новозбудовані централізовані очисні споруди поверхневого стоку (ЦОСПС) очищення; очищені дощові води будуть скидатися у водойму по зливовідводу. Будівництво регулювального резервуара дозволить зменшити витрати води, які одночасно перекачуються на насосній станції на ЦОСПС, а отже, і вартість будівництва.

Розробка і техніко-економічне порівняння розглянутих вище трьох варіантів реконструкції повної роздільної системи в напівроздільну дозволить знайти найбільш доцільне і економічне рішення для конкретних місцевих умов.

#### *Реконструкція загальносплавної системи водовідведення в напівроздільну*

Існуюча загальносплавна система водовідведення має одну підземну мережу труб, в яку надходять побутові, виробничі та дощові води по головному колектору, а потім відводяться на очисні споруди. Для зменшення діаметрів труб головного колектора і розмірів очисних споруд, а отже, для скорочення витрат системи, на головному колекторі влаштовані дощоспуски, через які під час випадіння сильних дощів зі зливовідводів у водойму скидається без очищення частина суміші побутових, виробничих і дощових вод, що завдає йому помітної шкоди. Тому з метою захисту водойм від забруднення стічними водами доцільно реконструювати загальносплавну систему водовідведення у більш досконалу в санітарному відношенні – напівроздільну.

Варіант реконструкції загальносплавної системи у напівроздільну подано на рисунку 9.5, б. У процесі реконструкції системи необхідно паралельно основним, загальносплавним колекторам прокласти нові підземні колектори для збору дощової води і під'єднати до них всі існуючі на загальносплавній мережі дощоприймачі, від'єднавши їх від загальносплавних колекторів.



Рисунки 9.5 – Схема реконструкції існуючої загальносплавної системи водовідведення в напівроздільну:

а – схема існуючої загальносплавної системи водовідведення; б – схема реконструкції загальносплавної системи в напівроздільну систему водовідведення; 1 – межа населеного місця; 2 – існуюча підземна загальносплавна мережа; 3 – знову побудована підземна дощова мережа; 4 – знову споруджені розділові камери на дощовій мережі; 5 – існуючі очисні споруди для очищення побутових, виробничих і дощових вод; 6 – знову споруджуваний зливовідвід від розділових камер до водойми; 7 – існуючі дощоспуски на головному колекторі загальносплавної мережі; 8 – існуючі зливовідводи від дощоспусків до водойми; 9 – існуючий головний колектор загальносплавної мережі

Поблизу тих місць, де новозбудовані дощові колектори будуть перетинатися з існуючим головним колектором загальносплавної мережі, треба побудувати на них розділові камери, які передадуть найбільш забруднені перші порції дощової води в існуючий головний колектор загальносплавної мережі, а більш чисті дощові води по знову побудованим зливовідводам скинуть у водойму без очищення. Водночас існуючі на загальносплавній мережі зливовідводи від дощоспусків до водойм необхідно перекрити (вимкнути).

*Реконструкція існуючих водовідвідних колекторів із метою збільшення їх пропускної спроможності*

Потреба у збільшенні пропускної здатності існуючих водовідвідних колекторів на практиці може виникнути або через будівництво в існуючих

населених пунктах нових житлових мікрорайонів, стоки від яких передбачається відводити в існуючі мережі, або за необхідності прийняти в існуючі мережі стоки від існуючих або знову споруджуваних промислових об'єктів, або в зв'язку зі зростанням благоустрою існуючого житлового фонду (газифікацією будинків, переходом на централізоване гаряче водопостачання), коли зростає питоме водовідведення на одного мешканця, а отже, і витрати стічних вод, що надходять у водовідвідні системи.

Збільшити пропускну здатність існуючих колекторів можна двома шляхами:

– замінити існуючі колектори новими із більшим діаметром; таке рішення доцільно за незадовільного технічного стану існуючих трубопроводів (трубопроводи сильно засмічені, частково зруйновані тощо);

– якщо технічний стан існуючих колекторів задовільний, але пропускну здатність їх в нових умовах недостатня, то для вирішення поставленого завдання (збільшення пропускну здатності) можна паралельно з існуючими колекторами прокласти нові трубопроводи таких діаметрів, щоб під час спільної роботи з існуючими мережами вони забезпечували необхідну в нових умовах пропускну здатність системи.

#### *Реконструкція існуючих напірних трубопроводів із метою збільшення їхньої пропускну спроможності і зменшення втрат напору в них*

Залежно від місцевих умов можливі такі способи реконструкції напірних трубопроводів:

1. У разі хорошого або задовільного технічного стану існуючих напірних трубопроводів для збільшення їх пропускну спроможності можна прокласти додаткову нову напірну лінію такого діаметра, щоб вона під час паралельної роботи з існуючими напірними лініями забезпечувала необхідну в нових умовах пропускну здатність.

2. У разі незадовільного технічного стану існуючих напірних трубопроводів (труби заросли відкладеннями, внаслідок чого впала їхня пропускну здатність і зросли втрати напору в них) насамперед необхідно прочистити трубопроводи, тобто відновити їхню пропускну здатність і зменшити втрати напору в них; якщо ці заходи не забезпечать бажаного результату, може знадобитися прокладання нового напірного трубопроводу відповідного діаметра.

3. Якщо стан існуючих напірних трубопроводів задовільний, і пропускну здатність їх в нормальних умовах роботи насосної станції достатня, але в умовах аварії вони не справляються з роботою, можна влаштувати додаткові

перемикання між існуючими лініями. Це дозволить зменшити довжини ремонтних ділянок, що вимикаються під час аварій, а отже, скоротити втрати напору в трубопроводах в аварійних ситуаціях і збільшити їхню пропускну спроможність. Якщо такі заходи не приводять до бажаних результатів, то доводиться прокласти додаткові нові напірні лінії.

*Реконструкція водовідвідних мереж в умовах поганого технічного стану існуючих трубопроводів*

У процесі експлуатації водовідвідних мереж у трубах утворюються різні відкладення, внаслідок чого зменшується фактичний діаметр труб, підвищується шорсткість їх внутрішніх стінок. Крім заростання трубопроводів відкладеннями, у процесі їхньої експлуатації відбуваються руйнування окремих ділянок мережі, зміщення труб відносно один одного, в трубах утворюються каверни і тріщини, відбувається просідання труб і ґрунту по трасі мережі тощо. У результаті всього цього зменшується пропускну здатність мережі, а іноді порушується її цілісність. Тому з плином часу виникає необхідність відновлювати цілісність існуючих трубопроводів і їхню пропускну здатність, тобто виробляти реконструкцію.

Необхідність реконструкції існуючих мереж і вибір методу реконструкції встановлюються на підставі збору і ретельного аналізу даних про технічний стан мережі та її дефекти. Ці дані зазвичай накопичуються в процесі експлуатації мережі і можуть бути отримані насамперед із технічних паспортів мережі, зі звітів по зовнішнім і технічним оглядам мережі, а також шляхом спеціальних ретельних обстежень.

Вибір способу реконструкції існуючої мережі проводиться на основі ретельного аналізу зібраних даних про технічний стан мережі з огляду на конкретні місцеві умови, а також на технічні і фінансові можливості служби експлуатації мережі.

Нижче коротко розглянуті можливі способи реконструкції самопливних водовідвідних трубопроводів із метою відновлення втраченої в процесі експлуатації пропускну здатності трубопроводів і усунення дефектів існуючих мереж.

Найбільш простим і менш дорогим способом відновлення пропускну здатності трубопроводів є їхнє прочищення одним із застосовуваних у практиці експлуатації водовідвідних мереж методів: механічне прочищення труб шляхом протягування через трубопроводи совків, ковшів зі стулками, що розкриваються, щіток та інших пристосувань; гідромеханічне прочищення за допомогою

гумових м'ячів, дисків, дерев'яних циліндрів, металевих куль тощо; гідродинамічне прочищення за допомогою спеціальних машин.

Однак прочищення водовідвідної мережі не завжди призводить до бажаного результату. Крім того, якщо трубопроводи не тільки забруднені відкладеннями, але і мають різні дефекти, наприклад руйнування окремих ділянок труб, просідання трубопроводів, тріщини, свищі, зміщення трубопроводів в плані і профілі тощо виникає необхідність заміни старих труб новими або використання інших методів відновлення цілісності і пропускної здатності існуючих трубопроводів.

Під час будівництва нових трубопроводів у нашій країні зазвичай використовують або відкритий спосіб виробництва робіт (коли риють траншею, готують основу під труби, укладають трубопровід і засипають траншею ґрунтом), або закриті способи виконання робіт, а саме: метод горизонтального продавлювання або проколу, метод тунельної проходки (штольної або щитової).

Які ж з цих методів доцільно використовувати у разі капітального ремонту або відновлення існуючих трубопроводів, а також під час їхньої реконструкції?

Основним методом капітального ремонту і відновлення спрацьованих ділянок існуючих трубопроводів у нашій країні до теперішнього часу є відкритий спосіб. У цьому випадку розкривається дорожнє покриття або газони, риється траншея, спрацьований трубопровід замінюється новим і траншея засипається. Такий метод пов'язаний не тільки зі значними витратами як коштів, так і часу, але і надовго порушує нормальний ритм життя в районах, прилеглих до місця проведення робіт.

У низці зарубіжних країн існує заборона на ведення робіт із влаштування трубопроводів відкритим способом, тому там розроблені і широко використовуються безтраншейні технології спорудження не тільки нових трубопроводів, а й ремонту і оновлення (санації) існуючих інженерних комунікацій.

Починаючи з 1986 р. КП «Харківводоканал» практично випробував деякі з розроблених за кордоном методів безтраншейних технологій з ремонту, санації та реконструкції водовідвідних мереж міста з метою з'ясування можливості і доцільності їх користування у вітчизняній практиці.

Нижче наводяться короткі відомості про деякі успішно апробовані в Харкові методи безтраншейного ремонту існуючих водовідвідних мереж і про доцільну сферу їх застосування.

Безтраншейний метод «Віп-Лайн» [1] заснований на тому, що з колодязя на каналізаційному випуску з будівлі (без риття котловану) в існуючий дефектний

трубопровід за допомогою невеликої лебідки або важеля вводять модулі труб довжиною 0,5 м. З'єднання модулів між собою у міру їх просування в існуючу трубу здійснюється за допомогою різьблення, вирізаного на кінцях модулів. Таким простим способом можна відновити існуючі випуски з будинків. Недолік цього методу полягає в тому, що під час введення нових модулів труб всередину існуючої труби відбувається значне скорочення внутрішнього діаметра труби.

Технологія «методу руйнування» [1] подана на рисунку 9.6 і полягає в наступному: за допомогою спеціального обладнання – пневмопробійників (пневматичної машини ударної дії) (3), прикріплених тросом (7) до лебідки (1), і протягування через існуючий дефектний трубопровід (2) – руйнується стара труба (2) і одночасно замість простягається нова (5). В якості нового трубопроводу використовуються або короткі патрубки (довжиною до 1,5 м), які монтується замість старої труби з існуючого оглядового колодязя і з'єднуються між собою на різьбленні, або (якщо за місцевими умовами можна влаштувати невелику траншею (4)) гнучкі поліетиленові або вініпластові труби (5), які одночасно з пневмопробійниками простягаються через старий трубопровід (2), що руйнується (рис. 9.6). За допомогою цього методу в Харкові були успішно відновлені колектори з чавунних, бетонних, залізобетонних і навіть дерев'яних труб діаметром 200–300 мм [1].

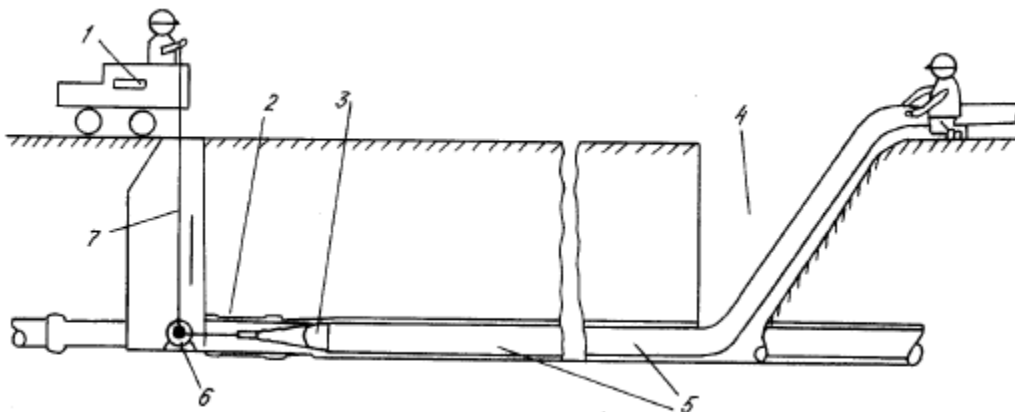


Рисунок 9.6 – Схема відновлення водовідвідних трубопроводів методом руйнування існуючого колектора:

1 – лебідка; 2 – існуючий старий дефектний трубопровід, який підлягає відновленню; 3 – пневмопробійник; 4 – траншея; 5 – гнучка поліетиленова або вініпластова нова труба; 6 – напрямний блок; 7 – трос

Досвід показує, що за допомогою «методу руйнування» можна відремонтувати ділянки водовідвідних колекторів, які мають невеликі провали і зміщення труб відносно один одного до  $0,25 d$ . Якщо на ділянці трубопроводу є великі провали і відновити його «методом руйнування» не вдається, доводиться

застосовувати традиційний відкритий спосіб – робити локальну розкопку існуючих дефектних трубопроводів і замінювати їх на нові труби.

У тих випадках, коли за місцевими умовами є обґрунтована можливість незначного зменшення діаметра існуючого колектора, використовується модифікація «методу руйнування», яка полягає в тому, що існуючий дефектний трубопровід не руйнується, а всередину нього простягається нова поліетиленова або вінілпластова труба меншого діаметра; утворений кільцевий простір між новою і старою трубами заповнюється цементно-піщаним розчином. Протягування нової труби з одного стартового котловану можливо на довжину до 100–150 м. Використання такого методу особливо ефективно для відновлення колекторів діаметром більше 400 мм.

Різновидом зазначеного методу відновлення водовідвідних колекторів є метод «Флексорен» [2], технологічна схема якого подана на рисунку 9.7. Цей метод дозволяє ремонтувати колектори невеликого діаметра (до 300 мм) без влаштування траншей і котлованів і без руйнування старих труб. Цей метод став популярний завдяки застосуванню гнучких труб (2) фірми «Упорон», які разом із високою механічною міцністю мають великий радіус вигину ( $3 d_y$ ), що дозволяє монтувати їх за допомогою лебідки (3) і троса (6) в існуючий трубопровід (7) із поверхні землі через кришки колодязів (1).

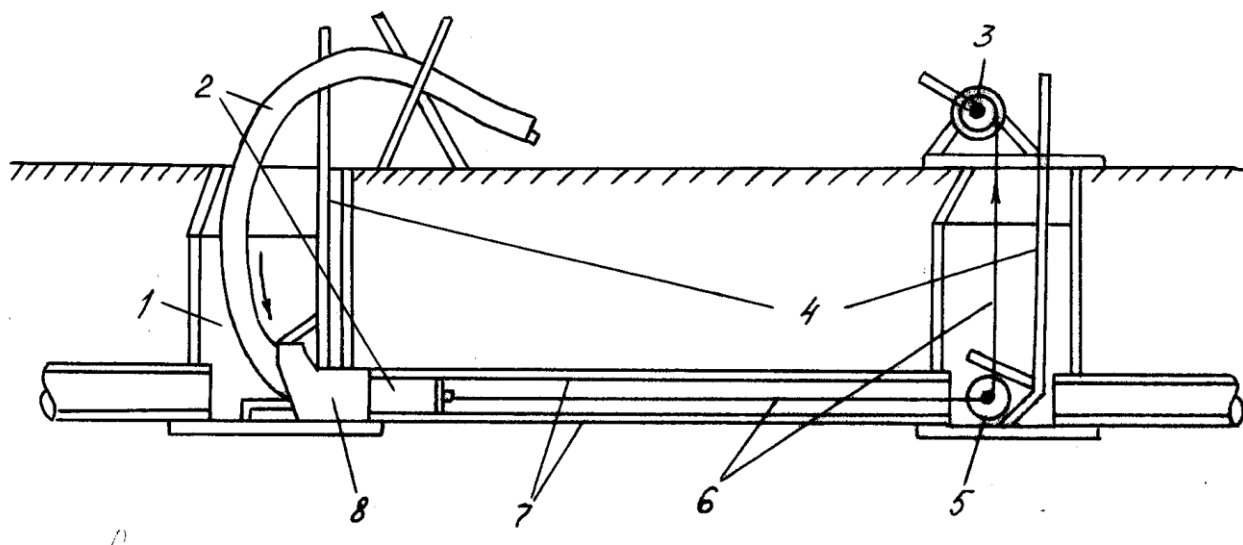


Рисунок 9.7 – Схема відновлення водовідвідних колекторів методом «Флексорен»: 1 – колодязі на існуючій сітці; 2 – гнучка труба фірми «Упорон»; 3 – лебідка; 4 – упори; 5 – нарядний блок; 6 – трос; 7 – трубопровід, що ремонтується; 8 – напрямний пристрій

Із відомих способів відновлення водовідвідних трубопроводів невеликого діаметра метод «флексорів» найбільш популярний, тому що він порівняно простий, не вимагає складного і дорогого обладнання, забезпечує високі темпи

відновлення труб і має широкі перспективи для практичного застосування. Наприклад, у деяких містах України протяжність мереж діаметром до 300 мм складає більше 50 %, тому цей метод займає провідні позиції.

Протягом більше 20-ти років для відновлення водовідвідних колекторів у багатьох країнах широко використовують метод «Інсітуформ» [2]. З його допомогою успішно відновлено більше 3 600 км мереж, причому термін служби відновлених колекторів збільшується, за оцінками англійських фахівців, більш ніж на 50 років. У Харкові відновлення водовідвідних колекторів цим методом почали здійснювати на початку 1990-х років. Встановлено, що таким способом можна відновлювати колектори діаметром від 100 мм до 2 000 мм, а також бічні колектори приєднані до них.

Технологічна схема відновлення водовідвідних трубопроводів методом «Інсітуформ» подана на рисунку 9.8.

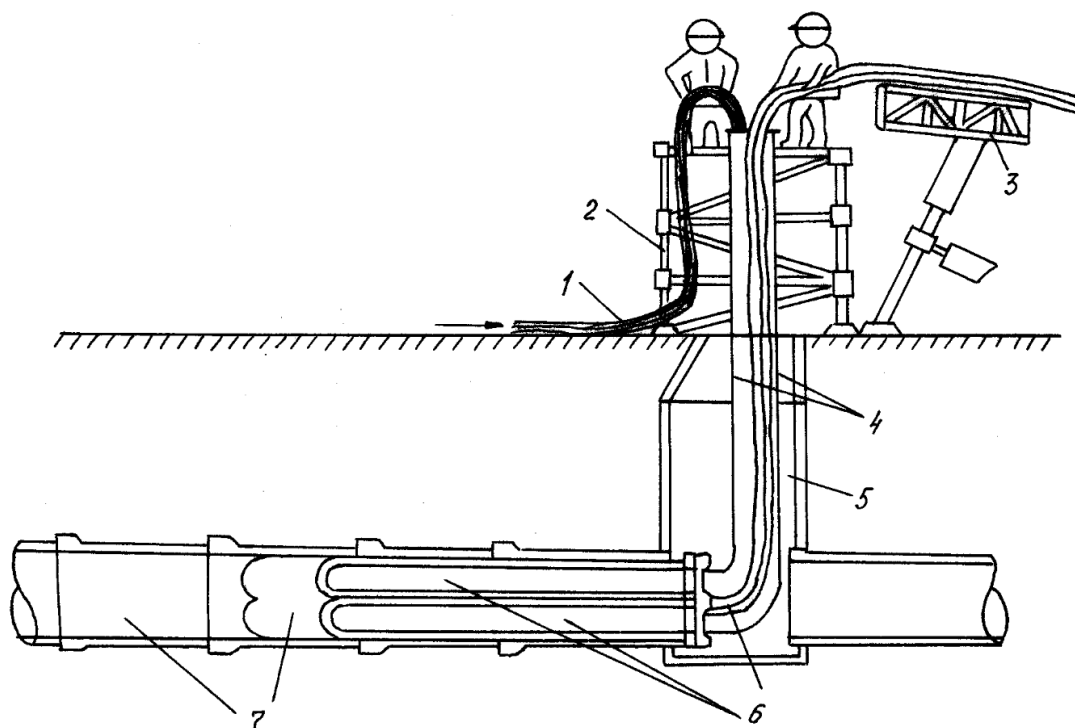


Рисунок 9.8 – Технологічна схема відновлення існуючих водовідвідних трубопроводів методом «Інсітуформ»:

1 – шланг для заповнення водою; 2 – монтажна вишка; 3 – конвеєр для подання гнучких рукавів у напрямну трубу 4; 4 – напрямна труба; 5 – оглядовий колодязь на існуючій водовідвідній мережі; 6 – гнучкий рукав («панчоха») з нетканого матеріалу; 7 – відновлюваний водовідвідний колектор

Суть методу полягає в тому, що через існуючий оглядовий колодязь (5) у відновлюваний трубопровід (7) вводять гнучкий рукав («панчоху») (6) із нетканого матеріалу, попередньо просочений поліестровою смолою.

Цей «другий» трубопровід просувається в трубу, що реконструюється під гідростатичним тиском (напором) води 0,5–0,7 атм; вода розправляє «панчохи» і щільно притискає їх до внутрішньої поверхні старої труби; просуваючись по трубі, рукав одночасно простягає термостійкий шланг діаметром 80–100 мм, який необхідний для циркуляції гарячої води по всій довжині рукава. Після установки рукава (б) у потрібне положення термостійкий шланг під'єднують до напірного патрубку бойлерної установки і починають його нагрівання до  $t = 60$  °С гарячою водою, що готуються в пересувній бойлерній установці. Водночас відбувається процес полімеризації рукава, який триває від 12-ти год до 24-х год залежно від довжини і діаметра відновлюваної ділянки трубопроводу. Таким способом за добу можна реконструювати ділянку колектора довжиною до 300 м. Після закінчення робіт за допомогою пневмоінструментів вирізають полімеризовану «панчоху» в лотковій частині оглядових колодязів і контролюють якість виконаних відновлювальних робіт.

У 1997 р. в Харкові вперше пройшов випробування новий метод санування трубопроводів за системою «Троллайнінг», розробленою в 1993–1994 рр. у Німеччині [1]; він схожий на метод «Інсітуформ», але для його реалізації потрібно значно менше обладнання та витрат енергії; цей метод може використовуватися для санування колекторів практично будь-яких форм поперечного перерізу (круглих, шатрових, овоїдальних).

Технологічна схема відновлення водовідвідного колектора методом «Троллайнінг» [1] подана на рисунку 9.9. Суть цього методу полягає в тому, що в існуючий водовідвідний колектор (7) із виявленими дефектами через люк оглядового колодязя (2) вводять і протягують за допомогою лебідки (1) і троса (9) внутрішній поліетиленовий рукав (б), попередньо виготовлений за формою труби і складений у поздовжньому напрямку; поліетиленовий рукав (б) зварюється з двох сторін із листового поліетилену з товщиною стінки 2,5 мм, що має з одного боку рельєфні (грибоподібні) виступи. Виготовлений рукав, складений у поздовжньому напрямку, може простягатися лебідкою через існуючу трубу на довжину до 120 м. Для того щоб рукав після установки його в ремонтваній трубі прийняв форму її поперечного перерізу, його заповнюють водою або повітрям під тиском до 50 кПа. Круговий простір, що утворюється в рукаві за рахунок рельєфних потовщень поліетилену, з якого рукав виготовлений, заповнюється спеціальним ін'єкційним бетоном або розчином; водночас відбувається також заповнення пустот і стикових з'єднань трубопроводу, що ремонтується, а високоміцний не дуже в'язкий бетон фіксує рукав у трубі в потрібному положенні.

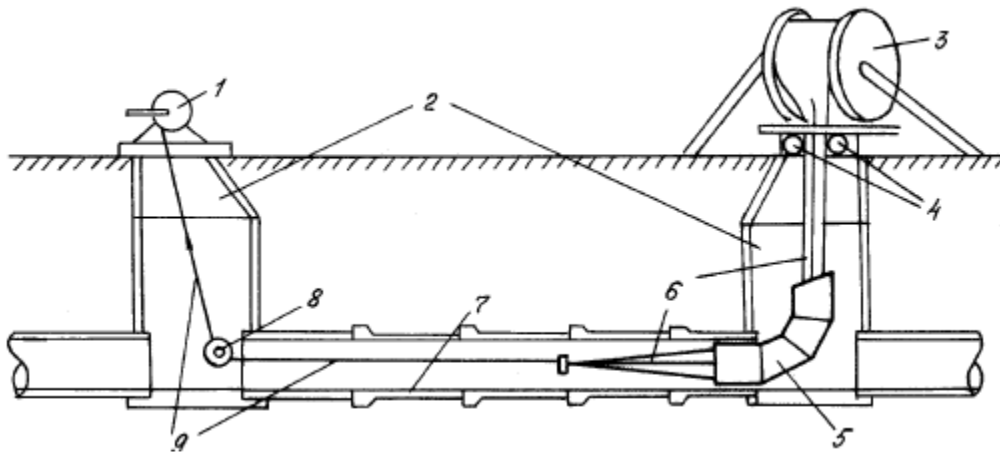
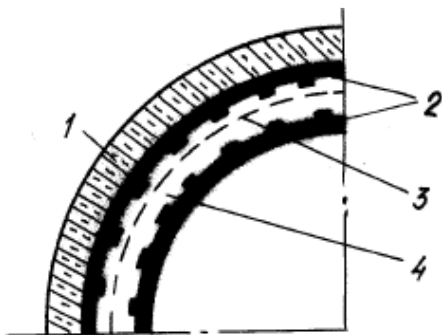


Рисунок 9.9 – Технологічна схема відновлення водовідвідного колектора методом «Троллайнінг»:

- 1 – лебідка; 2 – оглядові колодязі на існуючій водовідвідній мережі; 3 – барабан із намотаним поліетиленовим рукавом; 4 – напрямні ролики; 5 – напрямна труба; 6 – поліетиленовий рукав; 7 – відновлюваний колектор; 8 – напрямний блок; 9 – трос

На рисунку 9.10 подано перетин водовідвідного колектора, відновленого за допомогою методу «Троллайнінг».



Крім описаних вище безтраншейних способів відновлення існуючих трубопроводів, є й інші методи, з якими можна ознайомитися з літератури наприклад, за книгою [2].

Рисунок 9.10 – Перетин водовідвідного колектора, відновленого за допомогою методу «Троллайнінг»:

- 1 – стара труба; 2 – поліетиленові рукава; 3 – поліетиленова сітка; 4 – мінералізований бетон (розчин)

### Контрольні питання

1. Назвіть основні методи санації систем транспортування води.
2. Що має на увазі безтраншейний ремонт локальних ушкоджень водопровідних трубопроводів?
3. Яке Ви знаєте безтраншейне ущільнення нещільних з'єднань водопровідних труб?
4. Що таке довгий та короткий релайнінг?
5. Наведіть приклад із застосуванням реставрації за допомогою ребристих стрічок.
6. Де застосовують реставрацію за допомогою тверднучих полімерних

плівок («метод панчохи»)?

7. Поясніть як відбувається реставрація трубопроводів методом «Флексорен»?

8. Де застосовують реставрацію за допомогою поліетиленового гнучкого облицювального матеріалу з анкерними ребрами?

9. Де можна застосувати реставрацію шляхом напилення покриття?

10. Опишіть санацію металевих трубопроводів за допомогою цементно-піщаного облицювання.

11. Назвіть шляхи збільшення пропускної здатності існуючих колекторів.

12. Опишіть варіанти реконструкції існуючої неповної роздільної системи водовідведення в повну роздільну.

13. Які способи реконструкції існуючих водовідвідних мереж ви знаєте?

14. Наведіть способи реконструкції існуючих водовідвідних мереж.

15. Назвіть причини, що спричиняють необхідність реконструкції водовідвідних мереж.

16. Опишіть схему реконструкції існуючої загальносплавної системи водовідведення в напівроздільну.

17. Опишіть технологію демонтажу трубопроводу та заміни його на новий.

18. Опишіть технологію усунення старого трубопроводу та ґрунту навколо нього.

## **Тема 10 Реконструкція насосних станцій**

1. Особливості оптимізації роботи водопровідних насосних станцій.

2. Реконструкція насосних станцій систем водовідведення.

### **Особливості оптимізації роботи водопровідних насосних станцій**

Для реконструкції систем водопостачання та водовідведення необхідна інформація про діючі споруди, оскільки в процесі експлуатації їхні характеристики змінюються. Найбільшою мірою це стосується насосних станцій, водоводів, мереж водопостачання та водовідведення, вартість яких сягає 75 % загальної вартості всіх споруд. Тому правильне вирішення питань реконструкції насосних станцій можна обрати тільки на підставі натурних досліджень напірно-витратних і енергетичних характеристик діючих насосів, гідравлічних опорів водопровідних і водовідвідних мереж.

За даними таких досліджень виявляються фактичні схеми живлення водопровідної мережі і роль кожного живильника, визначаються дійсні точки спільної роботи насосів і трубопроводів, встановлюються причини перевитрати

електроенергії насосними станціями. І тільки на підставі натурних досліджень і виконаних розрахунків розробляються рекомендації щодо збільшення пропускної здатності систем водопостачання та водовідведення, з вибору оптимальних режимів спільної роботи насосних станцій та трубопроводів водопостачання та водовідведення за умови забезпечення розрахункових витрат і необхідних напорів за найменшої витрати електроенергії. Для досягнення цих цілей розглядаються питання заміни робочих коліс у насосах або самих насосів, паралельної роботи декількох насосних агрегатів, заміни електродвигунів насосів або регулювання їхньої частоти обертання.

Насоси відчують з метою уточнення їх фактичних робочих характеристик, які необхідно знати під час розроблення проєкту реконструкції діючих систем для з'ясування можливості або доцільності їхнього подальшого використання. Під час випробувань для постійної частоти обертання робочого колеса насоса ( $n = \text{const}$ ) обирають напірну ( $H - Q$ ) і енергетичні ( $N - Q$  і  $\eta_n - Q$ ) характеристики. Подачу насоса  $Q$  вимірюють за допомогою встановлених на напірних лініях витратомірів. Напір, створюваний насосом, обчислюють за такою формулою, м:

$$H_{\text{оп}} = \frac{P_{\text{ман}} - P_{\text{вак}}}{\rho \cdot g} + \frac{V_{\text{вих}}^2 - V_{\text{вх}}^2}{2g} + Z, \quad (10.1)$$

де  $P_{\text{ман}}$  і  $P_{\text{вак}}$  – тиск за показниками приладів відповідно на всмоктувальному і напірному патрубках насосів, кгс/см<sup>2</sup>;

$\rho$  – щільність рідини, що перекачується насосом, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – прискорення вільного падіння, мс<sup>-2</sup>;

$V_{\text{вих}}^2, V_{\text{вх}}^2$  – швидкості руху води відповідно на вхідному і вихідному патрубках насоса (у разі визначення характеристики попередньо вимірюють діаметри всмоктувального і напірного патрубків насоса), м/с;

$Z$  – вертикальна відстань між точками відбору тисків на всмоктувальному і напірному патрубках насоса, м.

Для зняття енергетичних характеристик вимірюють споживану електродвигуном насоса потужність за допомогою ватметра. Потужність  $N_{\text{оп}}$ , споживану на валу насоса, обчислюють за такою формулою, кВт:

$$N_{\text{оп}} = \eta_{\text{дв}} \cdot N_{\text{ел.дв.}}, \quad (10.2)$$

де  $\eta_{\text{дв}}$  – коефіцієнт корисної дії електродвигуна, обирається за графіком залежно від його завантаження;

$N_{\text{эл.дв}}$  – потужність, що підводиться до клем двигуна, кВт.

За результатами випробувань насосів обчислюють їхні розрахункові параметри для постійної частоти обертання насосного агрегату (оскільки вони змінюються залежно від завантаженості електродвигуна) за такими формулами:

$$Q = Q_{on} \cdot \left(\frac{n}{n_{on}}\right); \quad H = H_{on} \cdot \left(\frac{n}{n_{on}}\right)^2; \quad N = N_{on} \cdot \left(\frac{n}{n_{on}}\right)^3, \quad (10.3)$$

де  $Q_{on}$ ,  $H_{on}$ ,  $N_{on}$  і  $n_{on}$  – подача, л/с, напір, м, споживана на валу насоса потужність, кВт, частота обертання робочого колеса насоса, хв<sup>-1</sup>, отримані під час випробування насоса за показниками приладів;

$Q$ ,  $H$ ,  $N$  і  $n$  – таке саме, перелічені на стандартну частоту обертання.

Коефіцієнт корисної дії насоса для  $n = const$  визначається за формулою

$$\eta_H = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{102 \cdot N}. \quad (10.4)$$

Для перерахованих параметрів насоса будують графіки залежності  $H - Q$ ,  $N - Q$ ,  $\eta_H - Q$  у разі  $n = const$ .

Для встановлення робочих параметрів спільної роботи насосів і трубопроводів необхідно мати дійсні характеристики насосів і трубопроводів.

Тому правильне визначення фактичних гідравлічних характеристик трубопроводів має велике значення під час розроблення проєктів реконструкції діючих насосних станцій.

У процесі експлуатації трубопроводів їх гідравлічні опори істотно збільшуються порівняно з початковими. Гідравлічні характеристики діючих трубопроводів можна визначити методом трьох манометрів, згідно з яким фактичний питомий опір досліджуваного трубопроводу обчислюють за такою формулою:

$$A_\phi = \frac{(\sqrt{i_1} - \sqrt{i_2})^2}{q^2}, \quad (10.5)$$

де  $i_1$  і  $i_2$  – гідравлічні ухили на ділянках трубопроводу довжиною  $l_1$  і  $l_2$ , що визначаються за такими співвідношеннями:

$$i_1 = \frac{h_1}{l_1}; \quad i_2 = \frac{h_2}{l_2}; \quad (10.6)$$

$h_1$  і  $h_2$  – втрати напору на цих ділянках, вимірювані за допомогою зразкових манометрів, м;

$q$  – витрата води, л/с, вимірювана через відгалуження, встановлена на відстані  $l_1$  від початку досліджуваного трубопроводу.

Манометри ставляться на початку і в кінці трубопроводу, а також у місці відгалуження. На трубопроводі між манометрами всі водоспоживачі

відключаються. Витрата  $q$  повинна становити не менше 1–15 % транзитної витрати  $Q$ , що визначається за такою формулою:

$$Q = \sqrt{\frac{i_1}{A_\phi}}. \quad (10.7)$$

Втрати напору на ділянках обчислюються за такими формулами, м:

$$h_1 = 10 \cdot (P_{\text{ман } 1} - P_{\text{ман } 2}) + \Delta h_1; \quad (10.8)$$

$$h_2 = 10 \cdot (P_{\text{ман } 2} - P_{\text{ман } 3}) + \Delta h_2, \quad (10.9)$$

де  $P_{\text{ман } 1}$ ,  $P_{\text{ман } 2}$ ,  $P_{\text{ман } 3}$  – показники манометрів, кгс/см<sup>2</sup>;

$\Delta h_1$ ,  $\Delta h_2$  – різниця в оцінках осей відповідно першого і другого або другого і третього манометрів, м.

Витрату  $q$  можна визначати точним об'ємним методом, відбираючи воду через пожежні гідранти.

Під час обстеження великої кількості ділянок трубопроводів розглянутий метод є громіздким. Тому доцільно випробовувати лише характерні ділянки, згрупувавши їх залежно від матеріалу і діаметра труб, а також від умов і термінів експлуатації.

Під час реконструкції насосних станцій та вибору оптимальних режимів спільної роботи насосів і водовідвідної системи вивчають роботу всіх споруд системи подання і розподілу води, з'ясовують можливість або доцільність використання насосів, що експлуатуються і вибирають оптимальний режим їхньої роботи. Водночас може бути кілька можливих рішень: використання експлуатованих насосів з установкою більш потужних електродвигунів; обточування робочого колеса насоса; регулювання частоти обертання електродвигуна; паралельна робота декількох насосів; повна або часткова заміна насосного обладнання; зниження гідравлічних опорів водопровідної системи.

### *Водопровідні насосні станції I підйому*

Насосні станції I підйому зазвичай подають воду по водоводах на очисні споруди. Під час реконструкції цих насосних станцій виникає необхідність вирішення такого завдання.

Насосна станція повинна подавати витрату  $Q_{\text{доб}}^{\text{розр}}$ , що перевищує проєктну. Тому необхідний для цього тиск  $H_2$  буде більшим ніж розрахунковий  $H_1$  і перевантаженим елементом в цьому випадку будуть насоси I підйому, не здатні створити напір  $H_2$  із витратою  $Q_{\text{доб}}^{\text{розр}}$ .

Рішення завдання – заміна існуючих насосів або збільшення кількості оборотів робочих коліс насоса. Однак обмежуючим фактором в цьому випадку

може виявитися величина допустимого напору у водоводах. Єдиним способом підвищення їх пропускної спроможності буде збільшення кількості ниток. Таким чином, перший варіант вирішення передбачає реконструкцію тільки насосної станції, другий – прокладання додаткової нитки водоводу.

Під час реконструкції насосної станції першого підйому розрахункові добова  $Q_{\text{доб}}^{\text{розр}}$  і годинна  $Q_{\text{год}}$  продуктивності насосів визначаються за такими формулами:

$$Q_{\text{доб}}^{\text{розр}} = \alpha \cdot Q_{\text{доб}}; \quad Q_{\text{год}} = \frac{Q_{\text{доб}}^{\text{розр}}}{24}, \quad (10.10)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує витрату на власні потреби насосної станції та очисних споруд,  $\alpha = 1,1$ ;

$Q_{\text{доб}}$  – добова витрата води споживачами, м<sup>3</sup>/добу.

Додатково уточнюється необхідність в установці пожежних насосів із такої умови:

$$\frac{3 \cdot Q_{\text{пож}} + \sum Q_{\text{max}} - 3 \cdot Q_{\text{год}}}{T} \geq 0,07 \cdot \alpha \cdot Q_{\text{доб}}, \quad (10.11)$$

де  $Q_{\text{пож}}$  – розрахункова часова витрата на пожежогасіння, м<sup>3</sup>/год;

$\sum Q_{\text{max}}$  – сумарна 3-годинна витрата найбільшого водоспоживання, м<sup>3</sup>/год;

$Q_{\text{год}}$  – годинне подання насосної станції I підйому, м<sup>3</sup>/год;

$T$  – тривалість поповнення пожежного запасу води у резервуарі чистої води (РЧВ), ч.

Необхідний напір насосів визначається за такою формулою:

$$H = H_{\text{г}} + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + h_{\text{в}} + h_{\text{н.ст}}, \quad (10.12)$$

де  $H_{\text{г}}$  – геометрична висота підйому води насосами – різниця позначки води в змішувачі очисних споруд і мінімальної позначки води у всмоктувальній камері насосної станції першого підйому, м;

$\frac{P_2}{\rho \cdot g}$  – вільний напір у ділянці подання води на очисні споруди, м;

$\frac{P_1}{\rho \cdot g}$  – атмосферний тиск на поверхню води у всмоктувальній камері, м;

$h_{\text{н}}$  – втрати напору в напірних лініях, м;

$h_{\text{н.ст}}$  – втрати напору в комунікаціях насосної станції, м.

У разі установки горизонтальних насосів вище рівня води у всмоктувальній камері уточнюють допустиму геометричну висоту всмоктування за такою формулою:

$$H_{\text{ГВ}}^{\text{доп}} = H_{\text{вак}}^{\text{доп}} - h_{\text{вс}} - \frac{V_{\text{вс.патр}}^2}{2g} - H_{\text{зап}}, \quad (10.13)$$

де  $H_{ГВ}^{доп}$  – допустима вакуумметрична висота всмоктування насоса, що встановлюється за графіком сумісних характеристик насоса і трубопроводів, м;

$h_{вс}$  – втрати напору у всмоктувальній лінії насоса, м;

$V_{вс.патр}$  – швидкість води у всмоктувальному патрубку насоса, м/с;

$H_{зап}$  – запас вакуумметричної висоти всмоктування, 0,5–1,0 м.

Якщо в паспорті насоса вказано мінімальне значення кавітаційного запасу  $\Delta h_{мін}$ , то  $H_{ГВ}^{доп}$  визначають за такою формулою:

$$H_{ГВ}^{доп} = \frac{P_{атм} - P_{пар}}{\rho \cdot g} - \Delta h_{доп} - h_{вс}, \quad (10.14)$$

де  $\frac{P_{атм}}{\rho \cdot g}$  – атмосферний тиск, м;

$\frac{P_{пар}}{\rho \cdot g}$  – тиск насиченої пари перекачується насосом води, м;

$\Delta h_{доп}$  – допустимий кавітаційний запас, м;

$$\Delta h_{доп} = \varphi \cdot \Delta h_{мін}, \quad \varphi = 1,1 \dots 1,5.$$

У разі заміни насосів підбирають нові електродвигуни з урахуванням необхідного запасу потужності, кВт, і визначають за такою формулою:

$$N_{дв} = K_3 \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{102 \cdot \eta_n \cdot \eta_{п}}, \quad (10.15)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт запасу потужності, що обирається залежно від потужності насоса у таких межах:

за потужності насоса до 2 кВт.....1,50;  
 те ж, від 2 кВт до 5 кВт..... 1,50–1,25;  
 те ж, від 5 кВт до 50 кВт.....1,25–1,15;  
 те ж, від 50 кВт до 100 кВт.....1,15–1,10;  
 те ж, понад 100 кВт.....1,10–1,05;

$Q$  – подання насоса, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – напір насоса, м;

$\eta_n$  – коефіцієнт корисної дії насоса;

$\eta_{п}$  – коефіцієнт корисної дії передачі між насосом і електродвигуном.

З урахуванням нової потужності обраних електродвигунів за необхідності змінюють силові трансформатори, робоча потужність яких визначається за такою формулою:

$$P_{роб} = \frac{K_{п} \cdot \sum N_{дв}}{\cos \varphi} + P_{доп} + P_{осв}, \quad (10.16)$$

де  $K_{п}$  – коефіцієнт попиту, обирається залежності від одночасного завантаження за потужністю в межах 0,6–0,95 %;

$\Sigma N_{\text{дв}}$  – сума номінальних потужностей електродвигунів (без урахування резервних), кВт;

$\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності електродвигуна;

$P_{\text{доп}}$  – кількість електроенергії, споживаної допоміжним обладнанням, кВт;

$P_{\text{осв}}$  – таке саме, на освітлення, кВт.

Необхідна потужність підстанції може бути отримана за різної кількості трансформаторів. Зазвичай на трансформаторних підстанціях водопостачання та водовідведення залежно від групи їхньої надійності та потужності встановлюється не більше двох трансформаторів. У разі виходу з ладу одного з них допускається тимчасове перевантаження того, що залишився, яке не повинне перевищувати 20–40 % номінальної його потужності.

### *Водопровідні насосні станції II підйому*

Насосна станція II підйому подає воду з резервуарів чистої води, розташованих після очисних споруд, у водонапірну башту і розвідну мережу населеного пункту. Насосне обладнання підбирається на подачу розрахункової витрати на годину максимального водоспоживання і перевіряється на подачу пожежної витрати, транзитної витрати у башту (у разі застосування схеми з контррезервуаром), розрахункової витрати під час аварії на одній із ниток водоводів.

У разі заміни обладнання та реконструкції насосних станцій II підйому розрахункова годинна продуктивність насосів визначається залежно від схеми подачі води в мережу. У разі безбаштової схеми розрахункова максимальна подача насосної станції дорівнює максимальній годинній витраті, м<sup>3</sup>/год, і визначається за такою формулою:

$$Q_{\text{н.ст}} = Q_{\text{год.мах}} \quad (10.17)$$

За наявності регулюючої ємності частина витрат на годину максимального водоспоживання може надходити в мережу з башти, що дозволяє зменшити розрахункову максимальну подачу насосної станції:

$$Q_{\text{н.ст}} = Q_{\text{год.мах}} - Q_{\text{Б}}, \quad (10.18)$$

де  $Q_{\text{Б}}$  – витрата води, що надходить у мережу з водонапірної башти на годину максимального водоспоживання, м<sup>3</sup>/год.

Додатково уточнюється потреба в установці пожежних насосів із такої умови:

$$Q_{\text{н.ст}}^{\text{розр}} = Q_{\text{н.ст}} + Q_{\text{пож}}^{\text{зов}} + Q_{\text{пож}}^{\text{внутр}}, \quad (10.19)$$

де  $Q_{\text{пож}}^{\text{зов}}$  і  $Q_{\text{пож}}^{\text{внутр}}$  – годинні розрахункові витрати на зовнішнє і внутрішнє пожежогасіння, м<sup>3</sup>/год.

У разі заміни (модернізації) обладнання насосних станцій другого підйому напори насосів залежать від наявності та місця розташування водонапірної башти на мережі. На рисунках показані схеми взаємозв'язку з напором насосних станцій та міських водоспоживачів для випадків, коли башта розташована на початку мережі (рис. 10.1) і в системі з контррезервуаром (рис. 10.2).

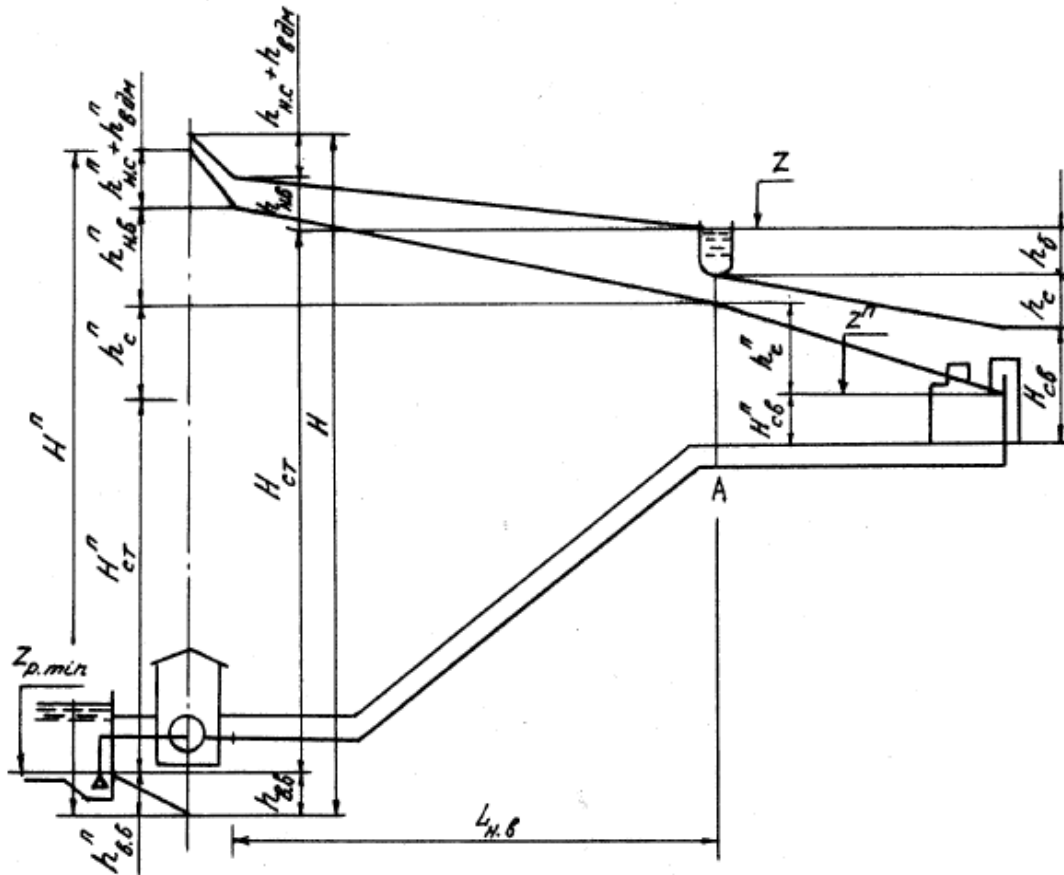


Рисунок 10.1 – Схема до визначення напору насосів II підйому в системі з водонапірною баштою на початку мережі

У системі з баштою на початку мережі (рис. 10.1) тиск насосів для години максимального водоспоживання буде визначатися за такою формулою, м:

$$H = H_{ст} + h_{вв} + h_{нс} + h_{вод} + h_{нв}, \quad (10.20)$$

а на випадок пожежогасіння на годину максимального водоспоживання – за такою формулою, м:

$$H^{\Pi} = H_{ст}^{\Pi} + h_{вв}^{\Pi} + h_{нс}^{\Pi} + h_{вод}^{\Pi} + h_{нв}^{\Pi} + h_{м}^{\Pi}, \quad (10.21)$$

де  $H_{ст}$  – статичний напір, рівний різниці відміток подачі  $Z$  і мінімального рівня в резервуарі чистої води  $Z_{p.min}$ , м;

$H_{ст}^{\Pi}$  – статичний напір під час подавання води на пожежогасіння, рівний різниці відміток подачі  $Z^{\Pi}$  і мінімального рівня в резервуарі чистої води  $Z_{p.min}$ , м;

$h_{\text{ВВ}}, h_{\text{ВВ}}^{\text{II}}$  – втрати напору у трубопроводах, що всмоктують відповідно для години максимального водоспоживання і на випадок пожежогасіння, м;

$h_{\text{НС}}, h_{\text{НС}}^{\text{II}}$  – втрати напору в комунікаціях насосної станції, м;

$h_{\text{ВОД}}$  – втрати напору у водомірі, м;

$h_{\text{НВ}}, h_{\text{НВ}}^{\text{II}}$  – втрати в напірних водоводах, м;

$h_{\text{М}}^{\text{II}}$  – гідравлічні втрати у міській водопровідній мережі під час пожежі, м.

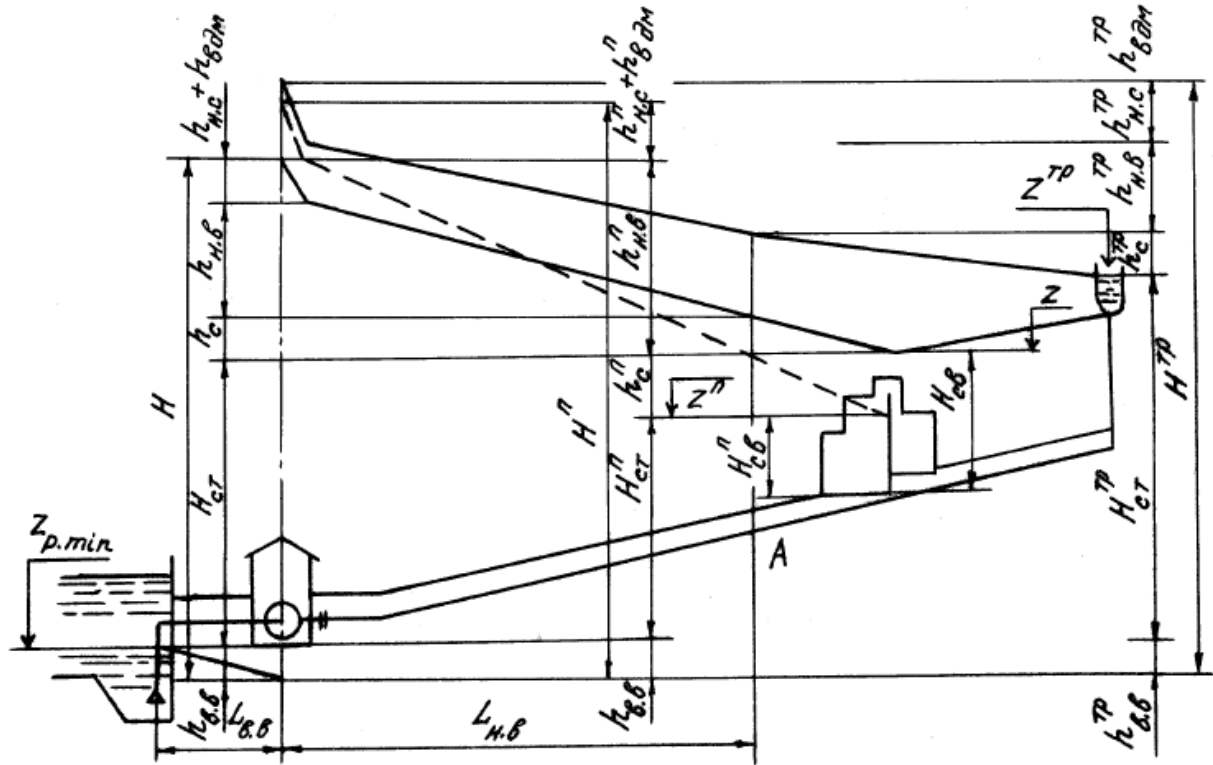


Рисунок 10.2 – Схема до визначення напору насосів II підйому в системі з контррезервуаром

У системі з контррезервуаром (рис. 10.2) тиск насосів буде визначатися за такими формулами, м:

– на випадок максимального водоспоживання:

$$H = H_{\text{ст}} + h_{\text{ВВ}} + h_{\text{НС}} + h_{\text{ВОД}} + h_{\text{НВ}} + h_{\text{М}}, \quad (10.22)$$

– на випадок максимального транзиту води до контррезервуара:

$$H^{\text{тр}} = H_{\text{ст}}^{\text{тр}} + h_{\text{ВВ}}^{\text{тр}} + h_{\text{НС}}^{\text{тр}} + h_{\text{ВОД}}^{\text{тр}} + h_{\text{НВ}}^{\text{тр}} + h_{\text{М}}^{\text{тр}}, \quad (10.23)$$

де  $H_{\text{ст}}^{\text{тр}}$  – статичний напір, який визначається з умови подання води в водонапірну башту, м;

– на випадок пожежогасіння в годину максимального водоспоживання – за формулою (10.21).

$$H_{\text{ст}}^{\text{тр}} = Z^{\text{тр}} - Z_{p.min}, \quad (10.24)$$

де  $h_{\text{ВВ}}^{\text{ТР}}, h_{\text{НС}}^{\text{ТР}}, h_{\text{ВОД}}^{\text{ТР}}, h_{\text{НВ}}^{\text{ТР}}$  – втрати напору під час транзиту води в контррезервуар відповідно у трубопроводах, що всмоктують, комунікаціях насосної станції, водомірах і напірних водоводах, м;

$h_{\text{М}}^{\text{ТР}}$  – гідравлічні втрати у міській мережі під час транзиту води в контррезервуар, м.

Під час реконструкції водопровідних насосних станцій перевірочні розрахунки варіантів зручно проводити графоаналітичним шляхом із побудовою спільних характеристик насосів і трубопроводів.

Для цього за експлуатаційними даними уточнюють фактичні характеристики насосів у такому вигляді, м:

– для одного насоса

$$H_{\text{Н}} = \beta^2 \cdot H_{\text{Ф}} - S_{\text{Ф}} \cdot Q^2, \quad (10.25)$$

– у разі паралельної роботи декількох ( $N$ ) однакових насосів

$$H_{\text{Н}} = \beta^2 \cdot H_{\text{Ф}} - S_{\text{Ф}} \cdot \left(\frac{Q^2}{N}\right), \quad (10.26)$$

де  $H_{\text{Ф}}$  – напір, створюваний насосом із нульовим поданням, м;

$S_{\text{Ф}}$  – гідравлічний опір насоса,  $\text{с}^2/\text{м}^5$ ;

$Q$  – подання насоса,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$N$  – кількість насосів, що подають воду в розглянутий час;

$\beta = \frac{n_{\text{Ф}}}{n_{\text{б}}}$  – коефіцієнт, що дорівнює відношенню фактичної кількості обертів робочого колеса насоса  $n_{\text{Ф}}$  до базової кількості обертів  $n_{\text{б}}$ .

Рівняння характеристики трубопроводу, що складається з декількох паралельних ниток, має такий вигляд:

$$H_{\text{ТР}} = H_{\text{СТ}} + S_{\text{ЗАГ}} \cdot Q^2, \quad (10.27)$$

де  $H_{\text{СТ}}$  – геометрична висота підйому води, м;

$S_{\text{ЗАГ}}$  – загальний коефіцієнт опору трубопроводу,  $\text{с}^2/\text{м}^5$ .

Якщо трубопровід складається з  $N_{\text{К}}$  паралельно розташованих ниток із коефіцієнтами  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_{\text{К}}$ , то загальний коефіцієнт опору буде

$$\frac{1}{\sqrt{S_{\text{ЗАГ}}}} = \frac{1}{\sqrt{S_1}} + \sqrt{\frac{1}{S_2}} + \dots + \sqrt{\frac{1}{S_{\text{К}}}}. \quad (10.28)$$

За однакового опору всіх ниток трубопроводу

$$S_{\text{ЗАГ}} = \frac{S}{N_{\text{К}}^2}. \quad (10.29)$$

За умовами спільної паралельної роботи відцентрових насосів та трубопроводу із декількох ниток матимемо

$$\beta^2 \cdot H_{\phi} - S_{\phi} \cdot \left(\frac{Q}{N}\right)^2 = H_{\text{ст}} + S_{\text{заг}} \cdot Q^2. \quad (10.30)$$

Із рівняння (10.30) можна визначити значення показників, які передбачається змінити в процесі реконструкції.

Так, пропускна здатність трубопроводу визначається за такою формулою:

$$Q = \sqrt{\frac{H_{\phi} \cdot \beta^2 - H_{\text{ст}}}{S_{\text{заг}} - \frac{S_{\phi}}{N^2}}}. \quad (10.31)$$

Якщо під час реконструкції передбачається зміна кількості обертів робочого колеса насоса, то це число

$$n_{\phi} = n_{\phi} \cdot \sqrt{\frac{\left(S_{\text{заг}} + \frac{S_{\phi}}{N^2}\right) \cdot Q^2 + H_{\text{ст}}}{H_{\phi}}}. \quad (10.32)$$

Під час прокладання додаткової нитки трубопроводу її діаметр можна визначити з огляду на необхідне значення коефіцієнта опору трубопроводу (з урахуванням додаткової нитки):

$$S_{\text{заг}} = \frac{H_{\phi} \cdot \beta^2 - S_{\phi} \cdot \left(\frac{Q}{N}\right)^2 - H_{\text{ст}}}{Q^2}. \quad (10.33)$$

Опір додаткової нитки

$$S_x = \left( \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{S_{\text{заг}}}} - \frac{1}{\sqrt{S_{\text{заг}}^*}}} \right), \quad (10.34)$$

де  $S_{\text{заг}}^*$  – загальний опір існуючого водоводу (до реконструкції).

Коефіцієнт питомого опору труб додаткової нитки,  $\text{с}^2/\text{м}^5$ , визначається за формулою

$$A = \frac{S_x}{l}, \quad (10.35)$$

де  $l$  – довжина додаткової нитки, м.

За значенням  $A$  і таблицями гідравлічного розрахунку водопровідних труб визначається необхідний діаметр додаткової нитки трубопроводу.

Зі збільшенням кількості паралельно працюючих однакових насосів їхню кількість можна визначити за такою формулою:

$$N_{\text{потр}} = \sqrt{\frac{Q^2 \cdot S_{\phi}}{H_{\phi} \cdot Q^2 \cdot S_{\text{заг}}^* - H_{\text{ст}}}}. \quad (10.36)$$

## Реконструкція насосних станцій систем водовідведення

Каналізаційні насосні станції є найважливішими спорудами напірно-соматичних систем водовідведення. Якщо якість функціонування цих систем оцінювати за витратами електроенергії на транспортування стічних вод, то стає очевидним, що саме режим роботи насосних станцій є в цьому сенсі визначальним.

Насосні станції водовідведення можуть перекачувати стічну воду на очисні споруди, з одного басейну каналізування в інший або з нижчого самопливного колектора у розташовані вище.

Каналізаційні насосні станції зазвичай поєднуються з прийомними резервуарами, місткість яких визначають залежно від припливу стічних вод, подачі насосів і режиму їх роботи. Водночас регулююча місткість приймального резервуара повинна становити не менше п'ятихвилинної максимальної подачі одного з насосів і забезпечувати кількість увімкнень насоса протягом години не більше ніж п'ять разів за автоматичної роботи і не частіше за три рази за ручного управління або у разі автоматичної роботи агрегату з потужністю двигуна більше за 50 кВт. Якщо під час реконструкції насосної станції перевірка покаже, що частота увімкнень більше, місткість приймального резервуара повинна бути збільшена шляхом будівництва додаткового, що сполучається з існуючим. Якщо такий варіант не може бути реалізований, то необхідно передбачити установку інших насосів, що допускають більш часті включення. Наприклад, під час використання насосів фірм «Willo», «Флюгт» тощо допускається до 10–15 увімкнень агрегату протягом години.

У разі відомої кількості увімкнень насосів за одну годину мінімальна місткість приймального резервуара  $W_{рез. min}$  може бути визначена за такою формулою:

$$W_{рез. min} = \frac{W_{год. min}}{n} \left( 1 - \frac{Q_{год. min}}{Q_{н.ст}} \right), \quad (10.37)$$

де  $W_{год. min}$  – обсяг стічних вод на годину мінімального припливу (чисельно збігається з  $Q_{год. min}$ ), м<sup>3</sup>;

$n$  – кількість увімкнень насосів за одну годину;

$Q_{год. min}$  – мінімальний годинний приплив стічних вод за добу, м<sup>3</sup>/год;

$Q_{н.ст}$  – подача насосної станції, м<sup>3</sup>/год.

Під час реконструкції насосних станцій систем водовідведення їхню продуктивність можна підвищити шляхом збільшення кількості обертів існуючих насосів, або збільшення кількості самих насосів (за наявності відповідних площ), або заміни на насоси інших марок.

Під час обирання насосів загальна продуктивність насосної станції повинна дорівнювати максимальному розрахунковому притоку стічних вод або трохи перевищувати його.

Необхідний напір насосів визначають за такою формулою (рис. 10.3):

$$H = H_{\text{ст}} + h_{\text{нс}} + h_{\text{вод}} + h_{\text{нв}} + h_{\text{вил}}, \quad (10.38)$$

де  $H$  – необхідний тиск насосів, м;

$H_{\text{ст}}$  – статичний напір насосів, м.

$$H_{\text{ст}} = Z + Z_{\text{рез}}, \quad (10.39)$$

де  $Z$  – відмітка максимального рівня в приймальній камері очисних споруд або в приймальному колодязі вище за лежачий колектор;

$Z_{\text{рез}}$  – відмітка середнього рівня стічних вод у приймальному резервуарі;

$h_{\text{нс}}$  – втрати напору у внутрішніх комунікаціях насосної станції м;

$h_{\text{вод}}$  – втрати напору у водомірах, м;

$h_{\text{нв}}$  – втрати напору у напірних водоводах, м;

$h_{\text{вил}}$  – втрати напору на вилив у приймальну камеру, що обираються рівними 0,5 м.

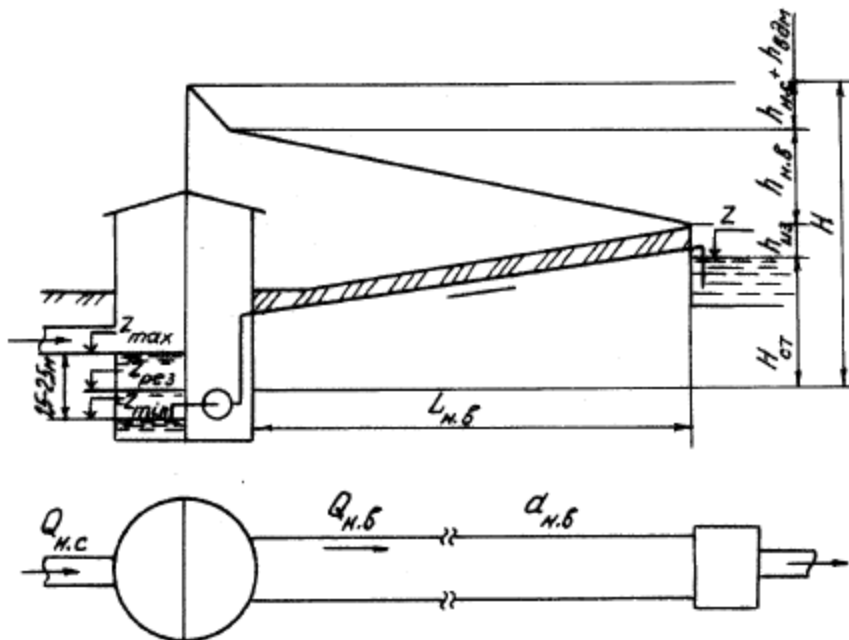


Рисунок 10.3 – Схема до визначення напору насосів станції водовідведення

Ефективним способом збільшення робочих параметрів (продуктивності і напору) існуючих насосних станцій систем водовідведення є використання заглибних насосів. Такі насоси останнім часом випускаються вітчизняною промисловістю і, крім того, постачаються різними зарубіжними фірмами.

У таблиці 10.1 наведені параметри насосних станцій фірми «Сарлін» (Фінляндія). Насосні станції виготовляються круглими в плані, діаметром 1–3 м, глибиною від 7 м до 10 м.

Таблиця 10.1 – Параметри насосних станцій фірми «Сарлін»

Діаметр, м	1,0	1,4	1,8	2,2	3,0
Продуктивність, л/с	4–18	6–30	15–50	30–70	30–240
Площа, м <sup>2</sup>	0,785	1,55	2,55	3,8	7,1

На рисунку 10.4 наведені сфери застосування заглиблених насосів фірми «Сарлін». Ці насоси не потребують встановлення решіток, для них передбачаються менші розміри резервуарів за високої допустимої частоти увімкнення (15 разів на годину), відрізняються простотою і швидкістю монтажу, можуть працювати повністю в автоматичному режимі без присутності обслуговуючого персоналу.

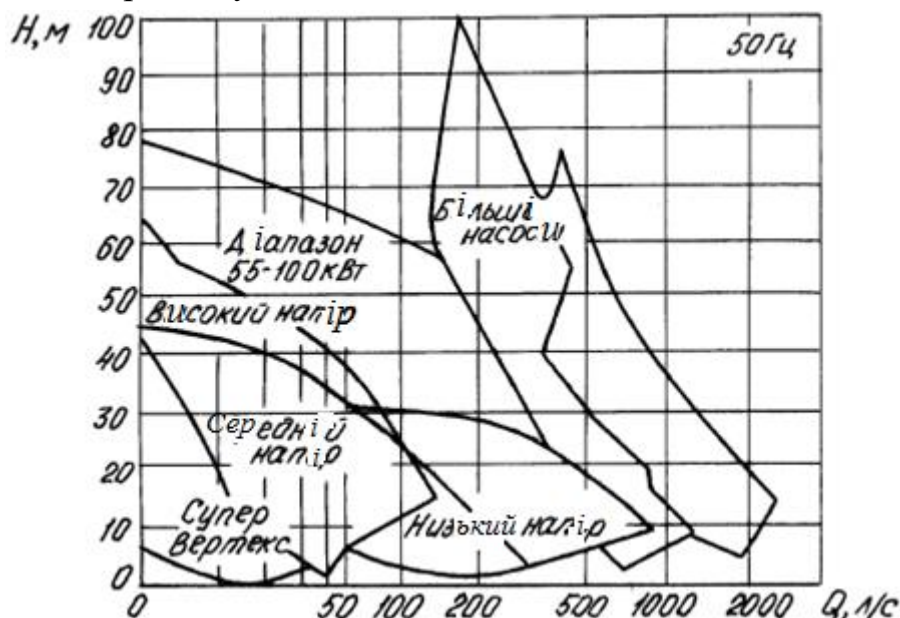


Рисунок 10.4 – Сфера застосування насосів фірми «Сарлін» (Фінляндія)

Є досвід з встановлення глибоких насосів фірми «Сарлін» при реконструкції насосних станцій системи водовідведення [4]. Реконструкція полягала в розміщенні на існуючих каналізаційних насосних станціях (КНС) комплектних насосних станцій. На рисунку 10.5 показана насосна станція системи водовідведення після реконструкції. У будівельній частині існуючої КНС розміщена комплектна насосна станція діаметром 2,2 м із трьома зануреними насосами S1174N1 (два робочі і один резервний). Під час проведення реконструкції була встановлена нова механічна решітка зі збільшеними проміжками 60 мм, що дозволило істотно зменшити навантаження на решітку і відповідно обсяг робіт з її обслуговування.

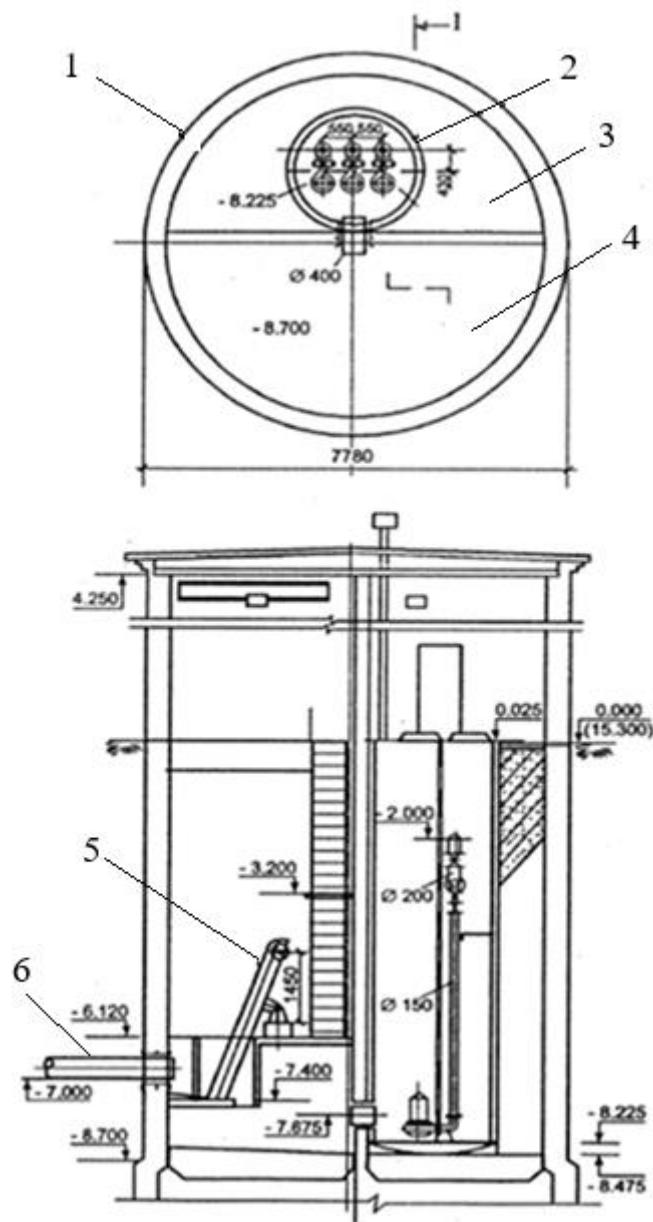


Рисунок 10.5 – Схема насосної станції «Сарлін» із мокрою установкою насосів: 1 – існуюча будівля КНС; 2 – комплектна насосна станція «Сарлін»; 3 – машина зала; 4 – приймальний резервуар; 5 – механічна решітка; 6 – колектор, що подає

У разі подібної реконструкції насосної станції системи водовідведення можуть бути повністю демонтовані механічні решітки в приймальному відділенні. Тоді встановлюються в комплектній насосній станції «Сарлін» заглибні вихрові насоси «Сарлін SV074B1» із пропускними перетинами 80 мм, що дозволить надійно перекачувати стічну воду на КНС без механічного очищення.

Під час реконструкції обох насосних станцій систем водовідведення їхня продуктивність підвищилася у 2–3 рази, а необхідна місткість приймального резервуара зменшилася у 3–4 рази порівняно з діючими спорудами.

Необхідно зазначити, що комплектні насосні станції «Сарлін» можуть бути використані під час реконструкції і будівництва систем водовідведення продуктивністю 1 000 м<sup>3</sup>/год і вище.

Величезний досвід із впровадження заглибних насосів під час реконструкції насосних станцій має шведська фірма «Флюгт». Фірма «Флюгт» розробила стандартну конструкцію, в якій насос і колодязь є частинами загальної системи. Використання обладнання та нових технологій фірми «Флюгт» як у невеликих, так і у великих проєктах реконструкції насосних станцій систем водовідведення дозволяє скоротити витрати більш ніж на 50 %.

У таблиці 10.2 наведені характеристики насосних станцій систем водовідведення, обладнаних зануреними насосами марки СР фірми «Флюгт».

Фірма «Флюгт» пропонує конструкції насосних станцій як з мокрою (рис. 10.6) [4], так і з сухою (рис. 10.7) [11] установкою насосів.

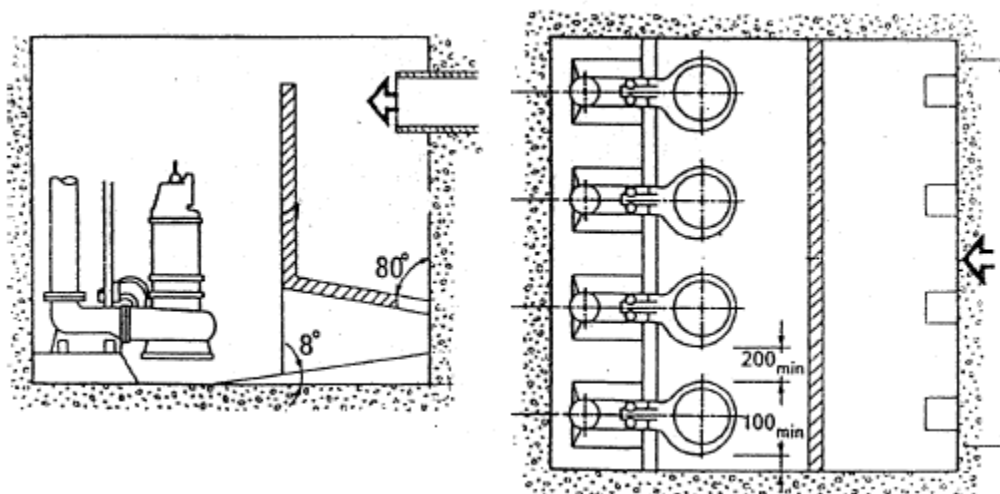


Рисунок 10.6 – Схема насосної станції «Флюгт» з мокрим встановленням насосів

Насоси «Флюгт» відрізняються компактністю, а отже, займають меншу площу або мають значно більшу продуктивність. Особливо це важливо під час реконструкції існуючих насосних станцій систем водовідведення. Так, довжина насосного агрегату СД 450/22,5 і габарити насоса СТ3602 фірми «Флюгт» у разі сухої його установки в плані однакові і складають 1 850 мм. Подача відповідно 450 м<sup>3</sup>/год і 7 000 м<sup>3</sup>/год. Для насосів «Флюгт» потрібна значно менша місткість приймального резервуара, оскільки переважна більшість їх допускає 15 і більше увімкнень на годину. Роки експлуатації трубопровідних насосних станцій систем водовідведення у Харкові, а також низки інших міст підтверджують ці переваги.

Таблиця 10.2 – Робочі насосні станції системи водовідведення фірми «Флюгт»

Марка насоса	Продуктивність $Q$ , м <sup>3</sup> /год	Напір $H$ , м	Потужність $N$ , кВт	Діаметр напірного патрубка $D$ , мм
Насосна станція $D = 1\ 500$ мм				
CP 3067 HT	7,2–28,8	15–8	1,6	65
CP 3085 MT	18,0–43,2	10–8	2,7	80–100
CP 3085 HT	14,4–32,4	17–8	3,2	80
Насосна станція $D = 2\ 000$ мм				
CP 3102 LT	28,8–61,2	9–8	3,8	100–150
CP 3102 MT	36,0–104,4	12–8	3,8	80–100
CP 3102 HT	25,2–97,2	22–8	5,6	80
CP 3127 MT	36,0–172,8	16–8	7,1	100–150
CP 3127 HT	36,0–144,0	22–8	7,1	100
CP 3127 SN	21,6–79,2	40–8	8,9	80
Насосна станція $D = 2\ 500$ мм				
CP 3127 LT	72,0–154,8	11–8	5,7–7,1	200
CP 3140 LT	72,0–144,0	8,5–8	10,7	250
CP 3140 MT	90,0–234,0	16–8	11,2	150
CP 3152 LT	72,0–108,0	8,5–8	10,2	250
CP 3152 MT	72,0–331,2	22–8	11,2–15,8	150–200
CP 3152 HT	36,0–201,6	30–10	11,2–15,8	100–150
CP 3152 ST	18,0–72,0	55–20	17,2	150
Насосна станція $D = 3\ 000$ мм				
CP 3152 LT	72,0–108,0	8,5–8	10,7	250
CP 3170 LT	144,0–540,0	13–8	17,9	250–300
CP 3170 MT	72,0–324,0	30–10	26,0	150–200
CP 3170 HT	36,0–270,0	45–10	26,0	100–150
CP 3201 MT	144,0–648,0	20–8	26,0	250
CP 3201 HT	72,0–360,0	45–10	35	150–200
CP 3201 ST	43,2–144,0	65–30	34	100

Тому застосування заглибних насосів під час реконструкції насосних станцій систем водовідведення є найбільш ефективним рішенням.

Реконструкція насосних станцій перекачування стічних вод здійснюється за окремим проектом і полягає в заміні обладнання і відновленні будівельних конструкцій. Для підвищення продуктивності станції в машинному залі, якщо дозволяє обсяг приміщення і місткість приймального резервуара, можлива установка нового, більш потужного насосного обладнання [1].



Рисунок 10.7 – Насоси фірми «Флюгт» сухої установки

Під час реконструкції насосної станції, збудованої за методом опускного колодязя та із нормальним станом його стін, можливо використати весь обсяг колодязя у якості приймального резервуара, в якому потрібно розташувати занурені насоси необхідної потужності (рис. 10.8). Водночас демонтується переділка між резервуаром і машинним залом.

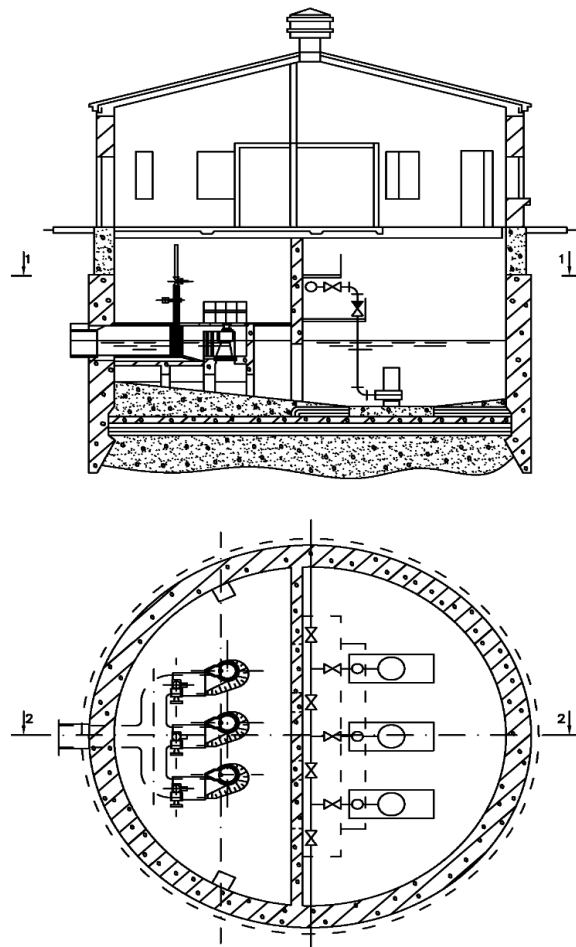


Рисунок 10.8 – Каналізаційна насосна станція із використанням у якості приймального резервуара всього обсягу колодязя і влаштуванням занурених насосів

### **Контрольні питання**

1. Яку інформацію о діючих спорудах потрібно знати для реконструкції систем водопостачання і водовідведення?
2. Навіщо потрібні данні досліджень про системи водопостачання або водовідведення?
3. Навіщо робиться випробування насосного обладнання?
4. Що потрібно виміряти для визначення енергетичних характеристик?
5. Для чого потрібне правильне визначення фактичних гідравлічних характеристик трубопроводів?
6. Назвіть декілька можливих рішень реконструкції насосної станції.
7. Як реконструювати насосну станцію перекачування (збільшити подачу)?

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Реконструкція та інтенсифікація споруд водопостачання та водовідведення : навч. посіб. / О. А. Василенко, П. О. Грабовський, Г. М. Ларкіна [та ін]. – Київ : КНУБА ; Одеса : ОДАБА, 2007. – 299 с.
2. Реконструкція систем водопостачання : конспект лекцій для студентів спеціальності 7.092601 всіх форм навчання / уклад. М. О. Українець. – Запоріжжя : ЗДІА, 2003. – 81 с.
3. Хоружий П. Д. Ресурсозберігаючі технології водопостачання / П. Д. Хоружий, Т. П. Хомутецька, В. П. Хоружий. – Київ : Аграрна наука, 2008. – 534 с.
4. Благодарна Г. І. Реконструкція і інтенсифікація роботи очисних споруд водопровідно-каналізаційних систем [Електрон. ресурс] : конспект лекцій для студентів 5-го курсу 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. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 149 с. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/52425/>, вільний (дата звернення: 07.09.2025). – Назва з екрана.
5. ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 287 с. – Режим доступу: [https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2018/11/ZM\\_DBN\\_V2574.pdf](https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2018/11/ZM_DBN_V2574.pdf), вільний (дата звернення: 07.09.2025). – Назва з екрана.
6. 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.
7. Обладнання для очищення стічної води. Один виробник для різних стадій [Електрон. ресурс] / Група Esmil : сайт. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: [https://ua.esmil.eu/product\\_cat/sewage-screens-and-fine-screens/](https://ua.esmil.eu/product_cat/sewage-screens-and-fine-screens/), вільний (дата звернення: 07.09.2025). – Назва з екрана.
8. Порівняльний аналіз експлуатаційних витрат на зневоднення осадів малих і середніх (до 100 000 м<sup>3</sup>/доба) очисних споруд [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу : <https://ua.esmil.eu/sravnitelnyj-analiz-ekspluatacionnyh-zatrat-na-obezvozhivanie-osadkov-malyh-i-srednih-do-100-000-m3-sutki-ochistnyh-sooruzhenij-ekoton/>, вільний (дата звернення: 07.09.2025). – Назва з екрана.

8. Sewage sludge management in Europe: a critical analysis of data quality / A.Bianchin, M. Pellegrini, L. Bonfiglioli, C. Saccani. // international Journal of Environment and Waste Management. – № 18. – С. 226.

9. ДБН В.2.5-75:2013 [Електрон. ресурс]. Каналізація зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Електрон. текст. дані. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 223 с. – Режим доступу: [https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2018/11/ZM\\_DBN\\_V2575.pdf](https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2018/11/ZM_DBN_V2575.pdf), вільний (дата звернення: 07.09.2025). – Назва з екрана.

10. ДБН В.2.4-3:2010. Гідротехнічні, енергетичні та меліоративні системи і споруди, підземні гірничі виробки. Гідротехнічні споруди. Основні положення. [Електрон. ресурс]– Київ : Мінрегіон України, 2010. – 39 с. – Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/12/86.1.-DBN-V.2.4-32010.-Gidrotehniczni-energetichni-ta-me.pdf>, вільний (дата звернення: 07.09.2025). – Назва з екрана.

11. Насоси серії Flygt N. Самоочисні насоси зі стабільно високим ККД [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://www.flygt.kiev.ua/pdf/wastewater-pump-n.pdf> вільний (дата звернення: 07.09.2025). – Назва з екрана.

*Електронне навчальне видання*

**БЛАГОДАРНА** Галина Іванівна

## **РЕКОНСТРУКЦІЯ ОБ'ЄКТІВ ВОДНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

### **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

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

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

Редактор *Б. О. Хільська*

Комп'ютерне верстання *Г. І. Благодарна*

План 2022, поз. 25Л

---

Підп. до друку 19.09.2025. Формат 60×84/16

Ум. друк. арк. 9,7.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,

вул. Чорноглазівська, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 8386 від 14.07.2025