МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Г. І. Благодарна

МОДЕРНІЗАЦІЯ І РЕКОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна інженерія»)

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025

УДК 628.16

Благодарна Г. І. Модернізація і реконструкція систем водопостачання та водовідведення : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна інженерія» / Г. І. Благодарна ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 192 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 ім. О. М. Бекетова);

Т. О. Шевченко, 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 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна інженерія» за напрямом підготовки «Водопостачання та водовідведення» з метою допомогти під час підготовки до занять та підсумкового контролю.

© Г. І. Благодарна, 2025
© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025

ЗМІСТ

Вступ…….. 4
Змістовий модуль 1 Модернізація і реконструкція водопровідних систем… 6
Тема 1 Роль та етапи модернізації і реконструкції у забезпеченні функціонування систем водопостачання……... 6
Контрольні питання…….. 8
Тема 2 Модернізація і реконструкція водозабірних споруд та водопровідних насосних станцій…… 9
Контрольні питання……. 33
Тема 3 Модернізація і реконструкція водопровідних мереж……... 34
Контрольні питання……. 42
Тема 4 Модернізація і реконструкція водопровідних очисних станцій…. 43
Контрольні питання……. 93
Змістовий модуль 2 Модернізація і реконструкція каналізаційних систем…… 96
Тема 5 Модернізація і реконструкція водовідвідних мереж……. 96
Контрольні питання……. 110
Тема 6 Модернізація і реконструкція насосних станцій систем водовідведення……. 111
Контрольні питання……. 118
Тема 7 Модернізація і реконструкція очисних споруд водовідведення…. 118
Контрольні питання…….. 149
Змістовий модуль 3 Модернізація і реконструкція систем і споруд водопостачання і водовідведення промислових підприємств……. 152
Тема 8 Модернізація і реконструкція споруд механічного очищення промислових стічних вод…… 152
Контрольні питання……. 169
Тема 9 Модернізація і реконструкція споруд біологічного очищення промислових стічних вод……. 170
Контрольні питання……. 180
Тема 10 Модернізація і реконструкція споруд з використанням фізико-хімічних методів та методів флотації і фільтрації…… 180
Контрольні питання……. 188
Список використаних джерел……. 189

ВСТУП

Належне функціонування та безперебійна робота систем і споруд водопостачання та водовідведення є основою для ефективної виробничої діяльності, захисту навколишнього середовища та приємних умов проживання. Це неможливо зробити без постійного моніторингу та належної експлуатації установок і систем, часткової або повної заміни окремих елементів у зв'язку зі спрацюванням, зміною умов навколишнього середовища внаслідок впливу антропогенних факторів, збільшенням водоспоживання, впровадженням нових стандартів якості водопостачання та очищення стічних вод, оновленням систем з метою підвищення надійності, екологічної ефективності та безпеки експлуатації [1].

Системи водопостачання та водовідведення характеризуються дефіцитом води та недостатньою потужністю очисних споруд у зв'язку зі зростанням населення, розвитком промисловості та розбудовою інфраструктури в житлових районах.

Тому необхідність забезпечення якості вимагає значного розвитку та реконструкції, та існує постійна потреба в різних витратних заходах для водопроводів, пов'язаних з реконструкцією мереж та споруд.

Необхідність економії води та зниження певних норм водоспоживання, які в нашій країні є вищими, ніж в інших країнах, вимагає таких заходів, як управління та облік води, реконструкція системи водопостачання промислових та цивільних будівель, встановлення сучасних кранів, оптимізація системи водопостачання та розподілу води та регулювання тиску у водопровідній мережі.

Об'єкти водопостачання та водовідведення в містах і селищах часто перебувають в аварійному стані через брак коштів на ремонт. Особливо це стосується водопровідних та каналізаційних мереж.

Труби в українських системах водопостачання здебільшого виготовлені з металу (сталь, чавун). Вони зазнають корозії та забруднюють воду продуктами корозії. Кількість випадків пошкоджень продовжує зростати, оскільки мережа не підтримується в задовільному стані. У такій же ситуації перебуває і мережа водовідведення.

Проблема полягає в тому, що поверхневі стоки скидаються у водні об'єкти без очищення, що за рівнем забруднення є аналогічним побутовим стічним водам і потребує реконструкції існуючих дренажних систем, насосних станцій та очисних споруд.

Сучасні умови вимагають не тільки якісного біологічного очищення стічних вод, але й повного видалення біогенних елементів, що неможливо на існуючих спорудах і потребує відповідної реконструкції та впровадження нових технологічних схем очищення.

Системи і споруди промислового водопостачання та очищення стічних вод часто доводиться реконструювати у зв'язку зі змінами в технології експлуатації та виробництва, ефективності, надійності та з інших причин.

Цей конспект лекцій призначений для здобувачів, зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія освітня програма «Цивільна інженерія» за напрямом водопостачання та водовідведення і систематично узагальнює деякі з основних методів ремонту та реконструкції мереж і споруд водопостачання та водовідведення. Коротко обговорюються проблеми та роль модернізації і реконструкції у забезпеченні належного функціонування систем водопостачання та водовідведення. Подано принципи реконструкції насосних станцій, мереж водопостачання та водовідведення, водоочисних станцій, очисних споруд, систем та деяких промислових водопровідних та каналізаційних споруд.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1
МОДЕРНІЗАЦІЯ І РЕКОНСТРУКЦІЯ ВОДОПРОВІДНИХ СИСТЕМ

Тема 1 Роль та етапи модернізації і реконструкції у забезпеченні функціонування систем водопостачання

Для нормального функціонування водопровідно-каналізаційного господарства (ВКГ) періодично виникає необхідність реконструкції існуючих споруд або їх елементів. Насамперед тому, що стан і ефективність роботи об'єкта ВКГ не завжди задовольняють вимогам, що висуваються до них, наприклад [1]:

1) за витратами та якістю очищення води тощо;
2) за умовами експлуатації;
3) за умовами надійності і санітарно-екологічних вимог;
4) робота об'єкта неекономічна.

Це може бути пов'язано зі зміною нормативних вимог, помилками у визначенні параметрів проєктування та попередньо оцінені строки функціонування об'єкта, із значним спрацюванням споруд та їх руйнуванням тощо, що обумовлює необхідність реконструкції. Необхідність її може бути пов'язана також зі зміною робочої програми підприємства, розвитком житлової забудови, реконструкцією населеного пункту і підвищенням ступеня його благоустрою, зміною рівня життя населення, впровадженням сучасних, більш прогресивних технологій (озонування, мембранних технологій очищення води тощо).

Період роботи споруд без реконструкції повинен визначатися під час проєктування і бути пов'язаний з розрахунковими термінами проєктування.

Цілі і завдання реконструкції випливають з обстеження споруд та аналізу роботи діючих споруд, їхньої спрацьованості (рис. 1.1).

Деякі завдання реконструкції мають самостійне значення, і рішення їх може сприяти поліпшенню ситуації за іншими напрямами. Наприклад: підвищення якості очищення питної води призводить до поліпшення здоров'я людей, технічної – до підвищення ефективності виробництва; зниження водоспоживання економить природні ресурси; підвищення якості очищення стічної води вирішує проблему захисту навколишнього природного середовища.

Проблемою всіх старих міст світу є спрацьовані водопровідно-каналізаційні мережі, які потребують ремонту, значні витоки, що досягають

30 % води, що подається, ексфільтрація і інфільтрація, що призводять до економічних втрат і забруднення навколишнього середовища.

Рисунок 1.1 – Найбільш типові цілі і завдання, які вирішуються під час реконструкції

Зміна діючих технічних умов також призводить до необхідності реконструкції споруд ВКГ. Так, впровадження ДСанПіН [2] вимагає значних змін у роботі підприємств ВКГ, тобто в окремих випадках спричинить їх часткову реконструкцію або зміни технології очищення, що теж потребують реконструкції окремих елементів або технологічних схем роботи.

Об'єктами реконструкції найчастіше є водопровідні та каналізаційні мережі, очисні споруди (ОС), насосні станції (НС), водозабірні споруди (ВЗС), реагентне господарство та інші об'єкти.

В останні роки масштаби нового будівництва значно зменшилися, і основним напрямком на найближчу перспективу стає модернізація і реконструкція існуючих споруд ВКГ. У зв'язку з цим місце і роль модернізації і реконструкції існуючих систем і споруд в забезпеченні нормального функціонування об'єктів ВКГ неможливо переоцінити. Зазвичай реконструкція здійснюється в кілька етапів.

Етапи реконструкції:

1. Підготовчий етап – обстеження споруд та виявлення потреби реконструкції (встановлюються й аналізуються параметри технічного стану об'єкта, ступінь спрацьованості, технічна ефективність, екологічна небезпека, економічний збиток від роботи споруди без реконструкції).

2. Ухвалюється доказове рішення про необхідність реконструкції і складається відповідна пояснювальна записка, рапорт тощо. Дається попередня економічна оцінка вартості та переваг реконструкції, потреба матеріалів, обладнання тощо. Іноді проводяться спеціальні дослідження на моделях або в натурі, використовуються дані досліджень.

3. Розробка проєкту реконструкції. Пропонуються можливі варіанти технічних рішень, що проробляються на стадії технічного проєкту, що дозволяють визначити техніко-економічні параметри і потребу матеріалів і устаткування.

4. Дається техніко-економічна і санітарно-технічна оцінка запропонованих варіантів і ухвалюється остаточне рішення про спосіб реконструкції.

5. Вирішуються питання 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, які реконструюються без шкоди для навколишнього природнього середовища.

Перспективою модернізації відстійного блока водопровідної станції, у зв'язку зі збільшенням водоспоживання, жорсткістю вимог до якості очищення води через впровадження ДСанПіН [2] і необхідність підвищення економічної ефективності роботи очисних споруд, може стати реконструкція цих відстійників з використанням принципів тонкошарового осадження дрібнодисперсної коагульованої суспензії невської води, налаштування систем поверхневого відбору тощо.

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

Контрольні питання

1. Перелічіть, які вимоги висуваються до роботи об'єктів водопровідно-каналізаційного господарства.

2. Назвіть цілі і задачі реконструкції об'єктів водопровідно-каналізаційного господарства.

3. Наведіть етапи реконструкції об'єкта водопровідно-каналізаційного господарства.

4. Вкажіть, що є перспективою модернізації відстійного блока водопровідної станції.

Тема 2 Модернізація і реконструкція водозабірних споруд та водопровідних насосних станцій

Модернізація і 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'явились частинки водоносної породи.
3. Погіршилась якість води.
4. Необхідно скоротити споживання енергії.

Інтенсифікації передує 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 обсипки, висоту, спосіб засипки, конструкцію сальника та пробки;

– уточнюють статичний рівень (СР) води, дебіт, пониження, питомий дебіт[1] 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

[1] Питомий дебіт – відношення продуктивності свердловини до пониження, розмірність – $м^3$/год·м.

контролю та управління, арматуру, обв'язку свердловини. Оглядають устя свердловини, перевіряють цементацію міжтрубного простору, встановлюють, як 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 патрубка.

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 усталеним, якщо протягом 6-ти годин він практично не змінюється. Дебіт можна виміряти водоміром, ультразвуковим накладним витратоміром або іншими витратомірами.

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]:

$$H = H_H + Z_H - Z_Д + h + \frac{V^2}{2g}, \qquad (2.1)$$

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

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

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

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

Втрати напору наближено визначаються за такою формулою:

$$H = (1{,}2 - 1{,}3) \cdot 1\,000 \cdot i \cdot L, \qquad (2.2)$$

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

L – довжина водопідйомної труби від насосу 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 заробленні 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 2.1 [1].

Таблиця 2.1 – 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 ΔН1	Постійне пониження на ΔН1	Без змін	Збільшення на ΔН районної депресії
Періодичне пониження на ΔН2	Періодичне пониження на ΔН2	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, дренування 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 незатампонованому або погано затампонованому 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 заливані труби.

Аналіз отриманих даних дозволяє встановити причину зменшення продуктивності свердловини та намітити заходи щодо її відновлення (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – 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’єзометричного рівня по району (районна депресія), свердловина справна	Збільшити глибину занурення насосу 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 2.2

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-попереджуваль-ного 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 змінення 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 шнура, 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 шнура 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. 2.1) [1].

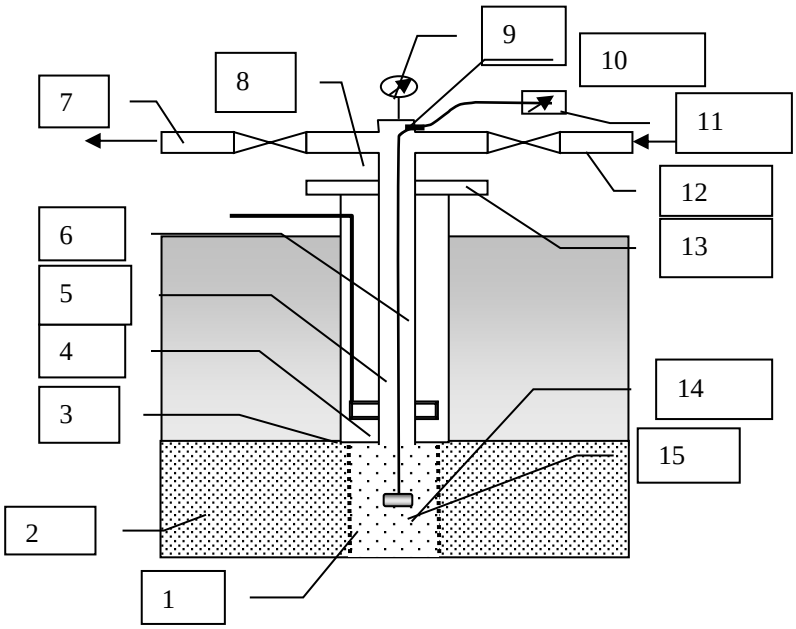


Рисунок 2.1 – Схема реагентної обробки свердловини:
1 – фільтр; 2 – водоносна порода; 3 – обсадна колона; 4 – пневматичний пакер; 5 – труба подання повітря; 6 – двожильний кабель; 7 – трубопровід для випуску продуктів реакції; 8 – оголовок; 9 – манометр; 10 – сальник; 11 – омметр; 12 – трубопровід для 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 стискання 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;

– проєктування 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 променевих 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 променевих водозаборів у процесі їхньої експлуатації порівняно з початковим.

Основними причинами зменшення дебіту променевих 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 променевих водозаборів. Так, досвід експлуатації підруслового водозабору променевого типу системи водопостачання Варшави, спорудженого під руслом ріки Вісла, показав, що за 10 років продуктивність водозабору зменшилась із 150 тис. $м^3$/добу до 100 тис. $м^3$/добу переважно за рахунок кольматації русловими відкладеннями. Інші променеві водозабори, побудовані в Німеччині, також показали значне зменшення дебіту в процесі експлуатації. Результати спостережень за інфільтраційними променевими 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 нанесень будівництво інфільтраційних променевих 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 променевого водозабору підвищується і компенсує зменшення частки води, що надходить із ріки.

Занесення піском фільтрових труб у меншому ступені впливає на продуктивність променевих 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 засувок, засмічує водовідвідні труби, зменшуючи їхню пропускну здатність, а також

заклинює 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;

– за дуже інтенсивного відкачування 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 променевих 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 нанесення. Потім суміш надходить до гідроциклону, де відбувається відокремлення осаду від рідини, після чого вода знову надходить до гідроелеватора, а осад – до гідроциклону-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 втискуються 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 сміттєзатримувальних решіток, сіток, поруватих касет;

– відкладання донних нанесень 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 нанесень та шуги в створі водозабору.

Після цього проводять обстеження водозабору, що містить:

– огляд (за необхідності водолазом) водоприймальних отворів оголовку, вимірювання навколо нього глибини;

– апробацію 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 всмоктувальному відділенні за одночасного вимірювання подачі насосів.

Після цього будують спільну характеристику насосів та водоводів, виконують перевірний 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 нанесень. 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 нанесень.

Зі збільшенням шару донних осадів та за достатньої глибини ріки можливе встановлення металевого коробу для збільшення порогу водоприймальних отворів [1].

У цьому випадку відбір води з ріки здійснюється вище за розташування донних нанесень. 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 всмоктувальним 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: 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.

Натурні дослідження напірно-витратних і енергетичних характеристик діючих насосних станцій

Для реконструкції систем водопостачання необхідна інформація про діючі споруди, оскільки в процесі експлуатації їхні характеристики змінюються. Найбільшою мірою це стосується насосних станцій, водоводів, мереж водопостачання, 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 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 відчувають 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 = const) обирають напірну (H – Q) і енергетичні (N – Q і $\eta_н$ – Q) характеристики. Подачу насоса Q вимірюють за допомогою встановлених на напірних лініях витратомірів. Напір, створюваний насосом, обчислюють за такою формулою, м:

$$H_{оп} = \frac{P_{ман} - P_{вак}}{\rho \cdot g} + \frac{V_{вих}^2 - V_{вх}^2}{2g} + Z, \qquad (2.3)$$

де $P_{ман}$ і $P_{вак}$ – тиск за показниками приладів відповідно на всмоктувальному і напірному патрубках насосів, кгс/см^2;

ρ – щільність рідини, що перекачується насосом, кг/м^3;

g – прискорення вільного падіння, мс^2;

$V_{вих}^2, V_{вх}^2$ – 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 $N_{оп}$, споживану на валу насоса, обчислюють за такою формулою, кВт:

$$N_{оп} = \eta_{дв} \cdot N_{ел.дв.}, \qquad (2.4)$$

де $\eta_{дв}$ – коефіцієнт корисної дії електродвигуна, обирається за графіком залежно від його завантаження;

$N_{эл.дв}$ – 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:

$$Q = Q_{оп} \cdot \left(\frac{n}{n_{оп}}\right); \qquad H = H_{оп} \cdot \left(\frac{n}{n_{оп}}\right)^2; \qquad N = N_{оп} \cdot \left(\frac{n}{n_{оп}}\right)^3, \qquad (2.5)$$

де $Q_{оп}$, $H_{оп}$, $N_{оп}$ і $n_{оп}$ – подача, л/с, напір, м, споживана на валу насоса потужність, кВт, частота обертання робочого колеса насоса, хв$^{-1}$, отримані під час випробування насоса за показниками приладів;

Q, H, N і n – подача, л/с, напір, м, споживана на валу насоса потужність, кВт, частота обертання робочого колеса насоса, хв$^{-1}$, перелічені на стандартну частоту обертання.

Коефіцієнт корисної дії насоса для $n = const$ визначається за формулою

$$\eta_H = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{102 \cdot N}. \tag{2.6}$$

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:

$$A_{\text{ф}} = \frac{\left(\sqrt{i_1} - \sqrt{i_2}\right)^2}{q^2}, \tag{2.7}$$

де i_1 і i_2 – гідравлічні ухили на ділянках трубопроводу довжиною l_1 і l_2, що визначаються за такими співвідношеннями:

$$i_1 = \frac{h_1}{l_1}; \quad i_2 = \frac{h_2}{l_2}; \tag{2.8}$$

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 вимикаються. Витрата q повинна становити не менше 1–15 % транзитної витрати Q, що визначається за такою формулою:

$$Q = \sqrt{\frac{i_1}{A_{\text{ф}}}}. \tag{2.9}$$

Втрати напору на ділянках обчислюються за такими формулами, м:

$$h_1 = 10 \cdot (P_{\text{ман } 1} - P_{\text{ман } 2}) + \Delta h_1; \tag{2.10}$$

$$h_2 = 10 \cdot (P_{\text{ман } 2} - P_{\text{ман } 3}) + \Delta h_2, \quad (2.11)$$

де $P_{\text{ман } 1}$, $P_{\text{ман } 2}$, $P_{\text{ман } 3}$ – показники манометрів, кгс/см^2;

Δh_1, Δh_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 $Q_{доб}^{розр}$ і годинна $Q_{год}$ продуктивності насосів визначаються за такими формулами:

$$Q_{доб}^{розр} = \alpha \cdot Q_{доб}; \qquad Q_{год} = \frac{Q_{доб}^{розр}}{24}, \tag{2.12}$$

де α – коефіцієнт, що враховує витрату на власні потреби насосної станції та очисних споруд, $\alpha = 1{,}1$;

$Q_{доб}$ – добова витрата води споживачами, м^3/добу.

Додатково уточнюється необхідність в установці пожежних насосів із такої умови:

$$\frac{3 \cdot Q_{пож} + \sum Q_{max} - 3 \cdot Q_{год}}{T} \geq 0{,}07 \cdot \alpha \cdot Q_{доб}, \tag{2.13}$$

де $Q_{пож}$ – розрахункова часова витрата на пожежогасіння, м^3/год;

$\sum Q_{max}$ – сумарна 3-годинна витрата найбільшого водоспоживання, м^3/год;

$Q_{год}$ – годинне подання насосної станції I підйому, м^3/год;

T – тривалість поповнення пожежного запасу води у резервуарі чистої води (РЧВ), ч.

Необхідний напір насосів визначається за такою формулою:

$$H = H_г + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + h_в + h_{н.ст}, \tag{2.14}$$

де $H_г$ – 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;

$h_н$ – втрати напору в напірних лініях, м;

$h_{н.ст}$ – 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:

$$H_{ГВ}^{доп} = H_{вак}^{доп} - h_{вс} - \frac{V_{вс.патр}^2}{2g} - H_{зап}, \tag{2.15}$$

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 вакууметричної 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:

$$H_{ГВ}^{доп} = \frac{P_{атм} - P_{пар}}{\rho \cdot g} - \Delta h_{доп} - h_{вс}, \qquad (2.16)$$

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;

$$\Delta h_{доп} = \varphi \cdot \Delta h_{мін}, \qquad \varphi = 1{,}1 \ldots 1{,}5.$$

У разі заміни насосів підбирають нові електродвигуни з урахуванням необхідного запасу потужності, кВт, і визначають за такою формулою:

$$N_{дв} = K_{з} \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{102 \cdot \eta_{н} \cdot \eta_{п}}, \qquad (2.17)$$

де $К_{з}$ – 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^3/с;

H – напір насоса, м;

$\eta_{н}$ – 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:

$$P_{роб} = \frac{K_{п} \cdot \sum N_{дв}}{\cos\varphi} + P_{доп} + P_{осв}, \qquad (2.18)$$

де $K_{п}$ – коефіцієнт попиту, обирається залежно від одночасного завантаження за потужністю в межах 0,6–0,95 %;

$\sum N_{дв}$ – сума номінальних потужностей електродвигунів (без урахування резервних), кВт;

$\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності електродвигуна;

$P_{доп}$ – кількість електроенергії, споживаної допоміжним обладнанням, кВт;

$P_{осв}$ – 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^3/год, і визначається за такою формулою:

$$Q_{н.ст} = Q_{год.max}. \quad (2.19)$$

За наявності регулюючої ємності частина витрат на годину максимального водоспоживання може надходити в мережу з башти, що дозволяє зменшити розрахункову максимальну подачу насосної станції:

$$Q_{н.ст} = Q_{год.max} - Q_{Б}, \quad (2.20)$$

де $Q_{Б}$ – витрата води, що надходить у мережу з водонапірної башти на годину максимального водоспоживання, м^3/год.

Додатково уточняються потреба в установці пожежних насосів із такої умови:

$$Q_{н.ст}^{розр} = Q_{н.ст} + Q_{пож}^{зов} + Q_{пож}^{внутр}, \quad (2.21)$$

де $Q_{пож}^{зов}$ і $Q_{пож}^{внутр}$ – годинні розрахункові витрати на зовнішнє і внутрішнє пожежогасіння, м^3/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. 2.2) і в системі з контррезервуаром (рис. 2.3).

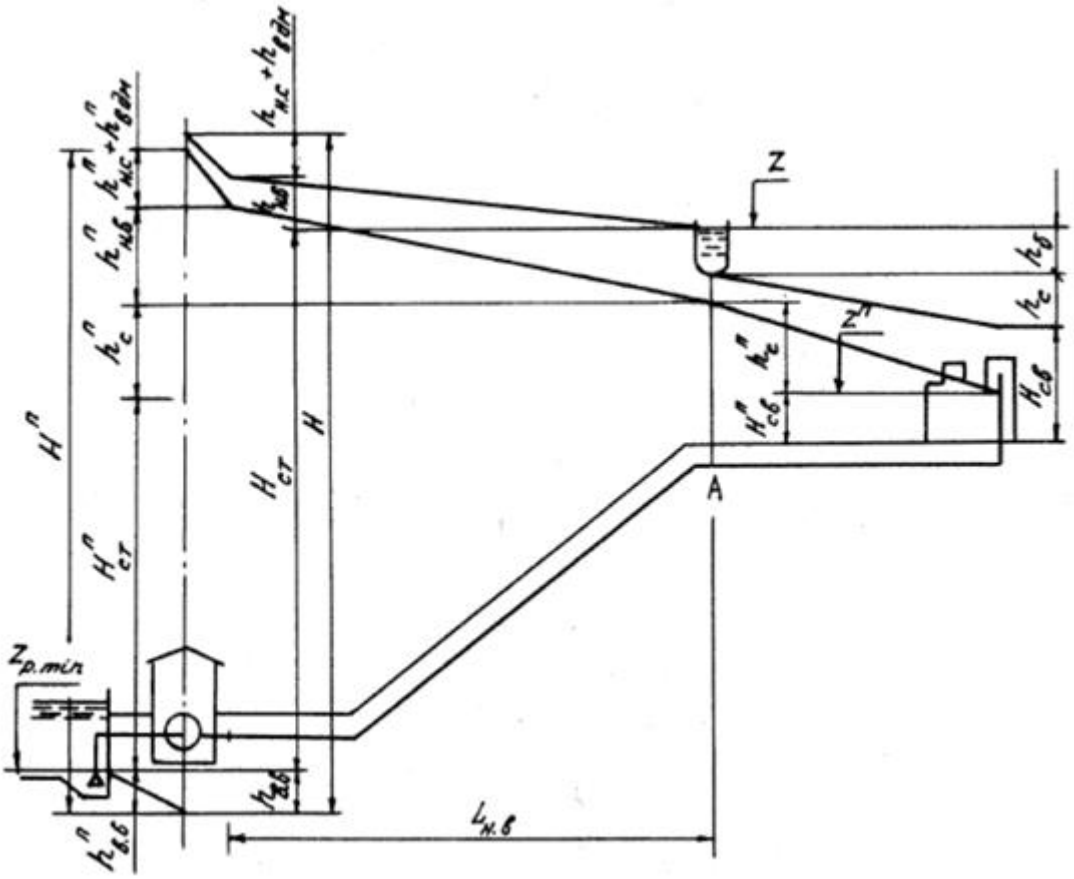


Рисунок 2.2 – Схема до визначення напору насосів II підйому в системі з водонапірною баштою на початку мережі

У системі з баштою на початку мережі (рис. 2.2) тиск насосів для години максимального водоспоживання буде визначатися за такою формулою, м:

$$H = H_{\text{ст}} + h_{\text{вв}} + h_{\text{нс}} + h_{\text{вод}} + h_{\text{нв}}, \qquad (2.22)$$

а на випадок пожежогасіння на годину максимального водоспоживання – за такою формулою, м:

$$H^{\text{П}} = H_{\text{ст}}^{\text{П}} + h_{\text{вв}}^{\text{П}} + h_{\text{нс}}^{\text{П}} + h_{\text{вод}}^{\text{П}} + h_{\text{нв}}^{\text{П}} + h_{\text{м}}^{\text{П}}, \qquad (2.23)$$

де $H_{\text{ст}}$ – статичний напір, рівний різниці відміток подачі Z і мінімального рівня в резервуарі чистої води $Z_{p.min}$, м;

$H_{\text{ст}}^{\text{П}}$ – статичний напір під час подавання води на пожежогасіння, рівний різниці відміток подачі $Z^{\text{П}}$ і мінімального рівня в резервуарі чистої води $Z_{p.min}$, м;

$h_{\text{вв}}, h_{\text{вв}}^{\text{П}}$ – втрати напору у трубопроводах, що всмоктують відповідно для години максимального водоспоживання і на випадок пожежогасіння, м;

$h_{\text{нс}}, h_{\text{нс}}^{\text{П}}$ – втрати напору в комунікаціях насосної станції, м;

$h_{вод}$ – втрати напору у водомірі, м;

$h_{нв}, h_{нв}^{П}$ – втрати в напірних водоводах, м;

$h_{м}^{П}$– гідравлічні втрати у міській водопровідній мережі під час пожежі, м.

У системі з контррезервуаром (рис. 2.3) тиск насосів буде визначатися за такими формулами, м:

– на випадок максимального водоспоживання:

$$H = H_{ст} + h_{вв} + h_{нс} + h_{вод} + h_{нв} + h_{м}, \qquad (2.24)$$

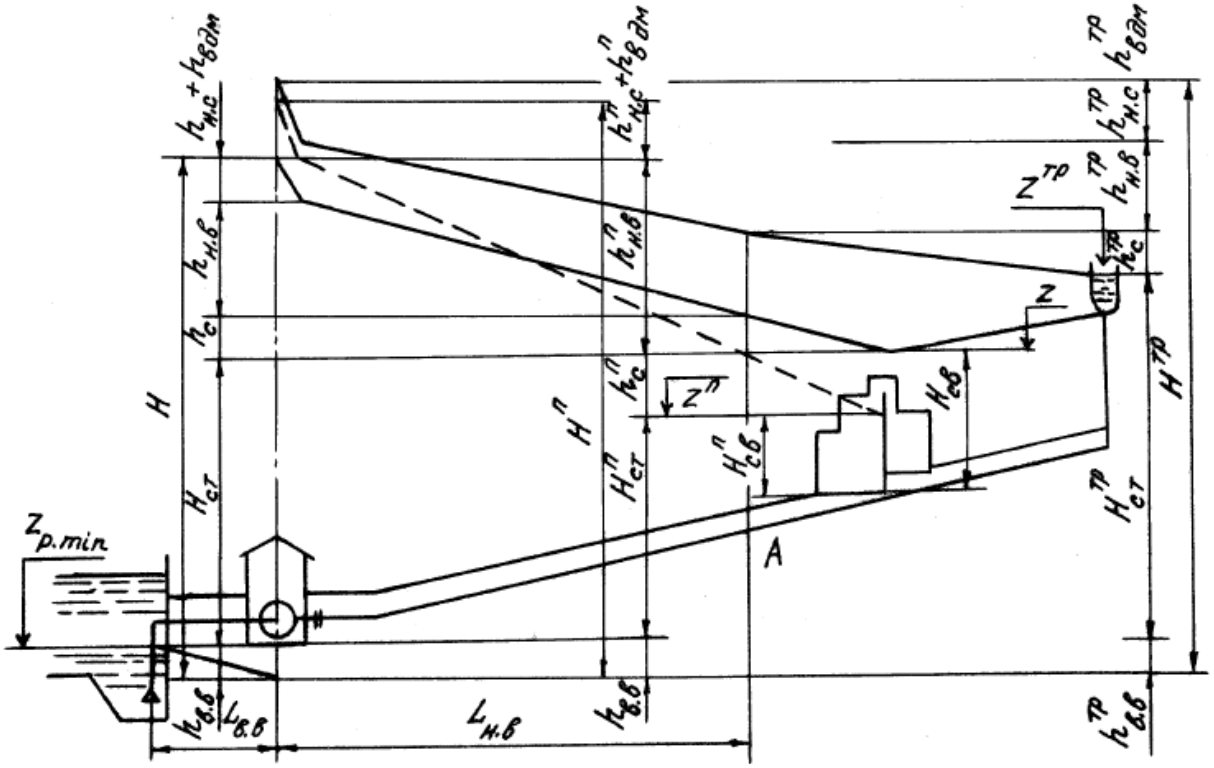


Рисунок 2.3 – Схема до визначення напору насосів II підйому в системі з контррезервуаром

– на випадок максимального транзиту води до контррезервуара:

$$H^{тр} = H_{ст}^{тр} + h_{вв}^{тр} + h_{нс}^{тр} + h_{вод}^{тр} + h_{нв}^{тр} + h_{м}^{тр}, \qquad (2.25)$$

де $H_{ст}^{тр}$ – статичний напір, який визначається з умови подання води в водонапірну башту, м;

– на випадок пожежогасіння в годину максимального водоспоживання – за формулою (2.23).

$$H_{ст}^{тр} = Z^{тр} - Z_{p.min}, \qquad (2.26)$$

де $h_{вв}^{тр}, h_{нс}^{тр}, h_{вод}^{тр}, h_{нв}^{тр}$ – втрати напору під час транзиту води в контррезервуар відповідно у трубопроводах, що всмоктують, комунікаціях насосної станції, водомірах і напірних водоводах, м;

$h_{м}^{тр}$ – 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

$$H_{н} = \beta^2 \cdot H_{ф} - S_{ф} \cdot Q^2; \tag{2.27}$$

– у разі паралельної роботи декількох (N) однакових насосів

$$H_{н} = \beta^2 \cdot H_{ф} - S_{ф} \cdot \left(\frac{Q^2}{N}\right), \tag{2.28}$$

де $H_{ф}$ – напір, створюваний насосом із нульовим поданням, м;

$S_{ф}$ – гідравлічний опір насоса, с^2/м^5;

Q – подання насоса, м^3/с;

N – кількість насосів, що подають воду в розглянутий час;

$\beta = \frac{n_{ф}}{n_{б}}$ – коефіцієнт, що дорівнює відношенню фактичної кількості обертів робочого колеса насоса $n_{ф}$ до базової кількості обертів $n_{б}$.

Рівняння характеристики трубопроводу, що складається з декількох паралельних ниток, має такий вигляд:

$$H_{тр} = H_{ст} + S_{заг} \cdot Q^2, \tag{2.29}$$

де $H_{ст}$ – геометрична висота підйому води, м;

$S_{заг}$– загальний коефіцієнт опору трубопроводу, с^2/м^5.

Якщо трубопровід складається з $N_{к}$ паралельно розташованих ниток із коефіцієнтами $S_1, S_2, S_3, \ldots, S_{к}$, то загальний коефіцієнт опору буде

$$\frac{1}{\sqrt{S_{заг}}} = \frac{1}{\sqrt{S_1}} + \sqrt{\frac{1}{S_2}} + \cdots + \sqrt{\frac{1}{S_k}}. \tag{2.30}$$

За однакового опору всіх ниток трубопроводу

$$S_{заг} = \frac{S}{N_k^2}. \tag{2.31}$$

За умовами спільної паралельної роботи відцентрових насосів та трубопроводу із декількох ниток матимемо

$$\beta^2 \cdot H_{ф} - S_{ф} \cdot \left(\frac{Q}{N}\right)^2 = H_{ст} + S_{заг} \cdot Q^2. \tag{2.32}$$

Із рівняння (2.32) можна визначити значення показників, які передбачається змінити в процесі реконструкції.

Так, пропускна здатність трубопроводу визначається за такою формулою:

$$Q = \sqrt{\frac{H_{ф} \cdot \beta^2 - H_{ст}}{S_{заг} - \frac{S^k}{N^2}}}. \quad (2.33)$$

Якщо під час реконструкції передбачається зміна кількості обертів робочого колеса насоса, то це число дорівнює

$$n_{ф} = n_{б} \cdot \sqrt{\frac{\left(S_{заг} + \frac{S_{ф}}{N^2}\right) \cdot Q^2 + H_{ст}}{H_{ф}}}. \quad (2.34)$$

Під час прокладання додаткової нитки трубопроводу її діаметр можна визначити з огляду на необхідне значення коефіцієнта опору трубопроводу (з урахуванням додаткової нитки):

$$S_{заг} = \frac{H_{ф} \cdot \beta^2 - S_{ф} \cdot \left(\frac{Q}{N}\right)^2 - H_{ст}}{Q^2}. \quad (2.35)$$

Опір додаткової нитки

$$S_x = \left(\frac{1}{\frac{1}{\sqrt{S_{заг}}} - \frac{1}{\sqrt{S_{заг}{}^*}}}\right), \quad (2.36)$$

де $S_{заг}{}^*$ – загальний опір існуючого водоводу (до реконструкції).

Коефіцієнт питомого опору труб додаткової нитки, $с^2/м^5$, визначається за формулою

$$A = \frac{S_x}{l}, \quad (2.37)$$

де l – довжина додаткової нитки, м.

За значенням А 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:

$$N_{потр} = \sqrt{\frac{Q^2 \cdot S_{ф}}{H_{ф} \cdot Q^2 \cdot S_{заг}{}^* - H_{ст}}}. \quad (2.38)$$

Наведені формули для розрахунку зміни тих параметрів роботи насосних станцій, які були запроєктовані і вимагали саме модернізації або реконструкції.

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 променевих водозаборів та шахтних колодязів.
9. Назвіть методи реконструкції та інтенсифікації променевих 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?
19. Яку інформацію о діючих спорудах потрібно знати для реконструкції систем водопостачання?
20. Навіщо потрібні данні досліджень про системи водопостачання?

21. Навіщо робиться випробування насосного обладнання?

22. Що потрібно виміряти для визначення енергетичних характеристик?

23. Для чого потрібне правильне визначення фактичних гідравлічних характеристик трубопроводів?

24. Назвіть декілька можливих рішень реконструкції насосної станції першого підйому.

25. Назвіть декілька можливих рішень реконструкції насосної станції другого підйому.

Тема 3 Модернізація і 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 метальної головки облицювального агрегата, протягненого всередині трубопроводу за допомогою троса і лебідки (рис. 3.1).

Товщина шару, що наноситься залежить від діаметра труби і швидкості руху метальної головки всередині трубопроводу. За один прохід можна нанести шар товщиною від 3 мм до 12 мм. Вирівнювання і загладжування нанесеного шару розчину здійснюється легким металевим конусом, який кріпиться на штанзі.

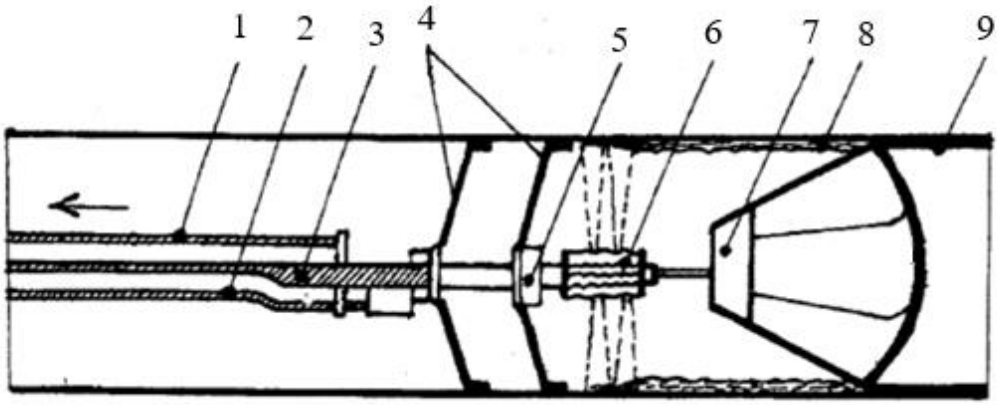


Рисунок 3.1 – Схема облицювального агрегату:
1 – робочий трос; 2 – рукав подання повітря; 3 – рукав подання розчину;
4 – пристрій, який центрує; 5 – метальна головка; 6 – лопатеве колесо;
7 – загладжувальний конус; 8 – покриття з шорсткою поверхнею;
9 – заглаженість покриття

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 облицювальних 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].

Недоліком методу є те, що коліна, відводи, вертикальні спуски і підйоми трубопроводів доводиться розкопувати і замінювати на облицювання 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 3.2.

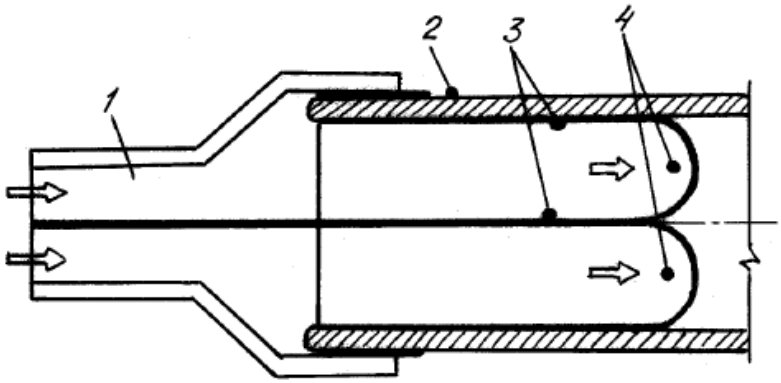


Рисунок 3.2 – Схема введення облицювального рукава в трубопровід, що ремонтується:
1 – рукав для подання води або повітря; 2 – трубопровід, що ремонтується;
3 – облицювальний рукав; 4 – пазухи облицювального рукава

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 парою 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. 3.3).

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).

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 м = 1 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

замурований герметично. Капроновий трос, закріплений на кінці рукава, утримує рукав від довільного просування всередину трубопроводу.

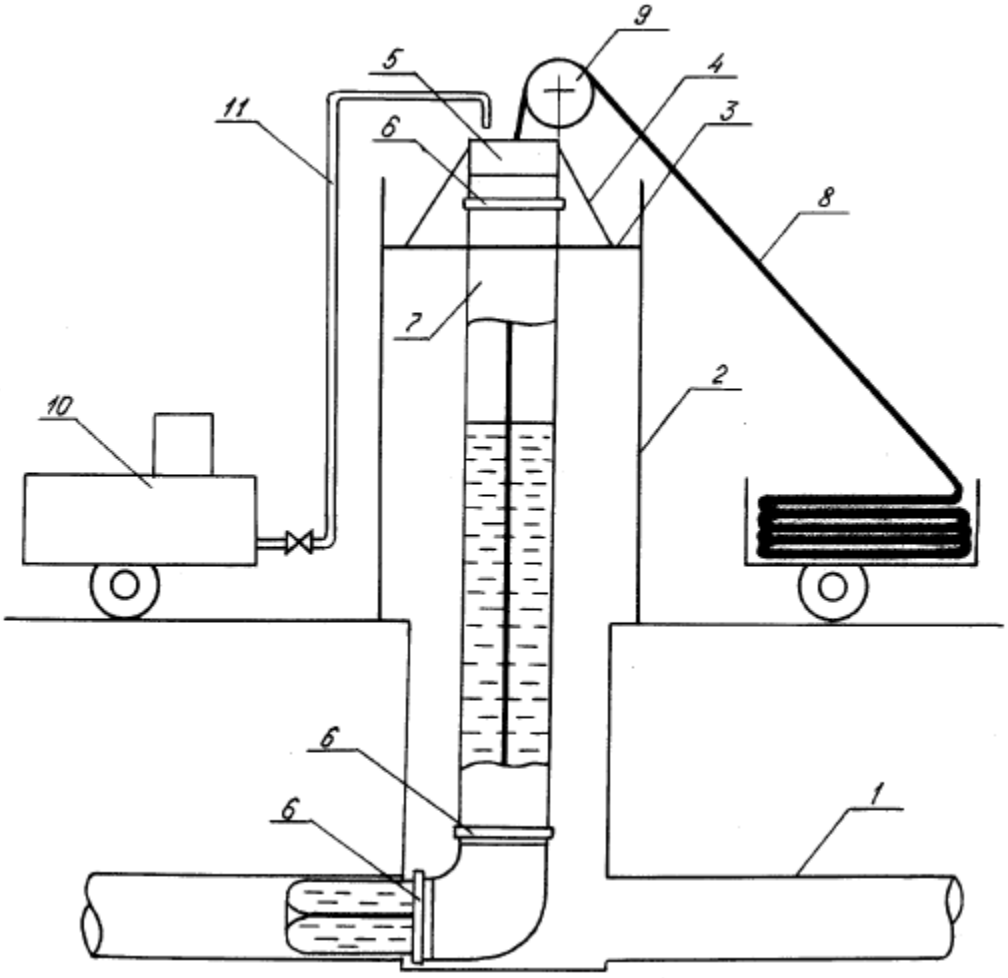


Рисунок 3.3 – Технологія нанесення покриття на внутрішню поверхню трубопроводу:
1 – труба, що ремонтується; 2 – вишка; 3 – трап; 4 – обичайка; 5 – піраміда; 6 – хомут; 7, 8 – рукав; 9 – валик; 10 – установка для подавання води; 11 – рукав для подавання води

Після повного введення рукава в нього по гнучкому шлангу подається гаряча вода температурою 80 °С. Холодна вода відкачується через відкритий кінець рукава на обичайці. Після досягнення всім об’ємом води температури 80 °С 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 ділянка, що ремонтується, 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 чинить 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. 3.4).

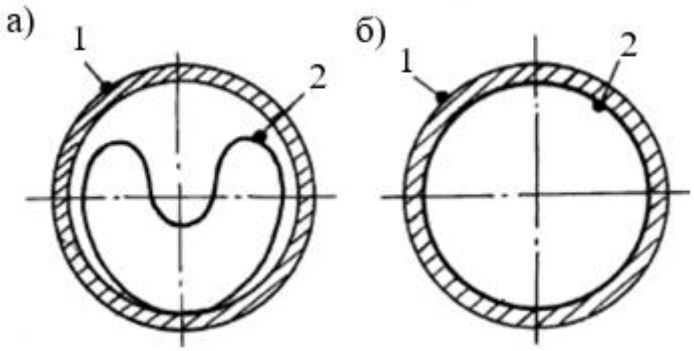


Рисунок 3.4 – Схема розміщення облицювального трубопроводу в порожнині ремонтованої труби:
а – під час введення; б – остаточне;
1 – трубопровід, що ремонтується; 2 – облицювальний трубопровід

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 ремонтованого 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 протягуваної 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 втискуються 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 батогом 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.

Контрольні питання

1. Опішить, як відбувається заміна водопровідних мереж поліетиленовими трубопроводами з руйнуванням старих труб.
2. Назвіть, що є визначальними під час вибору варіанта відновлення водопровідної мережі.
3. Якою є суть методу облицювання внутрішньої поверхні трубопроводу цементно-піщаним покриттям?
4. У чому полягає суть методу облицювання внутрішньої поверхні трубопроводу гнучким рукавом?
5. Назвіть низку переваг технології подавання рукава у водопровідну трубу.
6. Наведіть суть методу протягування у відновлюваний трубопровід нових поліетиленових труб.

Тема 4 Модернізація і реконструкція водопровідних очисних станцій

Сучасний стан проблеми очищення природних 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 очистки стічних вод.

Головна перепона вирішенню цих проблем – нестача фінансових ресурсів. Загальна потреба у капіталовкладеннях протягом найближчих 20-ти років для досягнення наближених до Європейського співтовариства рівня послуг і стандартів – 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, що споживається 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. Під час використання відповідного сучасного обладнання ця ефективність може підвищитись до 0,7–0,75. Можливий рівень економії енерговитрат в масштабах України може скласти 0,5–1,0 млрд кВт·годин на рік.

Задачі реконструкції та інтенсифікації водопровідних і каналізаційних споруд можна сформулювати як задоволення підвищених вимог населення і промисловості до кількості та якості води за мінімальних витрат. Виникають такі задачі:

1. Збільшення кількості або зменшення води, що подається.
2. Покращення якості води, що подається.
3. Скорочення витрат (електроенергії, матеріалів, трудових ресурсів тощо).
4. Підвищення якості очистки стічних вод.
5. Збільшення надійності роботи споруд.
6. Зниження 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:

– зміною технологічного режиму (виду, дози та місця додавання реагентів, режиму промивання фільтрів, збору осадів тощо);

– реконструкцією очисної станції та (або) її розширенням;

– поєднання попередніх способів.

Підвищення якості очистки стічних вод може досягатись:

– розширенням та будівництвом додаткових споруд по всій технологічній лінії очистки стічних вод і обробки осадів;

– реконструкцією та модернізацією споруд механічної та біологічної очистки 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)[2].

Збільшення надійності роботи споруд здійснюється шляхом:

– розумного резервування основних споруд та обладнання;

– застосуванням більш досконалого обладнання і матеріалів (насосів, труб тощо);

– моніторингу основних технічних параметрів для раціонального управління спорудами ВКГ (якості вихідної та очищеної води, тисків в диктуючих точках водопровідних мереж, на вході та виході їх 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 відмітити, що в останні роки задача підвищення продуктивності споруд (особливо водопровідних) ставиться все рідше. Викликано це такими причинами. По-перше, об'єми промислового виробництва зменшились, як наслідок, скоротилась кількість води, що споживається підприємствами. По-друге, норми водоспоживання населення, за якими були запроєктовані існуючі споруди ВКГ, сильно (в 1,5–2 рази) завищені порівняно з Європейськими нормами. Так, для будинків з нормальним санітарним благоустроєм (водопровід, каналізація, ванни та централізоване гаряче водопостачання) норма водоспоживання досягає 300–350 л/чол за добу. В той же час в Німеччині фактичне водопостачання складає 150–200 л/чол 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.

Основні етапи виконання робіт із реконструкції і інтенсифікації

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

1. Обстеження споживачів із метою визначення фактичного водоспоживання, реальної потреби у воді, а також шляхів зниження витрат.

[2] При цьому одночасно підвищується і надійність роботи споруд.

2. Аналіз, узагальнення результатів обстеження, визначення розрахункових витрат (добових та годинних).

3. Дослідження існуючих споруд з метою отримання їх гідравлічних, технологічних та економічних характеристик.

4. Складання переліку можливих варіантів реконструкції та інтенсифікації.

5. Перевірочні розрахунки за всіма варіантами з метою виділення найбільш перспективних та реальних (технічно та економічно).

6. Технологічні вишукування[3] за виділеними варіантами (наприклад, у разі зміни технологічної схеми, застосування нових споруд, реагентів тощо).

7. Детальні розрахунки за виділеними варіантами та за необхідності техніко-економічні розрахунки. 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 безперебійної подачі води в період виробництва робіт із реконструкції та інтенсифікації.

10. Вирішуються запитання фінансування, визначається очікуваний прибуток або інші показники роботи споруд після реконструкції, опрацьовуються запитання використання, утилізації або ліквідації старого обладнання, труб, арматури та інших елементів систем, що реконструюються без шкоди для навколишнього природнього середовища.

11. Пуск та налагодження споруд.

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

Модернізація і 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).

[3] Технологічні вишукування доцільно здійснювати на пілотних установках, що працюють на природній воді з джерела водопостачання, що використовується.

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 струмонапрямного 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 контактного середовища використовували гравій, завантаживши його на розподільну систему камери реакції із шаром завислого осаду. Водночас істотно поліпшувався ефект відстоювання.

Однак із часом було відзначене погіршення мікробіологічних показників якості води. Передбачалось, що пластівці будуть утворюватися 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 контактного 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 контактного завантаження відбувається під час скидання води зі споруди, яке

розширюється вниз. Під час проєктування 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 вирова 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 контактного 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 частинки. Частинки, що випали в осад, завдяки нахилу модуля[4] сповзають на дно відстійника. Крім того, через малу товщину потоку він ламінаризується, що також сприяє підвищенню ефекту очищення.

Схема горизонтального відстійника, обладнаного модулями тонкошарового відстоювання, подана на рисунку 4.1.

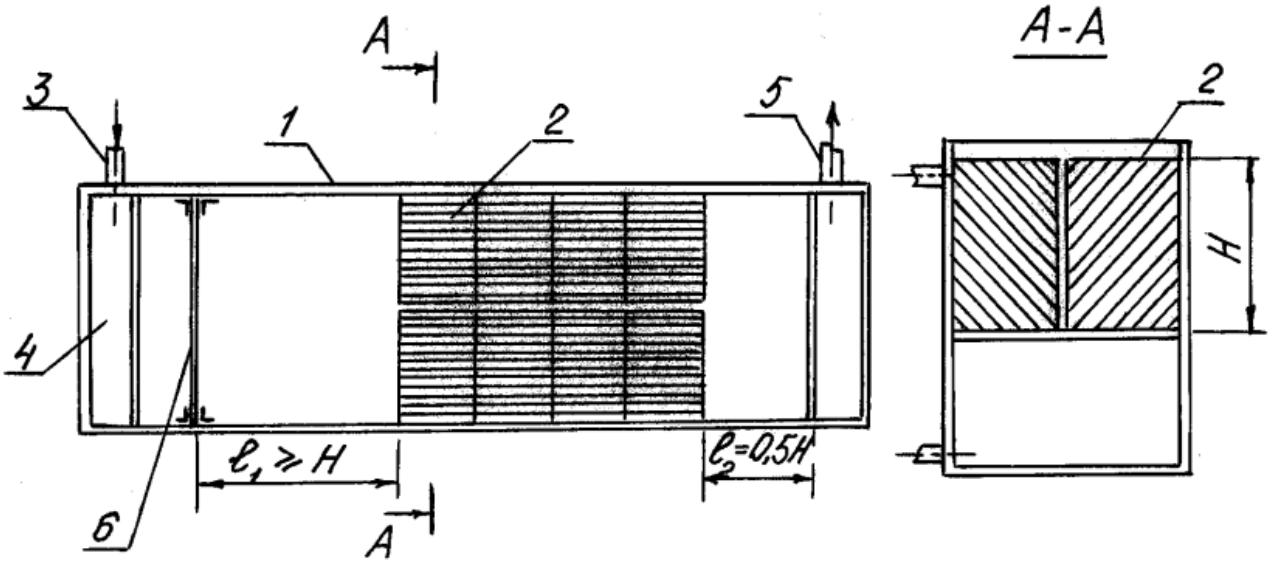


Рисунок 4.1 – Схема горизонтального відстійника, обладнаного модулями тонкошарового відстоювання:
1 – корпус відстійника; 2 – тонкошаровий модуль; 3 – вхід води на очищення; 4 – водорозподільний жолоб; 5 – вихід очищеної води; 6 – напівзанурювальний щит

[4] Кут нахилу обирається звичайно рівним приблизно 60°, що відповідає куту природного відкосу коагульованого осаду природних вод.

Вертикальний відстійник із модулями тонкошарового відстоювання

Довжина кожного модуля дорівнює 1,0–1,5 м, висота 2,0 м, ширина складає 1/2 ширини секції відстійника. Відстань між пластинами модуля 5–10 см. Застосування тонкошарових елементів дозволяє збільшити продуктивність відстійника в кілька разів та підвищити ефект освітлення води до 75–80 %.

Схема вертикального відстійника з вировою камерою утворення пластівців, що обладнана модулями тонкошарового відстоювання, подана на рисунку 4.2.

Принцип роботи реконструйованого вертикального відстійника залишається тим самим. Вода надходить трубопроводом (4) в камеру утворення пластівців (2). Виходячи з камери утворення пластівців в нижній її частині і змінюючи за допомогою відбивного щита (6) напрям на протилежний, вода, що очищається, зі сформованими пластівцями надходить в блоки тонкошарового відстоювання і рухається в напрямку знизу вгору. Пройшовши зону тонкошарового відстоювання, освітлена вода збирається периферійним жолобом (3) і трубопроводом (9) відводиться на подальше очищення.

Продуктивність з тонкошаровими модулями відстійника збільшується приблизно 1,8–2,0 рази, ефект очищення води підвищується до 70–80 %.

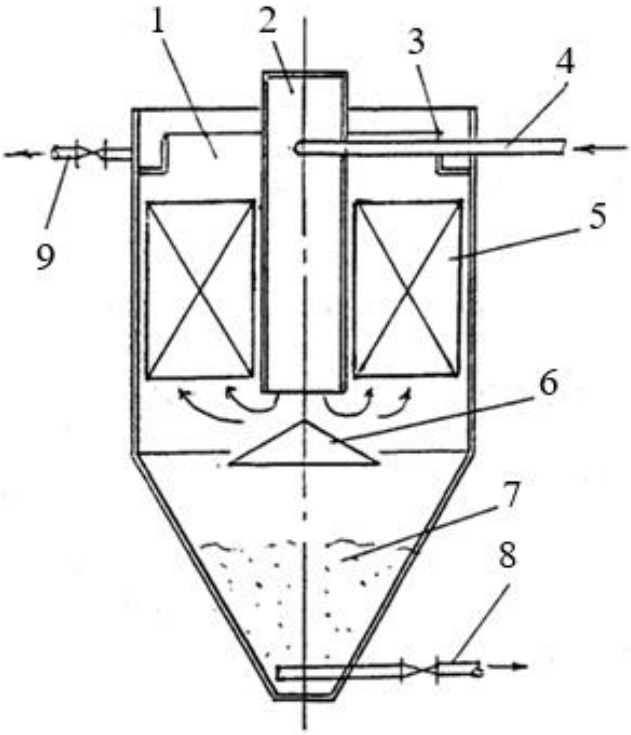


Рисунок 4.2 – Схема вертикального відстійника з модулями тонкошарового відстоювання:
1 – корпус відстійника;
2 – вирова камера утворення пластівців;
3 – водоприймальний жолоб;
4 – трубопровід, що подає воду на очищення;
5 – тонкошаровий модуль;
6 – відбивний щит;
7 – накопичувач мулу;
8 – мулопровід;
9 – трубопровід очищеної води

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 відстояної 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;

– 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 установлення 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 здійснюватися 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 (зазвичай 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 малою каламутністю сирої 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 проєктування:

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 вловлює 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] 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 з 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 та 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

сирої 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.

Вирові 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 трубопровід, 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 відстояної 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 сирої 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 плавучого 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, 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 забарвлених 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.

Модернізація і реконструкція освітлювачів із завислим осадом

Найбільш просто здійснюється реконструкція освітлювачів зі зваженим осадом коридорного типу [1].

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 4.3.

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.

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 спрямувального сопла вода надходить у змішувач (2) і, рухаючись у напрямку знизу вгору, перемішується з осадом, 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.

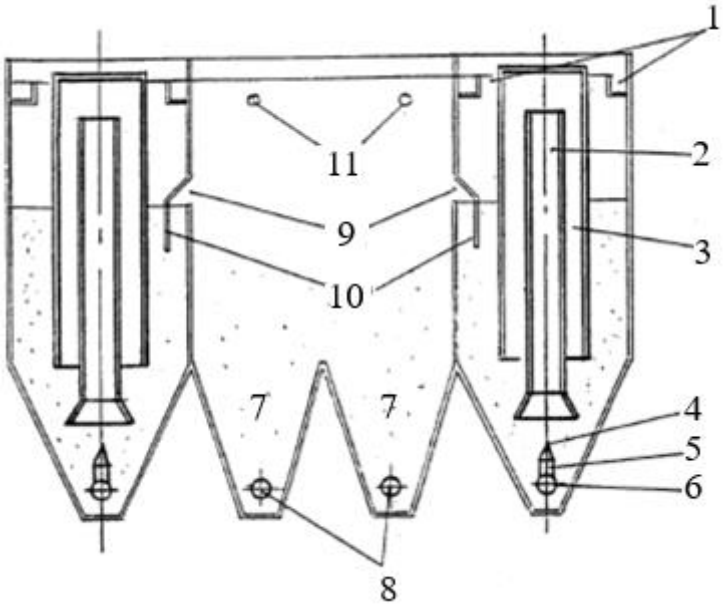


Рисунок 4.3 – Схема освітлювача-рециркулятора:
1 – водозбірний жолоб; 2 – змішувач; 3 – камера утворення пластівців;
4 – сопло; 5 – ежектор; 6 – труба, що подає; 7 – мулоущільнювач;
8 – мулопровід; 9 – вікна; 10 – захисні козирки; 11 – водозбірні труби

Підвищення концентрації суспензії у 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^3 (тобто за каламутністю вона майже питна), продуктивність освітлювача зі зваженим осадом збільшується більше ніж у два рази.

Модернізація і 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 зменшуваною за потоком швидкістю.
3. Фільтрування зі зменшуваною 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 багатошарових 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 високозабарвлених 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^2 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 багатошарових фільтрів [1]. Ж. Ланглін, Т. Дувал досліджували антрацито-кварцево-гранатове завантаження (щільності – 1,5–2,6–3,9 г/см^3). С. Моханка описав роботу п'ятишарового фільтра (кварц-гранат-магнетит). В. Конлей як найбільш важкий шар використовував ільменіт (щільність 4,2 г/см^3). Було досліджено роботи тришарових фільтрів із завантаженням з полістиролу, керамзиту, кварцового піску. Головною перешкодою у використанні таких фільтрів є труднощі у підборі фільтрувальних матеріалів із заданою гранулометрією.

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^3/добу. За рахунок ефективного використання грязеємності неоднорідного завантаження ці споруди працюють у разі каламутності оброблюваної води до 100–150 мг/л і забарвленості 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 високозабарвлених, малокаламутних холодних вод (каламутність не більше 250–300, забарвленість 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 зменшуваною за потоком швидкістю

У разі такого способу очищення через більш високу швидкість у перших шарах фільтрації забруднення проникають глибше у завантаження, ступінь використання її грязеємності 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 зменшуваною за потоком швидкістю.

Фільтрування зі зменшуваною 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 сирої води і фільтрату, до яких під'єднані й інші фільтри. П'єзометрична відмітка в колекторі фільтрату $P_ф/\gamma$ визначається переважно відміткою води у резервуарі чистої води (РЧВ), до якого під'єднується колектор, а п'єзометр у колекторі сирої води P_c/γ визначається роботою НС-1 (або рівнями води в попередніх спорудах). Таким чином, наявний напір $H = (P_c/\gamma) - (P_ф/\gamma)$ не залежить від роботи цього фільтра.

Наявний напір Н 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:

$$H = h_{ком} + h_з = a \cdot V_ф^2 + b \cdot V_ф, \qquad (4.1)$$

де $h_{ком}$ *і* $h_з$ – 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 $V_ф$ зменшується.

Таким чином, якщо засувки фільтра повністю відкриті, то швидкість фільтрування $V_ф$ згодом падає, а втрати напору зростають.

Для того щоб забезпечити постійну $V_ф$, 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 ($h_{ком}$ + $h_З$) досягають граничного значення (Н), відповідає тривалості фільтроциклу *Т*. Якщо фільтр не буде зупинений у момент часу Т, 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 $V_ф$ дійсна швидкість у просторі пор (дійсна швидкість – це швидкість у просторі пор) визначається за формулою

$$V_u = \frac{V_ф}{m}, \tag{4.2}$$

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 $V_ф$ сприяють проскакуванню зависі у фільтрат. Як показали спеціально проведені в Одеській державній академії будівництва та архітектури (далі ОДАБА) 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, запроєктованих 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 зменшуваною 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 міжзерновою поруватістю й розвинутою питомою поверхнею [1]. 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. $м^3$ до 74 тис. $м^3$. У таблиці 4.1 [1] наведене порівняння роботи фільтрів із піщаним і керамзитовим завантаженням. Фільтри з керамзитовим завантаженням забезпечують більшу продуктивність без погіршення якості фільтрату.

Після керамзиту були запропоновані й інші місцеві матеріали [1, 4]: горілі породи, оплавлений керамзитовий пісок – відходи виробництва керамзитового гравію, аглопорит (Одеса), вулканічні шлаки (Єреван), шунгизит, 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.

Таблиця 4.1 – 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, $м^3/м^2$	324	328	130
Грязеємність, $кг/м^2$	8,52	7,41	3,1

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 $м^2/г$ проти 0,12 $м^2/г$, 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 %, брудоємність 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 коректної методики випробувань цеоліту на стиранність і подрібнюваність 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^{2+}, Mg^{2+} тощо). Водночас цеоліт володіє селективністю стосовно важких металів. Ряд селективності цеоліту до важких металів [3] такий:

$$Pb^{2+} > Cd^{2+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Na^{+}.$$

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 речовинах виявляється цілком достатньою для досить тривалої експлуатації без регенерації або заміни завантаження. Це підтверджується дослідженнями доочищення водопровідної води, проведеними в 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, окиснювачів, регуляторів pH, 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) [1, 3].

Активатор ренагентів для магнітного перетворення розчину флокулянту, завдяки чому знижується хімічне його руйнування та зменшується його доза. Активатор необхідний для дослідження процесу приготування

розчину флокулянта знаходиться у лабораторія «Водопостачання та водовідведення», ауд. 106 цк нашого університету, як наочний посібник.

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 pH 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 виявилося ефективним під час очищення висококольорової води (до 200 °C) на прямоточних фільтрах [1]. 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 сірчанокислим 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 γ-опромінення розчинів сірчанокислого 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 [1].

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 $м^3$ на 1 $м^2$ 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 кольматування, неповного

використання грязеємності 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^2) і зміною інтенсивності подачі води з 3–4 л/(с·м^2) до 6 л/(с·м^2) на останніх двох етапах. Дослідження ОДАБА показали можливість зменшення інтенсивності продувки до 10 л/(с·м^2) і проведення двохетапного промивання з постійною інтенсивністю подачі води, величина якої повинна бути не меншою за критичну 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, досягши 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. $м^2$ на 9-ти очисних станціях: забезпечується ефективне промивання завантаження, підвищується його грязеємність, корисна продуктивність фільтра збільшується на 10–30 %.

Під час промивання, що чергується, зменшується гідравлічне сортування завантаження, збільшується грязеємність, 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 4.2 подається порівняльна характеристика сучасних конструкцій дренажних систем вітчизняних та зарубіжних авторів [1], а в таблиці 4.3 – їхня орієнтовна вартість.

Таблиця 4.2 – 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 зависсю, 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’яжучім, полістирол	Низький коефіцієнт температурного розширення, великі пори, які зменшують ймовірність кольматації, малі втрати напору, висока ступінь рівномірності промивання	Важкість монтажу	ОДАБА

Таблиця 4.3 – Орієнтовна вартість безгравійних дренажів

Фірма-виробник	Вартість 1 м ^{2}, 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 винесення 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.

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

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

Модернізація і реконструкція систем знезаражування природних вод

Вода є гарним розчинником, що містить поживні речовини для розвитку мікроорганізмів. Біологічне населення водойм 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 дезінфектантів – хлору й УФ.

На сьогодні контроль процесу знезаражування став більш жорстким. Згідно зі ДСанПіН України [2] потрібне визначення таких мікробіологічних показників:

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

Крім того, стали нормуватися й паразитологічні показники:

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

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 утворяться 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 гідроокису алюмінію, скорочується фільтроцикл (США).

Іноді рекомендується додавати хлор між відстійниками й фільтрами. Дослідники з ОДАБА [1] наводять, що є приклади застосування роздрібного хлорування зі зменшенням дози первинного хлорування і там же наведено, що все частіше зустрічаються застосування УФ-опромінення на стадії первинної дезінфекції.

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 слабко 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».

На Комплексі водопідготовки «Дніпро», щоб продовжити дію хлору у воді, додають до неї аміак. Амонізація проводиться на майданчику II блока за

допомогою аміачної води з концентрацією 25 % – її додають 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 мг/дм³ до 1,0 мг/дм³, що відповідає споживанню аміачної води з 25 % концентрацією до 1 м³ 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 блока.

Доза аміаку визначається за рівнем залишкового хлору у оброблюваній воді й становить 0,5–0,7 мг/дм³, що відповідає споживанню аміачної води з 25 % концентрацією до 0,6 м³ 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 слабко діє на цисти лямблій, у зв’язку із цим було вирішено відпрацьовувати 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.

За іншими дослідами наведеними у [1], отримані кращі результати під час преамонізації, що підтверджує необхідність пілотних досліджень для вибору технології амонізації.

На підставі отриманого досвіду до переваг амонізації належать:

– економія хлору й стабілізація 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 Cl^-, на катоді виділяється водень і утворюється луг, що дифундує до анода й утворює із Cl гіпохлорит натрію 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, Pepcon 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. 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. $м^3$/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_2 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 агенту 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 ºС, 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_2 мало гідролізується. Вважається, що бактерицидну дію чинять молекули ClO_2.

ClO_2 – 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-ах 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 pH-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 землисті й багнисті 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 у вже існуючі хлоратори після незначного перебудовування.

3. Скорочення енергоспоживання:

– відсутність випарників;

– відсутність теплосупутника.

Серед таких переваг, що стосуються традиційного використання хлору, гіпохлориту натрію, а також озонизації та УФ-обробки, потрібно 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 зі зберіганням і використанням рідкого хлору.

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

3. Порівняно 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 під час аварійного відхилення 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 із води за рахунок прямої фільтрації, включно із залізом, марганцем, сульфідами, металами, такими показниками як біохімічне споживання кисню (БСК) та хімічне споживання кисню (ХСК). Це також підвищує ефективність очищення флотацією.

Озон знищує бактерії, цисти та віруси до 3 125 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.

Наприклад, озонується вода на великій водопровідній станції – Дніпровській (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 забарвленість;

– 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 зоопланктону у воді, обробленої озоном; не зменшується окиснюваність. Однак збільшується термін служби гранульованого активованого вугілля (ГАВ), досягається знебарвлення води.

Досліди французької фірми «Трейлігаз» із випробування озонування наведені у [1]. Відзначалося, що знезараження забезпечувалося в достатньому ступені. Однак утворилися постпродукти – бромати, альдегіди тощо. Метод вибухо- та пожежонебезпечний, 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 флотація зависі, що може призвести до порушення роботи відстійників і освітлювачів із шаром завислого осаду, може виявитись доцільним переведення першої ступені на флотацію;

– 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 [2] і забезпечують інактивацію ентеровірусів на 99,99 % для

поверхневих вод наведені в таблиці 4.4, а в таблиці 4.5 наведено дані значення СТ під час використання різних дезінфектантів.

Таблиця 4.4 – Критерій СТ під час знезараження поверхневої води хлором

Залишковий активний хлор, мг/л	Критерій СТ зі значеннями pH				
	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 4.5 – Критерій СТ під час знезараження поверхневих вод різними окиснювачами

Дезінфектант, залишкова доза, мг/л	pH	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 pH 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^2).

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 вірусоцидний ефект у разі відповідних доз опромінення – 16–40 мДж/см^2, 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^2. 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).

До речі установки для знезараження води: ультразвукова та з бактерицидними лампами, як наочні посібники для кращого вивчення методів знезараження знаходяться в лабораторії «Водопостачання та водовідведення», аудиторії 106 центрального корпусу нашого університету.

Модернізація і реконструкція очисних споруд водопроводу з застосуванням дискових фільтрів та ультрафільтраційних мембран, озонування тощо.

Біологічне очищення природних вод

Вода поверхневих і підземних джерел зазнає забруднень антропогенного характеру, до складу яких входять органічні речовини [1]. Органічні з’єднання, що містяться у воді, можуть стимулювати бактеріальний ріст на очисних спорудах і у водопровідній мережі. Амонійні з’єднання, фосфор, марганець, залізо є субстратом (живленням) для деяких бактерій.

Розрізняють біорозкладальні й біорезистентні (які не підлягають біологічному розкладанню) органічні речовини. До останніх належить синтетична органіка й галогенеровані з'єднання, що потрапляють у джерела під час скидання недостатньо очищених промислових стоків, а також у процесі обробки води хлором.

Ця проблема може бути вирішена під час застосування попереднього біологічного очищення природних вод за допомогою мікроорганізмів, які мешкають у поверхневому водоймищі з якого забирається вода. Але потрібно збільшити їхню кількість. Для цього і пропонується застосовувати споруди типу біореактора з прикріпленим біоценозом на носіях. Завдяки чому буде відбуватися процес самоочищення води без застосування реагентів, а якщо і потрібно буде їх застосування, то дози будуть вже зменшені.

Показником рівня забруднення джерел органічними речовинами в теперішній час є вуглець:

– ЗОВ – загальний органічний вуглець;

– РОВ – розчинений органічний вуглець;

– АОВ – органічний вуглець, що асимілюється – кількісна оцінка біорозкладних речовин (без гумусових речовин).

Кількість АОВ є показником потенційного росту мікроорганізмів. Чим нижче АОВ, тим вище біологічна стабільність води.

Біологічне очищення природних вод відоме давно – воно відбувається на повільних фільтрах. Існує думка, що біологічні процеси є й під час швидкого фільтрування, якщо швидкості не дуже великі. Можливість застосування біологічних методів очищення пов'язана зі здатністю органічних речовин до біологічного розкладання. Однак широкого застосування у водообробці ці методи набули тільки в другій половині XX століття. Досвід країн Західної Європи (фірма «Дегремон») показує [1], що біологічні процеси можуть сполучатися з технологічними схемами фізико-хімічного очищення.

Біологічними методами можуть бути вилучені [5, 6]:

– органічні речовини – феноли, нафтопродукти;
– амонійні з'єднання;
– розчинені у воді гази, наприклад, сірководень;
– залізо, марганець;
– присмаки й запахи тощо.

Крім того, біологічні процеси збільшують строк роботи сорбентів.

Відомо декілька процесів біологічного очищення.

Окислювання в біоплівці [5]. Біоплівка утворюється на поверхні твердого матеріалу – носія. Бактерії прикріплюються до поверхні носія, використовуючи клейкі речовини або за рахунок сорбції. Закріплені бактерії стають більш стійкими до зовнішніх впливів. АОВ, наявний у природних водах, здатний підтримувати ріст біоплівки.

Носієм можуть слугувати синтетичні волокна, пісок, гравій, клиноптилоліт, активоване вугілля. На ріст колоній впливають гранулометричний склад, поруватість, поверхнева активність матеріалу носія.

Біореактори зі закріпленою мікрофлорою. Це фільтри з завантаженням певного гранулометричного складу, з промиванням малою інтенсивністю або без промивання (щоб не вимивалася біоплівка).

Гранульоване активоване вугілля (ГАВ) є дуже гарним середовищем для розвитку мікрофлори. Біорозкладні речовини видаляються мікрофлорою й тим самим збільшуються адсорбційні місця для сорбції біорезистентних органічних сполук, тобто збільшується термін служби ГАВ.

Хімічне окислювання й біоплівка. За попереднього озонування підвищується концентрація розчиненого кисню і, оскільки процеси біологічного очищення аеробні, то органічні речовини окисляються до стану, у якому вони легко асимілюються мікроорганізмами. Однак дози окислювача та час контакту необхідно визначати в процесі пілотних досліджень на оброблюваній воді.

Технологічні схеми

Двоступінчасте фільтрування. Вода надходить на швидкий піщаний фільтр, а потім на сорбційний фільтр. Перша ступінь є біологічним фільтром. Конструктивно це стандартний відкритий або напірний фільтр. Швидкість фільтрування невисока, нижче, ніж для освітлення, тобто збільшується час контакту води з завантаженням. Попереднє хлорування не здійснюється. Промивання завантаження здійснюється з малою інтенсивністю, можливе застосування водоповітряного промивання. Таким чином, створюються умови для акумулювання біоплівки. В якості першого ступеня може використовуватись вугільний фільтр без промивання або із частковою (70–80 %) регенерацією для збереження біоплівки.

Можуть застосовуватися напірні фільтри з низхідним або висхідним фільтруванням. На рисунку 4.4 подана схема напірного біофільтра з висхідним потоком води: спочатку вода фільтрується через інертний матеріал (пісок), який слугує носієм біоплівки, де затримуються біорозкладні органічні речовини, а

потім надходить на сорбційне завантаження, де видаляються біорезистентні речовини.

У двокамерному біофільтрі з низхідним потоком (рис. 4.5) у верхній камері відбувається біоокислення, а в другій – сорбція біорезистентних органічних речовин.

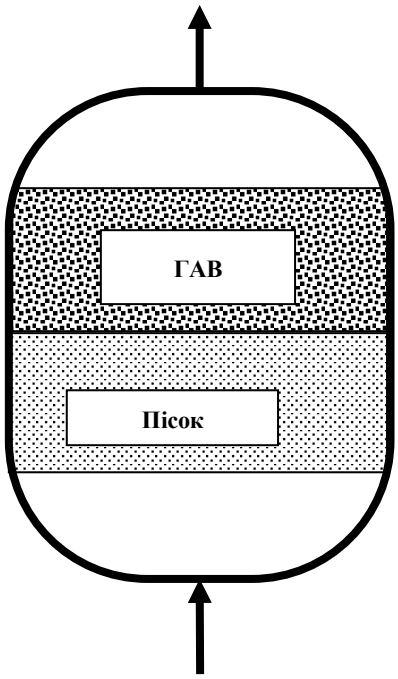


Рисунок 4.4 – Біофільтр

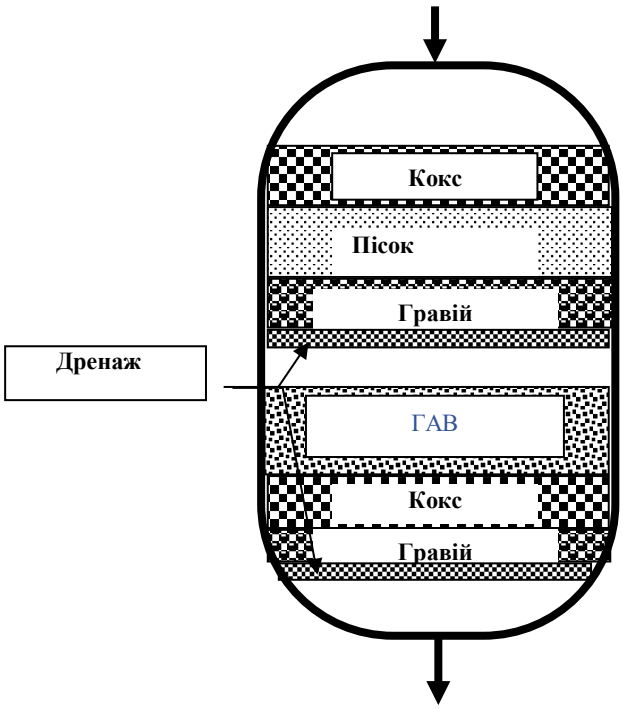


Рисунок 4.5 – Двокамерний біофільтр

Замість префільтра у двоступінчастій безреагентній схемі можна використовувати влаштування верхнього шару повільного фільтра із клиноптилоліту, матів із волокна.

Група дослідників [1, 5] розробили біотехнологічний метод очищення природних і стічних вод – біосорбцію: сполучення в просторі й часі процесів сорбції забруднень з їхнім біологічним окислюванням.

Процес проходить стадії:

– адсорбції забруднень із води в мікропоруватій структурі сорбенту;

– біохімічна модифікація адсорбованих важкоокислюваних речовин у біорозкладну форму екзоферментами, іммобілізованими в мікропоруватій структурі активованого вугілля;

– десорбція біорозкладних продуктів до поверхні частинок сорбенту;

– біологічне окислювання цих продуктів мікроорганізмами біоплівки на поверхні часток сорбенту.

Це забезпечує постійне біологічне відновлення сорбенту й виключає необхідність його термічної регенерації або заміни.

Принципова відмінність біосорберів від традиційних сорбційних фільтрів із ГАВ полягає в тому, що сорбційне завантаження постійно підтримується у псевдозрідженому стані, що забезпечує інтенсивний масообмін між частками сорбенту й оброблюваною водою, підвищує ефективність адсорбції забруднень і створює сприятливі умови для розвитку бактеріальної плівки на зернах сорбенту. Таким чином, сорбційна очистка доповнюється біологічною, в результаті чого відбувається безперервне біологічне окислювання адсорбованих забруднень (біорегенерація сорбенту).

Оптимальний ступінь розширення завантаження становить 40–42 %. Недостатнє або нерівномірне зважування шару призводить до погіршення масообміну, виникненню застійних зон, в яких відбувається нагромадження забруднень, що викликає вторинне забруднення води.

Біосорбційний метод рекомендується як попереднє очищення під час водопідготовки, дозволяє відмовитись від озонування й сорбції. Якість очищеної води по органічних забрудненнях відповідає [2] питній воді. Сполучення біосорбції із традиційними методами обробки води на наступних стадіях підвищує бар'єрну функцію очисних споруд, дозволяє у разі економії реагентів поліпшити якість очищеної води за всіма основними регламентованими показниками, знизити ризик утворення хлорорганічних з'єднань в процесі обробки.

Технологічна схема складається з декількох послідовно працюючих аераційних колон і біосорберів (рис. 4.6).

Біосорбер – колона з діаметром 1 200 мм, оснащена розподільною й збірною системами. Час перебування води в них становить 15–20 хв. Аераційна колона має діаметр 370 мм.

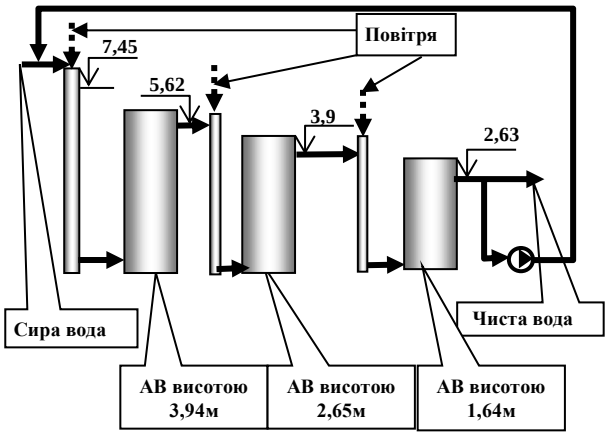


Рисунок 4.6 – Схема біосорбційної технології

Технологія «Біокарбон» (Франція). У швидких фільтрах, завантажених ГАВ, у середньому шарі завантаження розміщені повітроводи для насичення низхідного потоку води, що фільтрується, киснем повітря. Це сприяє росту й життєдіяльності аеробних

бактерій, що розвиваються на зернах завантаження й окислюють органічні речовини, які сорбуються в порах завантаження. Нижня частина вугільного завантаження слугує для затримки завислих речовин, включно з частинками бактеріальної маси, що виносяться потоком води з верхніх шарів.

Біореактор із волокнистими носіями прикріплених мікроорганізмів [7]. Біореактор – це колона змінного перерізу, заповнена високопоруватим полімерним матеріалом, що утримується у плаваючому стані решітками. У нижній частині реактора знаходиться осадоприймач, з'єднаний із дренажем контактного фільтра із плаваючим завантаженням (КФПЗ). Біореактор обладнаний розподільною системою для стисненого повітря, трубопроводами подачі вихідної, промивної води, а також скидання промивної води.

В процесі обробки вихідна вода попередньо насичується киснем і надходить у товщу волокнистого завантаження, на поверхні якої розвивається природний біоценоз, що поглинає з оброблюваної води частину розчинених органічних забруднень. Періодично пластівці біоплівки, що відриваються, осаджуються в осадоприймачі. Виконання елементів волокнистого шару зі зменшуваною за потоком щільністю упаковки сприяє безперешкодному осадженню біоплівки, що відірвалась. Після біореактора вода надходить на КФПЗ, перед яким вводиться реагент. У разі зростання сумарних втрат напору заряджається сифон і відбувається промивання установки. Сфера застосування – каламутність до 250 мг/дм^3, забарвленість до 200, вміст водоростей до 15 тис. кл/мол.

Біологічні процеси добре вписуються в традиційні технологічні схеми фізико-хімічного очищення та, у низці випадків, економічно виправдані. Однак може зменшитися санітарна надійність. Агрегати бактерій, що потрапляють у воду під час біологічного очищення, і бактерії, закріплені на носії, більш стійкі до знезаражування, ніж окремі клітини. Більша частина з них непатогенні, але виключити можливість патогенних мікроорганізмів не можна. Бактерії Coli не можуть у цьому випадку слугувати індикатором, більш надійним є загальне мікробне число (ЗМЧ). У фільтраті ГАВ за браком бактерій Coli виявляють більші кількості бактерій інших груп. Тому особливу увагу варто приділяти санітарно-гігієнічному контролю. Після біологічного очищення проводять хлорування з підвищеними дозами залишкового хлору, що може призвести до необхідності наступного дехлорування.

Очищення природної води з використанням ультрафільтраційних мембран та дискових фільтрів

На сьогодні багато уваги приділяється питанням інтенсифікації процесу очищення природних і стічних вод, удосконаленням їх технології та розробкам нових ефективних методів, що дозволять спростити існуючу технологію обробки води, скоротити трудомісткі процеси приготування і дозування реагентів, зменшити витрати на експлуатацію очисних споруд, збільшити їхню продуктивність, підвищити якість і зменшити собівартість очищеної води [8].

Але існуючі традиційні технології підготовки води, що містять процеси прехлорування, обробки коагулянтами і флокулянтами, освітлення, фільтрування на швидких піщаних фільтрах і заключного знезараження води хлором або озоном, не можуть забезпечити достатньо глибоке очищення води від антропогенних сполук. Використання традиційних технологій, дозволяє видаляти з води лише ті види хімічних забруднень, які знаходяться в вигляді суспензії, емульсій, колоїдів, або які здатні порівняно швидко переходити в нерозчинну форму під час обробки води реагентами, або сорбуватися на пластівчастому осаді, що утворюється під час коагуляції.

Удосконалення систем і споруд водопостачання, на сьогоднішній день [8], зводиться до адаптування класичних схем обробки вод без погіршення показників якості за рахунок впровадження нових споруд або додавання реагентів. І зміна технології фізико-хімічної обробки води за рахунок збільшення доз реагентів, що вводяться, застосування окиснювачів тощо не завжди призводить до очікуваного ефекту.

Запроєктовані і побудовані багато років тому очисні споруди для приготування питної води в подальшому будуть не здатні забезпечити якість питної води [2] через свою спрацьованість, а також зміни в гідрохімічному складі природних поверхневих джерел. Ці споруди потребують принципової реконструкції, модернізації, а можливо і взагалі заміни з впровадженням нових технологій очищення і підходів управління системою водопостачання. Сучасні технології очищення води (мембранні, сорбційні, каталітичні тощо) дозволяють очистити воду від забруднень різного характеру, з якими не впоралися існуючі очисні споруди водопостачання.

Мембранні технології і мембрани як її основний елемент останнім часом набули широкого поширення в практиці для очищення, розділення і концентрування розчинів [8]. В останні десять-п’ятнадцять років і в нашій країні, в процесах обробки природних і стічних вод, мембранні процеси отримали вельми широке застосування. Серед мембранних процесів інтенсивно

розвиваються барометричні (мікро-, ультрафільтрація і зворотний осмос), рушійною силою яких є різниця тисків по обидві сторони мембрани.

Спектр поділу мембран, що використовуються для очищення води, варіюється від зворотного осмосу і нанофільтрації для видалення розчинених речовин до мікрофільтрації і ультрафільтрації для видалення частинок і патогенних мікроорганізмів.

На підставі проведених досліджень і аналізів сумісно з ТОВ «Водопроект» Харкова [8, 9], можна зробити висновок, що з усіх мембранних технологій і мембран для водопідготовки питної води з поверхневих джерел необхідно обирати ультрафільтрацію з розміром пор приблизно 0,02 мкм. Тому що, ультрафільтрація – це мембранний процес низького тиску, який забезпечує практично повний бар'єр проти частинок, розмір яких перевищує розмір пор, тобто високомолекулярних органічних речовин (гумінові та фульвокислоти), завислих і колоїдних речовин, бактерій і набагато більш дрібних вірусів, зазвичай наявних у питній воді.

Механізм поділу ультрафільтраційних мембран відрізняється від традиційних пристроїв обробки, таких як фільтри з нерухомим шаром. Фільтри з завантаженням мають значно більший номінальний розмір пор і засновані на механізмі гравітаційної фільтрації.

Порівняно зі звичайною фільтрацією ультрафільтрація працює з механізмом видалення поверхнею, яка нагадує дрібне сито з дуже однорідним розміром пор. Будь-які частинки, що перевищують розмір пор, затримуються. Ця функція робить ультрафільтраційну мембрану ідеальною для збору вище перелічених забруднень.

В останні 10–15 років на світовому ринку з'явилися промислово освоєні, комерційно доступні та надійні системи ультрамікрофільтрації, спеціально призначені для роботи в складі систем очищення природних вод [10].

Деякі системи ультрамікрофільтрації дозволяють очищати не тільки природні води, але і дренажні та промивні води водопровідних станцій в необмежених обсягах до якості питної води з подачею її безпосередньо споживачеві, що виключає необхідність реалізації традиційних оборотних схем очищення цих вод.

Однією з таких систем є T-Rack® компанії Inge watertechnologies AG, яка, зі свого боку, є провідним світовим постачальником технології ультрафільтрації, мембранного процесу, що використовується для очищення питної води, стічної води і морської води [9].

Система T-Rack® розроблена компанією Inge watertechnologies AG, є революцією в технології ультрафільтрації, яка перетворена на надкомпактну стелажну систему, що оснащена модулями dizzer®.

Під час очищення води мембрани ультрафільтрації пропонуються в широкому асортименті різних конфігурацій і різних характеристик. Для очищення поверхневих вод в системах обробки питної води використовуються ультрафільтраційні мембрани Multibore®, які виробляються у вигляді порожніх волокон.

Більшість комерційних порожнистих волокон пропонуються у вигляді окремих волокон з внутрішнім діаметром 0,8 мм або менше. Для води з високим вмістом зважених частинок навантаження досягає 1,5 мм. Діаметр волокна Multibore® зроблено так, що він одночасно є оптимальним з високою щільністю упаковки в модулі, ефективним для зворотної промивки, з низькою схильністю до органічного забруднення, низькими експлуатаційними витратами, високою проникністю і в той же час гарною механічною міцністю, що забезпечує цілісність мембрани.

Основною проблемою залишається цілісність мембрани, яка безпосередньо порушується через розрив волокон. Через свою однорідну структуру волокна з одним розміром отворів особливо тендітні в умовах напружень, які вони відчувають в частих циклах зворотної промивки.

Волокно Multibore® зводить до мінімуму ймовірність розриву волокна, об’єднуючи 7 капілярів в одне волокнисте волокно, що значно підвищує механічну міцність і гарантує цілісність [9].

Мембранний матеріал ультрафільтраційної мембрани Multibore® охоплюють діапазон від повністю гідрофільного («зв’язує воду») до повністю гидрофобного («водовідштовхувального»), де поліефірсульфон (PES) враховує обидві крайнощі. Однак характеристики PES роблять його ідеальним для змішування з іншими полімерами для зміни властивостей мембрани в міру необхідності. Шляхом змішування з гідрофільними полімерами гідрофільність PES може бути збільшена, отримуючи перевагу мембрани з ацетату целюлози (CA), уникаючи недоліків, а саме здатність до біорозпаду і погану толерантність до pH, що ускладнює очистку.

PES стійкий до хлору до 200 000 год/млн, може витримувати надзвичайно широкий діапазон pH від 1 до 13, що призводить до дуже гарного очищення неорганічних і органічних речовин. Органічне забруднення викликані розчиненої органікою, безумовно, найпоширеніша причина в мембранної технології.

PES дозволяє дуже ефективно видалити це органічне забруднення мембран, використовуючи pH 12 або вище в зворотних системах очистки.

Подача вихідної води в мембрану може бути або введена всередину капілярного просвіту з відбором фільтрату з зовнішньої оболонки (зсередини), або вона може бути подана в оболонку, з фільтратом, узятим зсередини капіляра (зовні-всередину).

Під час режиму фільтрації процесу входу-виходу капіляри протікають зсередини-назовні з напрямком потоку, зворотним під час зворотного промивання. Набагато більш високий потік під час зворотного промивання надходить на зовнішню поверхню волокна. Це забезпечує рівномірний потік розподілу по всій довжині волокна, що має вирішальне значення для ефективності видалення забруднень з просвіту волокна.

Конфігурація «вхід – вихід» має дуже низький об'єм забрудненої промивної води, так як промивна вода надходить всередину волокон, обсяг яких набагато менше, ніж обсяг зовні волокон. Це робить економічним проведення зворотних промивок за відносно коротких інтервалів, щоб запобігти утворенню обростання шару з самого початку. Результатом є низький робочий тиск і дуже рідкісне хімічне очищення мембран в автономному режимі.

Крім того, стічні води зворотного промивання можуть повністю виходити через капілярні канали.

На підставі зробленого аналізу і проведених досліджень можна зробити висновки щодо застосування сучасної технології двоступеневої ультрафільтрації на мембранах компанії Inge watertechnologies AG:

1. Забезпечує ефект очищеної води у разі знижених доз коагулянту і без використання додаткових стадій обробки води.

Обробляє воду з високою каламутністю без погіршення якості фільтрату і для роботи такої установки досить незначного тиску 0,5–1 бар, тому енергоспоживання таких систем дуже низьке.

3. Вирішить екологічну проблему, щодо обробки осаду і зниження вмісту алюмінію в ньому.

4. Зменшить витрату води на власні потреби. Після промивки ультрафільтраційних мембран, обсяг води, що скидається становить всього 2–5 % від обсягу фільтрату.

5. Дозволяє відмовитися від первинного хлорування, що зменшує небезпеку утворення хлорорганічних сполук.

6. Знижує загальну хлороємність очищеної питної води і дозу хлору. Завдання хлорування очищеної води зводиться до захисту від повторного розмноження бактерій у водопровідній мережі.

То розглянемо пропозиції, які були викладені у науковій роботі [10], з застосуванням ультрафільтрації з мембранами Inge watertechnologies AG для водопровідній станції «Донець».

Під час реконструкції водоочисної станції пропонується повністю змінити технологію водопідготовки поверхневого водозабору на сучасні методи ультрафільтрації.

Нові технології містять:

а) механічна попередня очистка – фільтрація великих часток до 200 мікрон за допомогою автоматичних дискових фільтрів;

б) ультрафільтрація – мембранна технологія попереднього очищення (чистота 0,02 мкм); ультрафільтраційні мембрани очищують воду, зменшують вміст органічних забруднень і видаляють мікроорганізми, віруси та бактерії;

в) очищення промивних вод: мембранна фільтрація промивних вод на установках з використанням спеціальних ультрафільтраційних мембран, призначених для води з високим вмістом зважених речовин;

г) зневоднення осаду з водоочисних споруд – попереднє концентрування за допомогою ультрафільтраційних мембран на другому етапі та механічне зневоднення осаду, що утворився на попередньому етапі очищення.

На місці існуючої фільтрувальної станції № 1 «Донець» пропонується будівництво нової водоочисної станції продуктивністю 450 000 м^3/добу на основі новітньої технології двоступеневої ультрафільтрації з використанням мембран BASF Inge [9]. Ця водоочисна станція забезпечить достатній ступінь очищення води з гарантованою якістю води для споживачів протягом року без збільшення гідравлічного навантаження на очисні споруди та вирішить екологічну проблему обробки осаду і зниження вмісту в ньому алюмінію.

На підставі проведених аналізів та досліджень з використання новітньої технології двоступеневої ультрафільтрації з мембранами від компаній [8] та Inge water technologies AG [9, 10] можна зробити такі висновки:

1. Дозволяє зменшити дозування флокулянтів і забезпечити ефект очищеної води без використання додаткового ступеня водопідготовки.

2. Має дуже низьке енергоспоживання, оскільки достатньо низького тиску від 0,5 бар до 1 бар.

3. Вирішує екологічні проблеми під час обробки осаду та зменшує вміст алюмінію в осаді.

4. Зменшує необхідне споживання води. Після очищення ультрафільтраційної мембрани кількість води, що скидається, становить лише 2–5 % від об'єму фільтрату.

5. Знижує ризик утворення хлорорганічних сполук, оскільки первинне хлорування можна не проводити.

6. Загальний вміст хлору в обробленій питній воді може бути зменшений і відповідно зменшена доза хлору. Метою хлорування обробленої води є запобігання повторному розмноженню бактерій у водопровідній мережі.

Тому можна стверджувати, що будівництво нової водоочисної станції на основі новітньої технології двоступеневої ультрафільтрації з використанням мембран Inge BASF є дуже економічно доцільним. Термін окупності проєкту за рахунок скорочення витрат на водопідготовку становить від чотирьох до шести років, залежно від тарифу на воду. Водночас проєкт вирішує проблему забезпечення споживачів якісною водою протягом усього року, а також екологічні проблеми переробки осаду та зменшення вмісту алюмінію.

Зараз в Україні за такою технологією планується реконструкція очисних водопровідних споруд у Дніпрі ТОВ «Інжинірингова компанія ТВК», у Харкові, Україна, а також було розроблено технічну пропозицію реконструкції водопровідної станції «Дніпровської» у Києві з прорахуванням застосування такого обладнання.

Зі встановленням ультрафільтраційних мембран, але з іншим обладнанням проєктується будівництво у Світловодську Кропивницької області водопровідної очисної станції, яка подає воду у Кропивницьке. Це дуже вартісні проєкти, тому треба добре зважити і зробити техніко-економічне обґрунтування усіх можливих варіантів модернізації і реконструкції водопровідних очисних станцій.

Використання озону в якості окиснювача під час очищення природних вод

Основною тенденцією в розвитку хімічної технології на сучасному етапі є інтенсифікація виробничих процесів і зменшення кількостей побічних продуктів, стічних вод і викидів в атмосферу [8]. У хімії і технології отримали широкий розвиток різні окисні процеси, що використовують кисень або мінеральні окиснювачі (солі хромових кислот, перманганат тощо). Одним з перспективних напрямків отримання промислово-важливих продуктів слугує використання в якості окиснювача озону. Він є більш енергійним окиснювачем, ніж згадані вище; крім того, використання озону дозволяє уникнути утворення

великої кількості мінеральних відходів, відділення яких від продуктів реакції і утилізації вимагають великих додаткових витрат.

Озон також виявився виключно хорошим засобом для знезараження питної води, очищення промислових стічних вод і викидів в атмосферу від шкідливих домішок (тетраетилсвинцю, фенолів, ціанідів тощо) [8]. У зв'язку з ясно відчутною тенденцією отруєння біосфери відходами промислових виробництв роль озону як санітара навколишнього середовища найближчим часом буде зростати.

Володіючи високим окислювально-відновним потенціалом озон проявляє високу реакційну активність щодо різного роду домішок води, включно зі з'єднаннями, що біологічно не розкладаються, і мікроорганізмами. Під час взаємодії озону з домішками води протікає процес їх окислення. Відносно мікроорганізмів, наявних у воді озон проявляє бактерицидні властивості, крім того молекули озону, що розклалися, але не вступили в реакцію, збагачують воду розчиненим киснем.

Актуальним напрямом охорони навколишнього середовища стає запобігання забруднення природних вод біологічно стійкими органічними речовинами і важкими металами, які надають значний негативний вплив на біохімічний режим водойм.

Ефективна боротьба з забрудненнями у водоймах і використання озону для синтезу різних з'єднань, очищення води і повітря неможливі без детального дослідження кінетики і механізму реакцій озону [8].

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. Що має на увазі безтраншейний ремонт локальних ушкоджень водопровідних трубопроводів?

5. Яке Ви знаєте безтраншейне ущільнення нещільних з'єднань водопровідних труб?

6. Окресліть методи посилення змішування води з реактивами.

7. За яких обставин застосовують перфоровані, струменеві та дифузійні розподільники реагентів?

8. Який розподільник буде оптимальним для додавання вапна?

9. Покажіть схему розміщення розподільника реагентів у вихровому змішувачі та контактній камері.

10. У яких випадках рекомендується аерація в змішувачі?

11. Що таке градієнт швидкості?

12. Визначте переваги механічних змішувачів порівняно з гідравлічними.

13. Чи є взаємозв'язок між інтенсивністю перемішування та тривалістю фільтрувального циклу?

14. Наведіть перелік методів інтенсифікації освітлювачів із шаром мулу, відстійників.

15. Які фактори можуть зумовлювати розбіжність між проєктною та реальною швидкостями руху води в камерах флокуляції, відстійниках, освітлювачах?

16. Як досягти кращого розподілу та збору води в горизонтальному відстійнику?

17. Що здатне спричинити низький коефіцієнт об'ємного використання споруд?

18. Зобразіть схеми камер флокуляції з контактним середовищем.

19. Принцип очищення води тонким шаром.

20. Створіть схему розташування тонкошарових модулів у відстійниках та освітлювачах.

21. З якою метою застосовують тонкошарові модулі в зоні ущільнення осаду освітлювачів із шаром завислого мулу?

22. Перерахуйте способи оптимізації видалення осаду з горизонтального відстійника.

23. За яких умов актуальне застосування рециркуляції осаду? Наведіть схему рециркулятора.

24. Які переваги має система донних клапанів порівняно з гідравлічним способом видалення осаду з відстійників?

25. Окресліть методи, що дозволяють прискорити процес фільтрування.

26. Де здатність утримувати забруднення більша: у швидкому фільтрі чи в контактному освітлювачі?

27. Який наповнювач доцільно використати в контактному освітлювачі: керамзит чи пісок?

28. Зобразіть можливі варіанти двоступінчастого фільтрування. Які переваги має схема «контактний освітлювач – швидкий фільтр»?

29. Як розраховують тривалість роботи фільтра першого ступеня в згаданих схемах?

30. Проведіть порівняльний аналіз функціонування фільтра з постійною та змінною швидкістю.

31. Як обчислити тривалість фільтроциклу швидких фільтрів, що працюють зі змінною швидкістю?

32. Чи можливо збільшити швидкість фільтрування, замінивши піщаний наповнювач на цеолітовий?

33. Вкажіть недоліки промивання фільтрів водою.

34. Перерахуйте ефективні методи промивання швидких фільтрів.

35. У яких випадках рекомендується пульсуюче промивання?

36. Оцініть позитивні та негативні сторони водоповітряного промивання.

37. Чому фільтр із черговим промиванням може працювати з більшою швидкістю, ніж фільтр із водяним промиванням?

38. Запропонуйте схему безгравійного поруватого дренажу для модернізації швидкого фільтра з черговим промиванням.

39. Покажіть конструкцію системи видалення промивної води у разі водоповітряного промивання.

40. Чим пояснюється низька результативність знезараження води хлоруванням?

41. Які існують способи для покращення процесу знезараження води?

42. За яких обставин доцільно застосовувати хлорамінування води?

43. Яка технологічна послідовність обробки води з використанням озону?

44. Які альтернативні методи знезараження, окрім хлорування, вам відомі?

45. Чому одночасно з озонуванням води використовують також хлорування?

46. Які методи знезараження води ефективно знищують віруси?

47. Що радить сучасна практика як заміну для первинного хлорування?

48. Коли є можливість використовувати для знезараження питної води виключно УФ-лампи?

49. За допомогою якого сучасного обладнання можна модернізувати або реконструювати існуючі водопровідні очисні споруди?

50. Чому для очищення природної води поверхневих джерел використовують ультрафільораційні мембрани?

51. Для чого застосовують дискові фільтри під час очищення питної води?

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2
МОДЕРНІЗАЦІЯ І РЕКОНСТРУКЦІЯ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Тема 5 Модернізація і реконструкція водовідвідних мереж

Причини, що спричиняють необхідність модернізації і 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);

5) 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);

6) 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).

Задачі реконструкції існуючих водовідвідних мереж

Задачі реконструкції мереж обумовлені причинами, що спричиняють необхідність їхньої 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 модернізації і 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 модернізації і 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 проєктування 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. Дощові води збираються у відкриті лотки, кювети і канали і найкоротшим шляхом відводяться у водойму без очищення, що завдає шкоди водоймі, тому що дощові 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 дощові і талі води і найкоротшім 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 дощових 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 [12], 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.

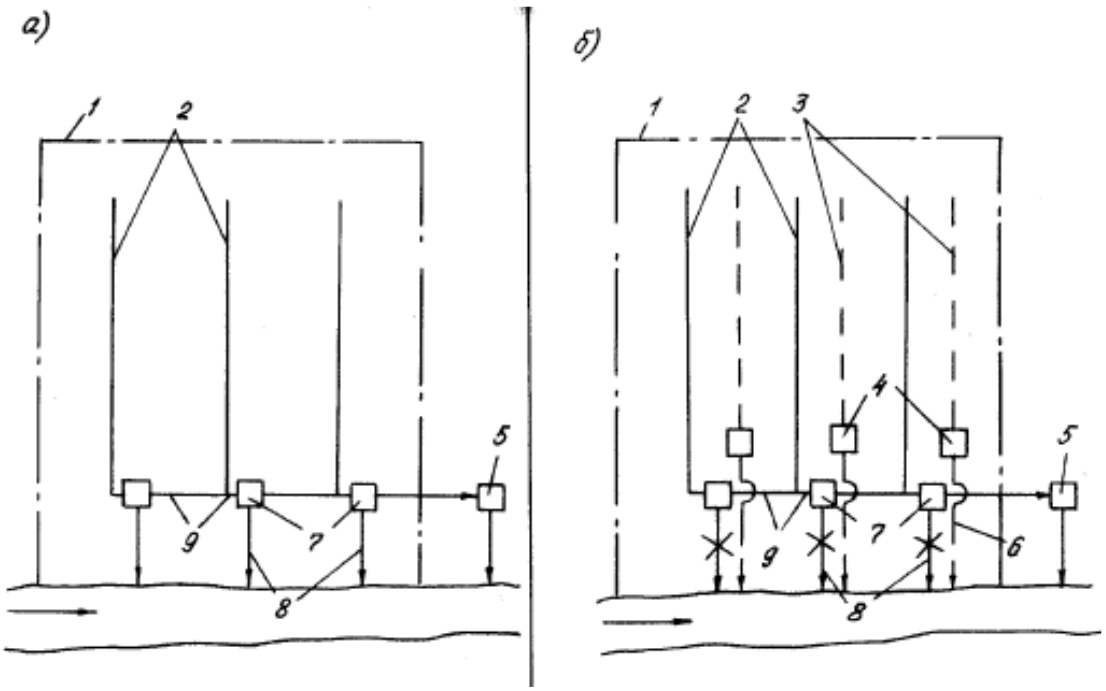
Варіант III, так само як варіант II, передбачає будівництво нового підземного головного колектора дощової мережі і розділових камер на існуючих дощових мережах, через які найбільш брудні порції дощової води будуть скидатися в головний колектор дощової мережі і по ньому відводитися під новозбудований 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 5.1, 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 5.1 – 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 споруджений 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 пропускна здатність їх в нових умовах недостатня, то для вирішення поставленого завдання (збільшення пропускної 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 пропускної 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 пропускної 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 пропускна здатність і зросли втрати напору в них) насамперед необхідно прочистити трубопроводи, тобто відновити їхню пропропускну 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 пропускна 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 прокладати 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 пропускна 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 пропускної здатності трубопроводів і усунення дефектів існуючих мереж.

Найбільш простим і менш дорогим способом відновлення пропускної 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 5.2 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 неї простягається нова (5). В якості нового трубопроводу використовуються або короткі патрубки (довжиною до 1,5 м), які монтуються 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. 5.2). За допомогою цього методу в Харкові були успішно відновлені колектори з чавунних, бетонних, залізобетонних і навіть дерев'яних труб діаметром 200–300 мм [1].

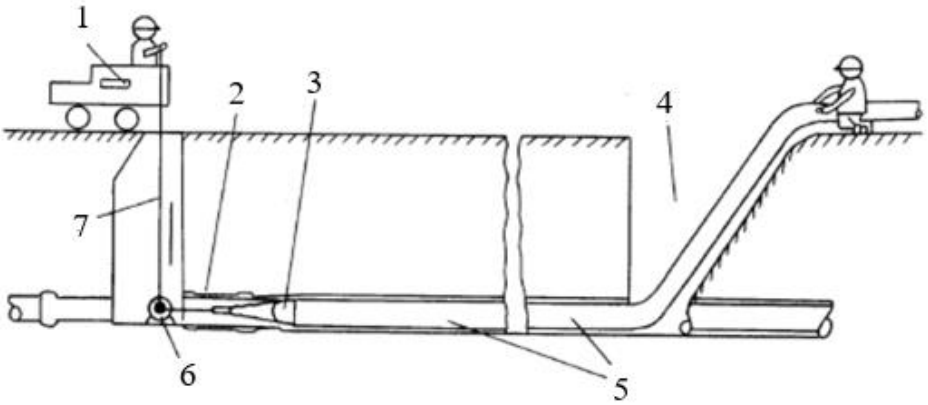


Рисунок 5.2 – Схема відновлення водовідвідних трубопроводів методом руйнування існуючого колектора:
1 – лебідка; 2 – існуючий старий дефектний трубопровід, який підлягає відновленню; 3 – пневмопробійник; 4 – траншея; 5 – гнучка поліетиленова або вініпластова нова труба; 6 – напрямний блок; 7 – трос

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 вініпластова 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 5.3. 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).

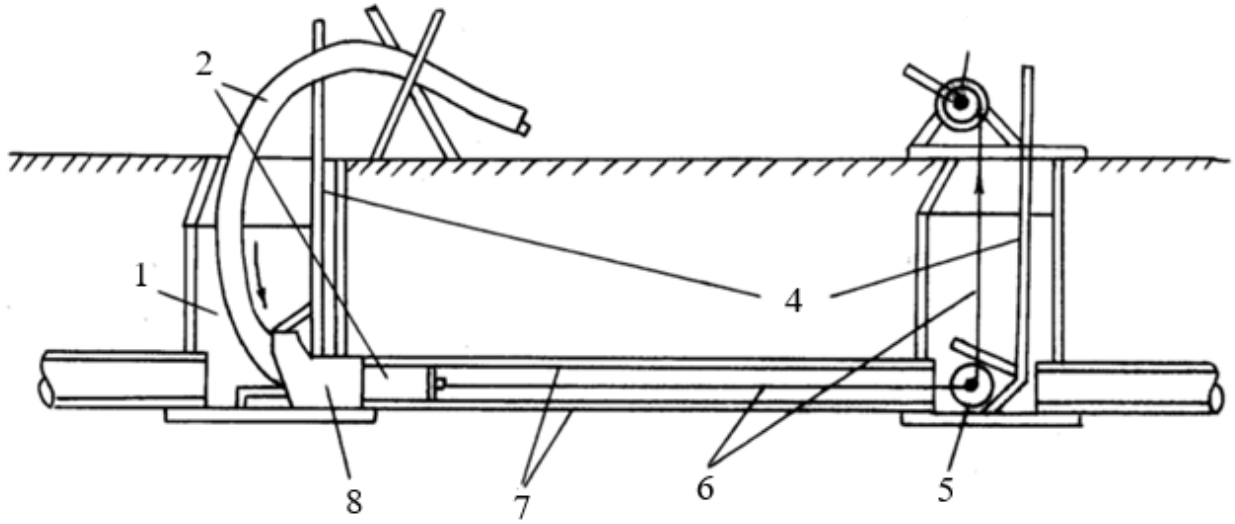


Рисунок 5.3 – Схема відновлення водовідвідних колекторів методом «Флексорен»: 1 – колодязі на існуючій сітці; 2 – гнучка труба фірми «Упорон»; 3 – лебідка; 4 – упори; 5 – напрямний блок; 6 – трос; 7 – трубопровід, що ремонтується; 8 – напрямний пристрій

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» [1]. 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 5.4.

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.

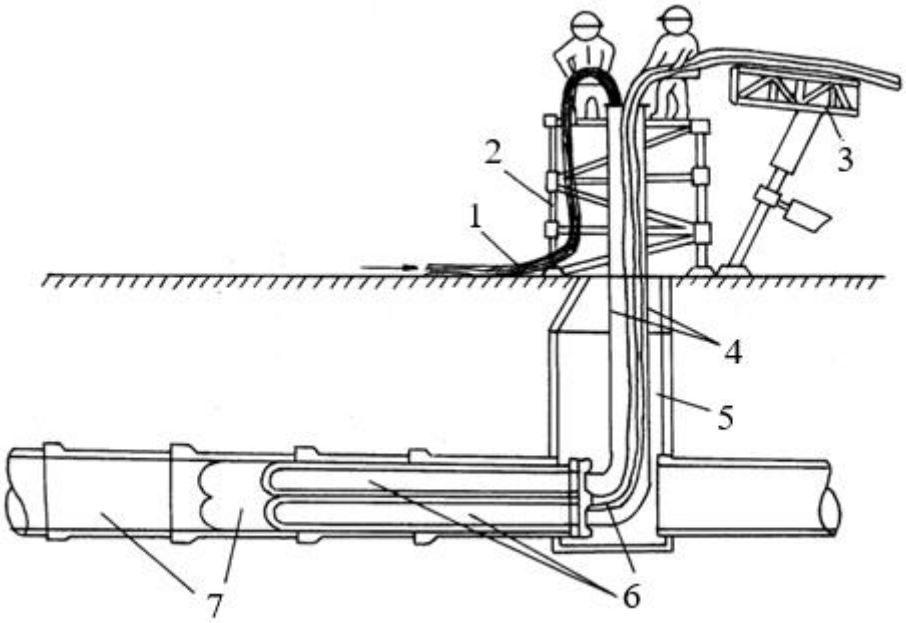


Рисунок 5.4 – Технологічна схема відновлення існуючих водовідвідних трубопроводів методом «Інсітуформ»:
1 – шланг для заповнення водою; 2 – монтажна вишка; 3 – конвеєр для подання гнучких рукавів у напрямну трубу; 4 – напрямна труба; 5 – оглядовий колодязь на існуючій водовідвідній мережі; 6 – гнучкий рукав («панчоха») з нетканого матеріалу; 7 – відновлюваний водовідвідний колектор

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 (6) у потрібне положення термостійкий шланг під'єднують до напірного патрубка 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 5.5.

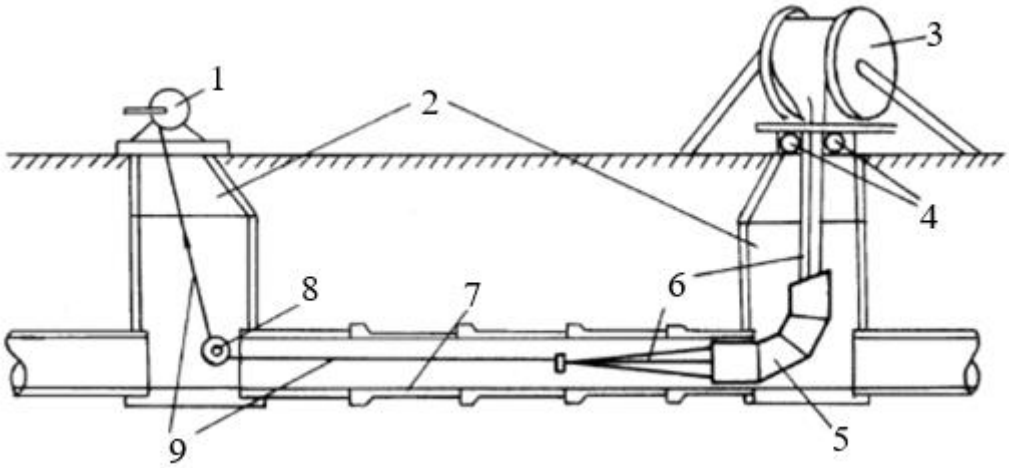


Рисунок 5.5 – Технологічна схема відновлення водовідвідного колектора методом «Троллайнінг»:
1 – лебідка; 2 – оглядові колодязі на існуючій водовідвідній мережі; 3 – барабан із намотаним поліетиленовим рукавом; 4 – напрямні ролики; 5 – напрямна труба; 6 – поліетиленовий рукав; 7 – відновлюваний колектор; 8 – напрямний блок; 9 – трос

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 (6), попередньо виготовлений за формою труби і складений у поздовжньому напрямку; поліетиленовий рукав (6) 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 ремонтованій 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.

На рисунку 5.6 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 [1].

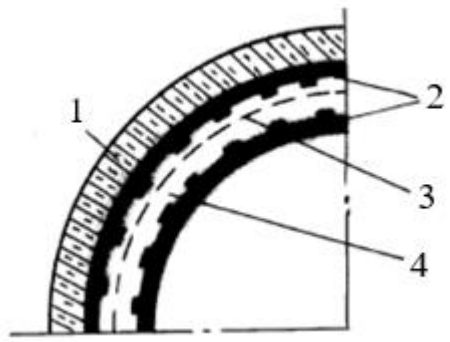


Рисунок 5.6 – Перетин водовідвідного колектора, відновленого за допомогою методу «Троллайнінг»:
1 – стара труба; 2 – поліетиленові рукава;
3 – поліетиленова сітка; 4 – мінералізований бетон (розчин)

Контрольні питання

1. Назвіть основні методи санації систем транспортування води.
2. Назвіть шляхи збільшення пропускної здатності існуючих колекторів.
3. Опишіть варіанти реконструкції існуючої неповної роздільної системи водовідведення в повну роздільну.
4. Які способи реконструкції існуючих водовідвідних мереж ви знаєте?
5. Наведіть способи реконструкції існуючих водовідвідних мереж.
6. Назвіть причини, що спричиняють необхідність реконструкції водовідвідних мереж.

7. Опишіть схему реконструкції існуючої загальносплавної системи водовідведення в напівроздільну.

8. Опишіть технологію демонтажу трубопроводу та заміни його на новий.

9. Опишіть технологію усунення старого трубопроводу та ґрунту навколо нього.

Тема 6 Модернізація і 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 ввімкнення. 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:

$$W_{\text{рез}\,min} = \frac{W_{\text{год}\,min}}{n}\left(1 - \frac{Q_{\text{год}\,min}}{Q_{\text{н.ст}}}\right), \qquad (6.1)$$

де $W_{\text{год}\,min}$ – обсяг стічних вод на годину мінімального припливу (чисельно збігається з $Q_{\text{год}\,min}$), м^3;

n – кількість увімкнень насосів за одну годину;

$Q_{\text{год}\,min}$ – мінімальний годиний приплив стічних вод за добу, м^3/год;

$Q_{\text{н.ст}}$ – подача насосної станції, м^3/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. 6.1):

$$H = H_{\text{ст}} + h_{\text{нс}} + h_{\text{вод}} + h_{\text{нв}} + h_{\text{вил}}, \qquad (6.2)$$

де H – необхідний тиск насосів, м;

$H_{\text{ст}}$ – статичний напір насосів, м.

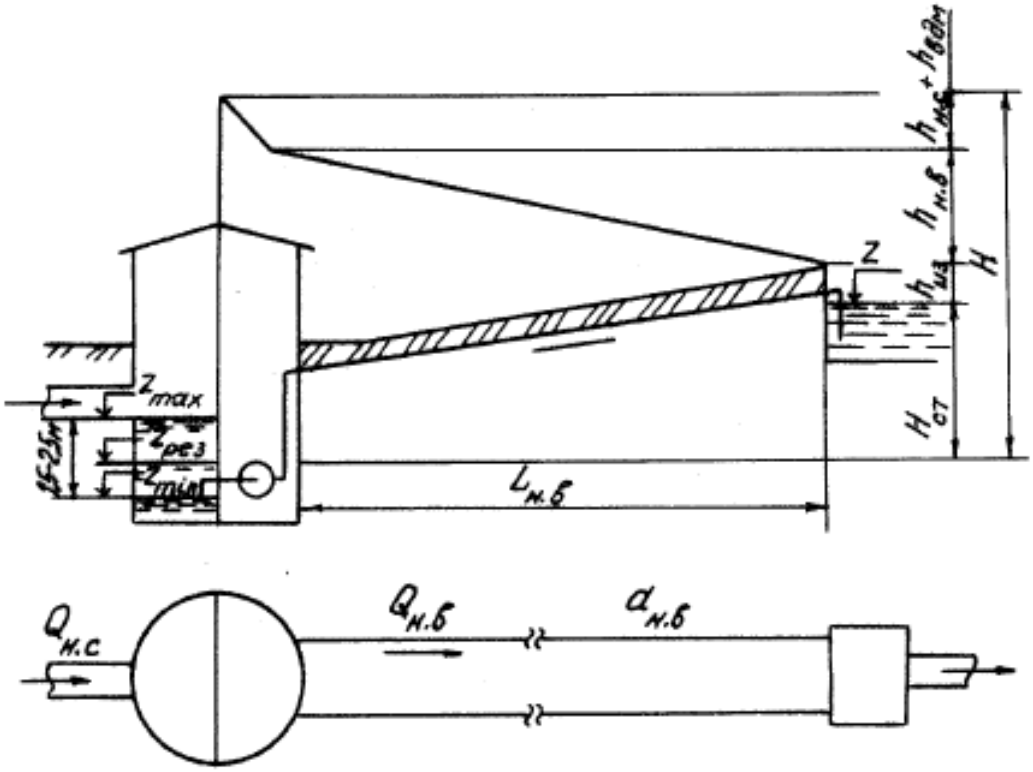


Рисунок 6.1 – Схема до визначення напору насосів станції водовідведення

$$H_{\text{ст}} = Z + Z_{рез}, \qquad (6.3)$$

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;

$h_{нв}$ – втрати напору у напірних водоводах, м;

$h_{вил}$ – втрати напору на вилив у приймальну камеру, що обираються рівними 0,5 м.

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 6.1 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 6.1 – 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^2	0,785	1,55	2,55	3,8	7,1

На рисунку 6.2 наведені сфери застосування заглибних 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.

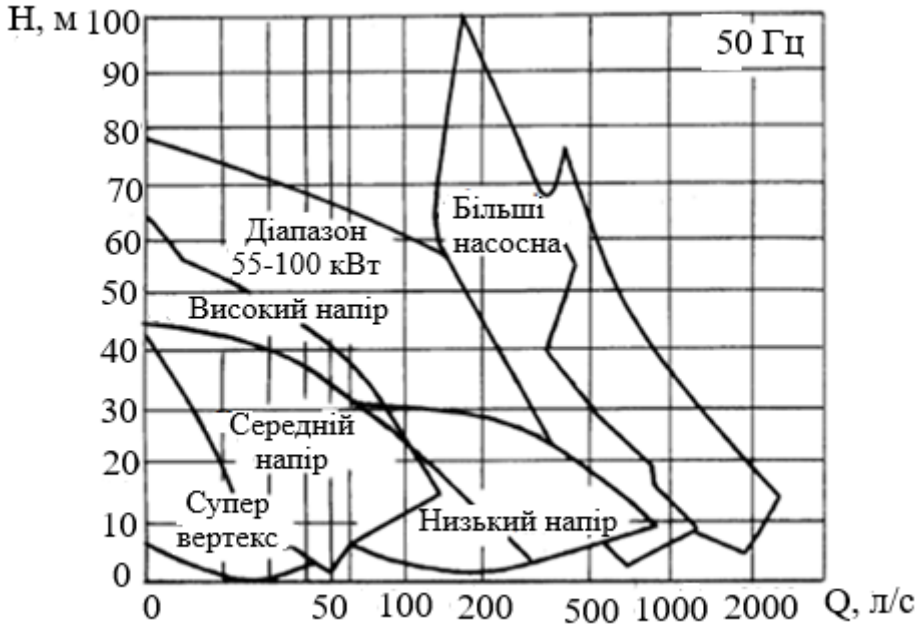


Рисунок 6.2 – Сфера застосування насосів фірми «Сарлін» (Фінляндія)

Є досвід з встановлення глибинних насосів фірми «Сарлін» під час реконструкції насосних станцій системи водовідведення [13]. Реконструкція полягала в розміщенні на існуючих каналізаційних насосних станціях (КНС) комплектних насосних станцій. На рисунку 6.3 показана насосна станція системи водовідведення після реконструкції.

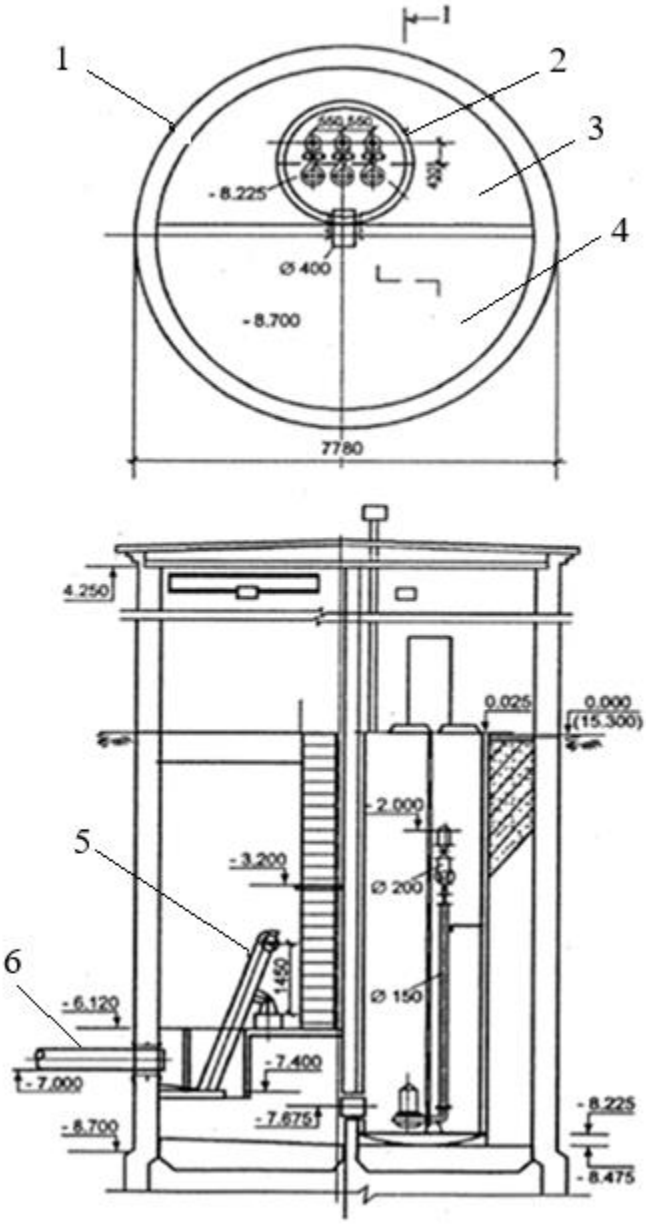


Рисунок 6.3 – Схема насосної станції «Сарлін» із мокрою установкою насосів: 1 – існуюча будівля КНС; 2 – комплектна насосна станція «Сарлін»; 3 – машина зала; 4 – приймальний резервуар; 5 – механічна решітка; 6 – колектор, що подає

У будівельній частині існуючої КНС розміщена комплектна насосна станція діаметром 2,2 м із трьома зануреними насосами S1174H1 (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.

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^3/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 6.2 наведені характеристики насосних станцій систем водовідведення, обладнаних зануреними насосами марки CP фірми «Флюгт».

Таблиця 6.2 – Робочі насосні станції системи водовідведення фірми «Флюгт»

Марка насоса	Продуктивність *Q*, м^3/год	Напір H, м	Потужність *N*, кВт	Діаметр напірного патрубка *D*, мм
1	2	3	4	5
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

Продовження таблиці 6.2

1	2	3	4	5
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

Фірма «Флюгт» пропонує конструкції насосних станцій як з мокрою (рис. 6.4) [4], так і з сухою (рис. 6.5) [14] установкою насосів.

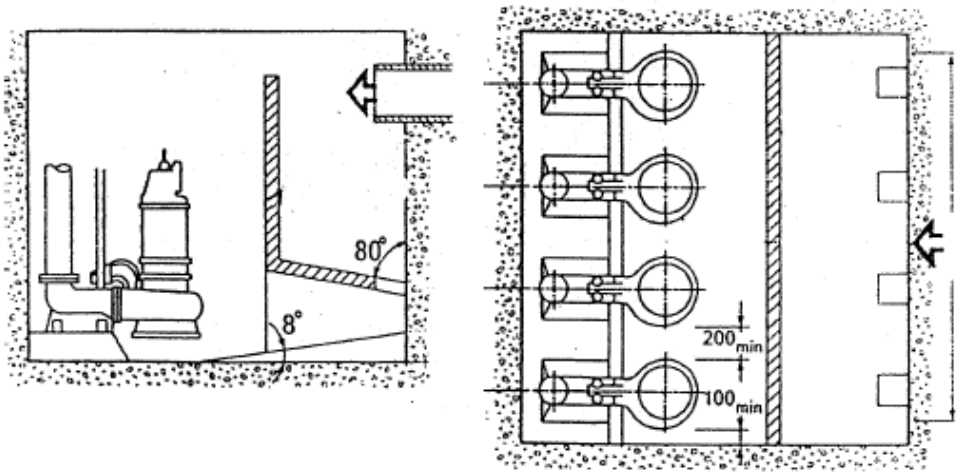


Рисунок 6.4 – Схема насосної станції «Флюгт» з мокрим встановленням насосів

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^3/год і 7 000 м^3/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.

Рисунок 6.5 – Насоси фірми «Флюгт» сухої установки [14]

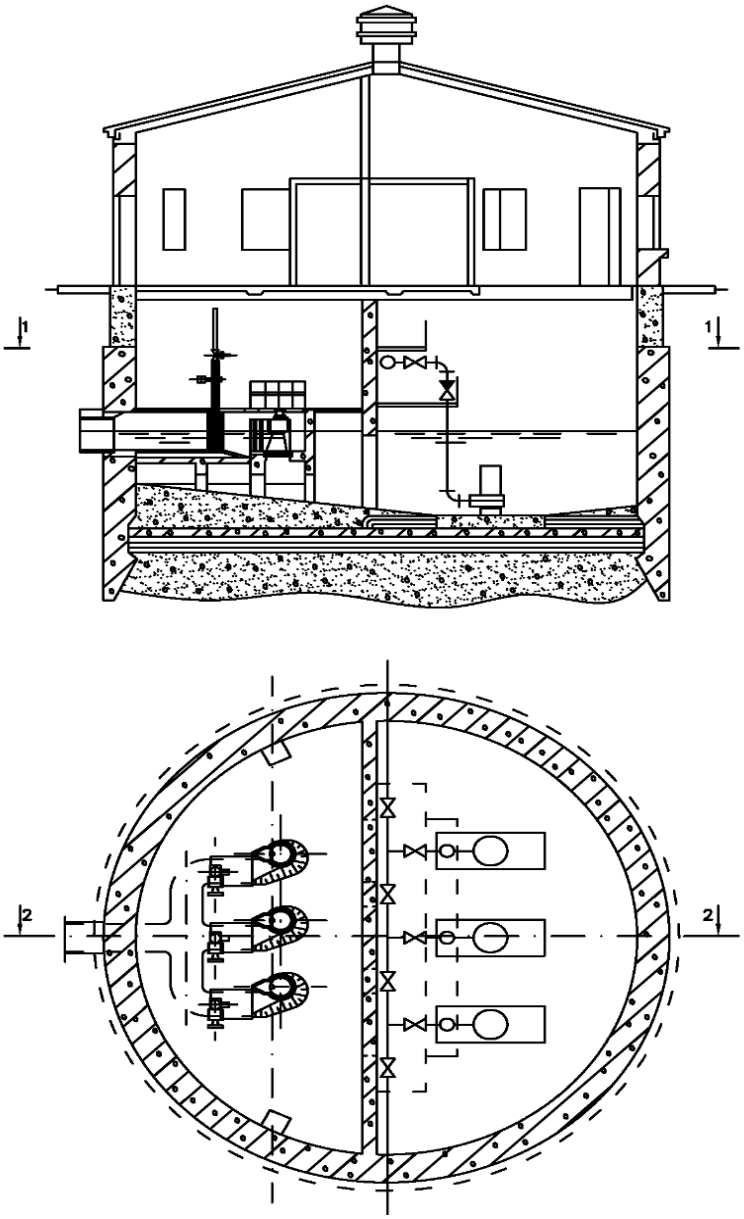


Рисунок 6.6 – Каналізаційна насосна станція із використанням у якості приймального резервуара всього обсягу колодязя і влаштуванням занурених насосів

Тому застосування заглибних насосів під час реконструкції насосних станцій систем водовідведення є найбільш ефективним рішенням.

Реконструкція насосних станцій перекачування стічних вод здійснюється за окремим проєктом 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].

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 (див. рис. 6.6). Водночас демонтується переділка між резервуаром і машинним залом.

Контрольні питання

1. Яку інформацію про діючі споруди потрібно знати для реконструкції систем водовідведення?
2. Навіщо потрібні дані досліджень про систему 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)?

Тема 7 Модернізація і реконструкція очисних споруд водовідведення

Модернізація і реконструкція роботи 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» [15], 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 [1, 14, 15]. 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 транспортуючий пристрій або у збірник відходів. Решітки призначені для використання в стічних водах із pH = 6,5–8,5.

Решітки-дробарки «Грізлі» призначені для подрібнення крупних відходів у виробничих та господарсько-побутових стічних водах [15]. 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 pH = 6,5–8,5.

Модернізація і 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 дослідами, 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. 7.1).

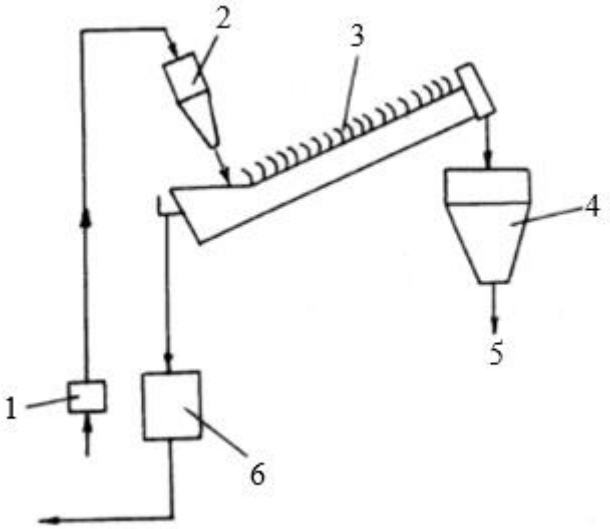


Рисунок 7.1 – Схема обробки осаду з піскоуловлювача:

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

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.

Модернізація і 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.

Проєктування тонкошарових відстійників і умови їхнього застосування детально розглянуті в темі 4, де розглядаються відстійники для оброблення природної води.

Попередня аерація і біокоагуляція здійснюються зазвичай у спеціальних спорудах: преааераторах, біокоагуляторах або в освітлювачах із природною аерацією. Тут наводяться тільки їх основні дані. Преааератори застосовуються перед первинними відстійниками переважно на очисних станціях з аеротенками. Вони можуть бути у вигляді окремих споруд або вбудованими, наприклад, у горизонтальні відстійники. У преааераторів 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 преааератор 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^3 на 1 м^3 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

$$W_k = q_s \cdot t_n, \tag{7.1}$$

де q_s – витрата стічних вод, що припадає на один відстійник, м^3/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

$$q_{ss} = \frac{q_s}{f_{\text{від}}} \leq 3\ \text{м}^3/\text{м}^3 \cdot \text{год}, \quad (7.2)$$

де $f_{від}$ – площа поверхні зони відстоювання, м^2.

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 модернізація зі 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, 16]. На рисунку 7.2 зображений вертикальний відстійник, переобладнаний під флотаційні біокоагулятори.

Сутність флотації полягає в насиченні стічних вод у процесі відстоювання бульбашками повітря. Для цього частина відстояної 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 кг/м^3, тому подібні споруди називаються флотаційними біокоагуляторами.

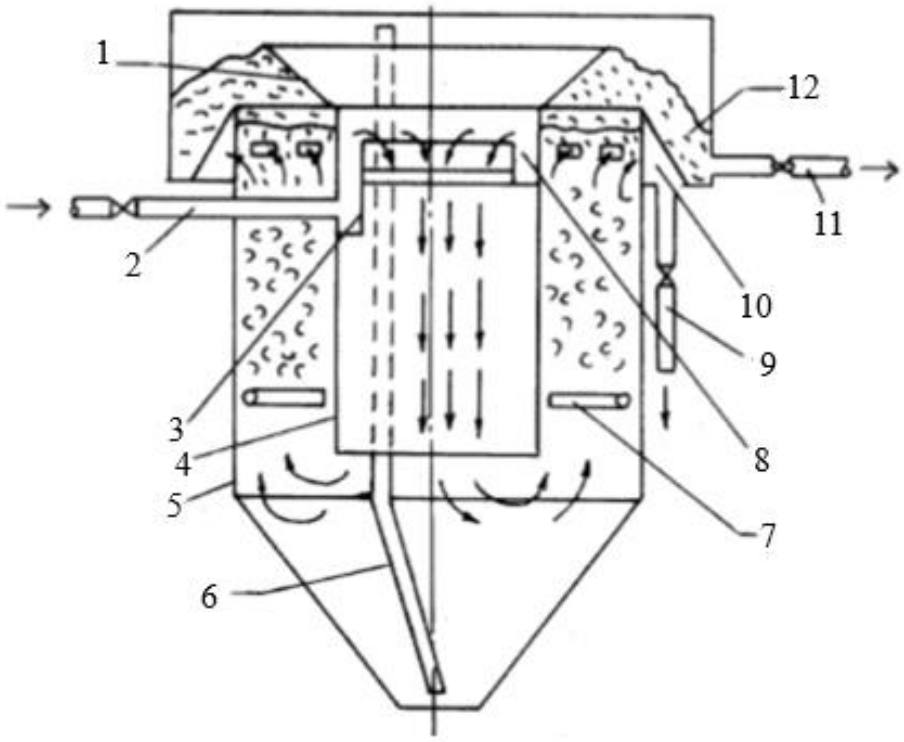


Рисунок 7.2 – Вертикальний флотаційний біокоагулятор:
1 – козирок для відділення шламу; 2 – підвідний трубопровід стоків;
3 – відбивач; 4 – центральний циліндр біокоагулятора; 5 – стінки відстійника;
6 – мулова труба для видалення осаду; 7 – аератори для розподілу повітря;
8 – розподільний лоток для подачі води; 9 – трубопровід для відведення освітленої води; 10 – жолоб для збору води після біокоагулятору;
11 – трубопровід для відведення піни; 12 – жолоб для збору піни

На флотаційні біокоагулятори зазвичай відводиться до 70 % кількості стічних вод, інші води подаються у звичайні відстійники. Ефект затримання забруднених речовин досягає 70 %, водночас БСК$_{20}$ 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 л/(м·с) до 5 л/(м·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 неіржавної сталі, але в останні роки їх рекомендують виготовляти з пластмас хвилястого профілю. Такі водозливи випускаються фірмою «Екополімер» [1]. Такий водозливний лоток із пластмаси дозволяє поліпшити розподіл води по довжині водозбору, збільшити коефіцієнт використання відстійника, вирівняти гідродинамічні навантаження для групи відстійників.

Модернізація і 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 здебільшого не поліпшується. Залишковий $БСК_{20}$ навіть після заміни завантаження на пластмасове все одно залишається в межах 15–20 $мгO_2$/л, що в більшості випадків буває недостатнім.

Серед пластмасових завантажень біофільтрів найбільш поширеними є полімерні блоки фірми «Екополімер» (рис. 7.3, а), що збираються з гофрованих листів. Вони мають питому поверхню близько 100 мг/м^3 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^2. Питома поверхня в 3–4 рази більша, ніж щебенева. Внаслідок того, що завантаження дуже легке (40–50 кг/м^3), зовнішнє огородження 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 7.3, 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^3. Блоки випускаються діаметрами 250 мм і 500 мм. Застосовуються також блоки, зібрані з тонкостінних, скляних або пластмасових трубок, закріплені плівкою, що термічно усаджується (рис. 7.3, в). Всі ці блоки мають приблизно однакові характеристики і встановлюються в біофільтрі зі зміщенням на 0,2–0,5 діаметра один на одному (рис. 7.3, г).

Якщо в звичайних високонавантажених біофільтрах навантаження зі стічних вод становить від 10 м^3/м^2 до 20 м^3/м^2 на добу, то в біофільтрах з пластмасовими блоками вона підвищується до 25–40 м^3/м^2 на добу.

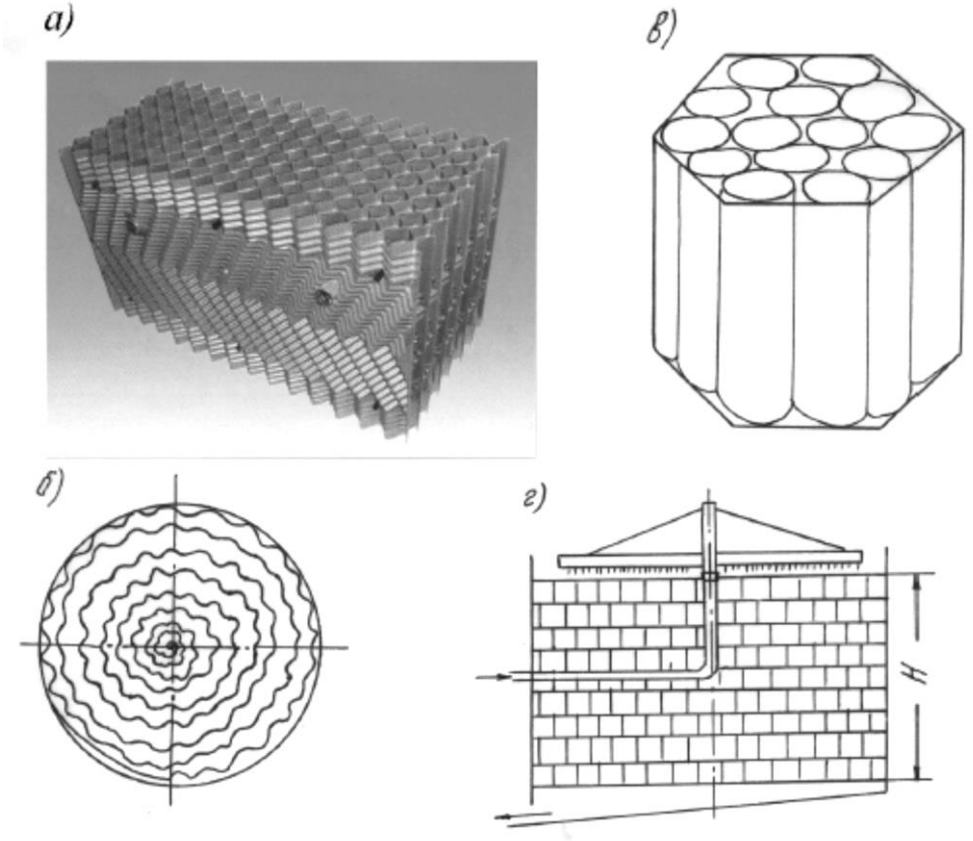


Рисунок 7.3 – Блокове завантаження біофільтрів:
а – блок із гофрованих пластмасових листів; б – блок із рулонного гофрованого пластмасового завантаження; в – блок із тонкостінних скляних або пластмасових трубок; г – схема біофільтра, завантаженого об'ємними блоками

Висота завантаження збільшується до 3–6 м, (з 2–4 м), але примусова вентиляція зазвичай не потрібна.

Є досвід застосування біофільтрів із пластмасовим завантаженням, під час використання якого вдається не тільки збільшити продуктивність очисних споруд, а й знизити БСК$_5$ очищеної води [1, 5]. 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 $м^3/(м^2 \cdot год)$. $БСК_5$ після другого відстоювання знижується до 9–12 $мгO_2/дм^3$, тоді як у разі використання звичайної схеми очищення становить понад 20 $мг/дм^3$.

Модернізація і 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 видування утворюваних 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 O_2/(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 $м^3$ рідини за 1 годину, кг $O^2/(м^3 \cdot рік)$;

3. Продуктивність аератора за киснем – це кількість кисню, що розчиняється в рідині за годину роботи аератора, кг O^2/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.

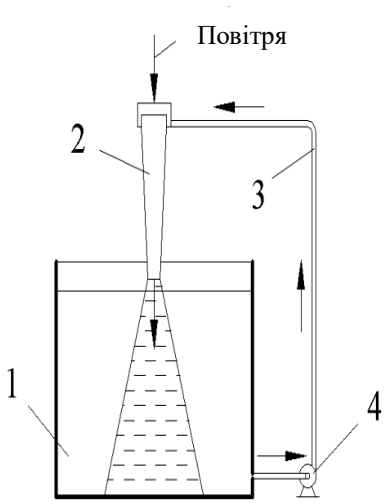


Рисунок 7.4 – Схема установки струминного аератора типу шахтного водозливу:
1 – аеротенк; 2 – струминний аератор; 3 – напірний трубопровід; 4 – насос

Згідно зі [1] у разі біологічної очистки стічних вод в аеротенках із високими дозами активного мулу найбільш ефективні імпелерні та пневмомеханічні аератори. Під час використання для очистки стічних вод аеротенків-змішувачів із підвищеними дозами активного мулу досить успішно можуть використовуватись струминні аератори (рис. 7.4), принципом роботи яких є залучення атмосферного 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 кг O_2/(м^3·год) із високою ефективністю аерації 2,5–5 кгO_2/(кВт·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 тріщини 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. 7.5). 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 спостерігалося (за інтенсивності аерації 1,4 $м^3/(м^2 \cdot год)$). Витрати електроенергії для таких аераторів склали 0,6 кВт·год на 1 кг знятої $БСК_5$, 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 $м^3$/год.

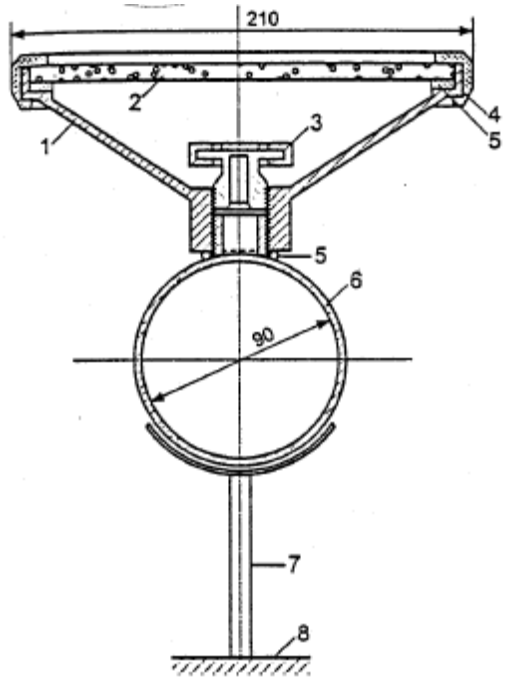


Рисунок 7.5 – Пластмасовий дрібнопухирцевий аератор:
1 – корпус аератора; 2 – двошарова порувата пластина; 3 – зворотний клапан; 4 – затискне кільце; 5 – гумове ущільнення; 6 – повітропровід; 7 – стійка; 8 – дно аеротенка

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. 7.6).

Застосування подібних аераторів порівняно 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.

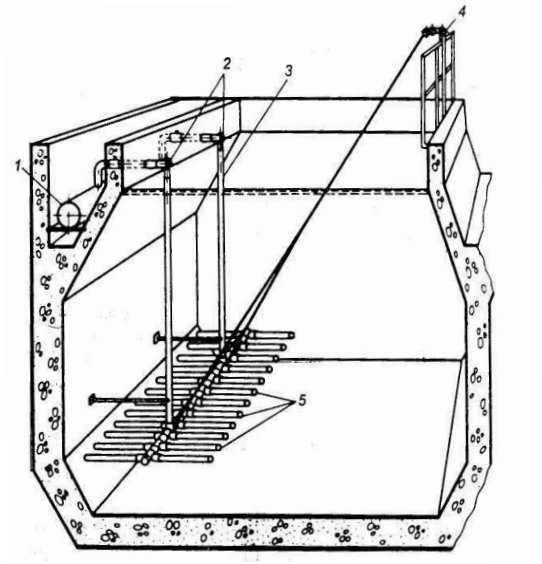


Рисунок 7.6 – Система аераторів із поруватих керамічних труб «Шумахер»:
1 – магістральний повітровід; 2 – шарніри;
3 – повітряні стояки; 4 – переносна лебідка;
5 – поруваті труби

Перспективним виглядає використання аераторів із тканини, що можуть бути трубчастими, тарілковими та інших форм. У ОДАБА 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» [15] 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. 7.7), 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^3/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.

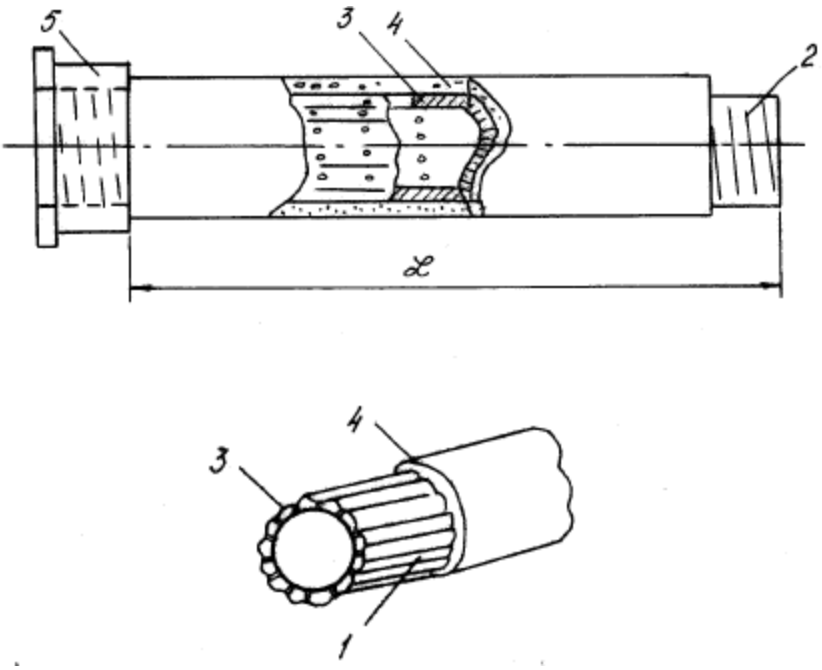


Рисунок 7.7 – Трубчастий аератор «АКВА-ПРО»:
1 – опорна пластикова труба з отворами і заглибленнями; 2 – різьбове закінчення труби; 3 – отвір; 4 – диспергуючий шар; 5 – муфта для з’єднання труб

Обладнанням української науково-виробничої фірми «ESMIL GROUP» [15] 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 (рис. 7.8). Вони відзначаються високою ефективністю перенесення кисню (SOTE), стабільною довготривалою продуктивністю та легкою установкою за низьких капітальних витрат.

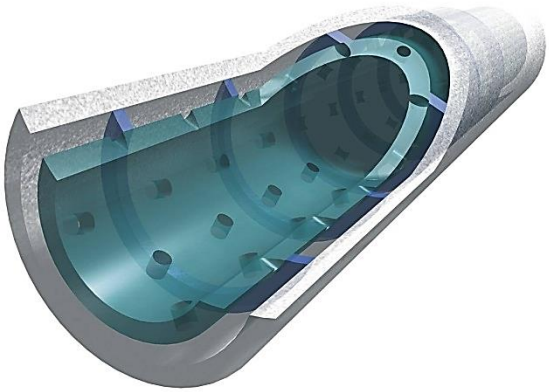


Рисунок 7.8 – Дрібнобульбашковий трубчастий аератор Esmil Fiber Tube

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

Переваги трубчастих аераторів Esmil [15]:

– 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 $БПК_{20}$ від 20 мгO_2/л до 100 мгO_2/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. 7.9). Це гнучкі пухнасті гірлянди з волосіння, вплетеного в сердечник із неіржавного дроту. Діаметр «йоржів» дорівнює 120 мм, довжина у 1 м^3 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.

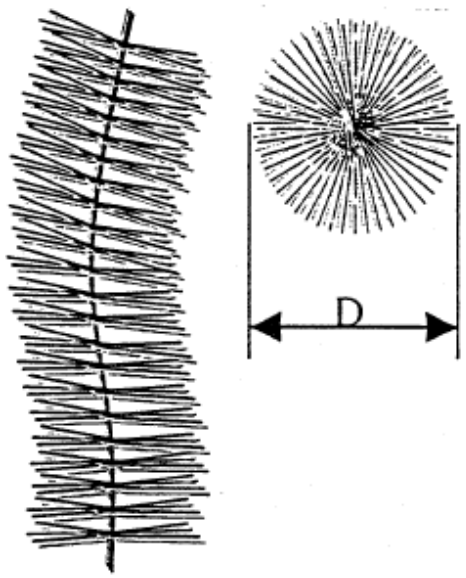


Рисунок 7.9 – Синтетичні водорості («йоржі») для біологічного очищення стічних вод

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$_{20}$ очищеної води зменшити до 7–10 мгО$_2$/л замість звичайних 15 мгО$_2$/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.

Модернізація і реконструкція споруд для 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 [18, 19]. 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 [18].

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 [18]. За цей час було накопичено безцінний досвід запуску й експлуатації збезводнювального 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 збезводнювальне обладнання для малих і середніх ОСК. Із 2011 року на заводах ESMIL налагоджено

виробництво шнекових дегідраторів MDQ за ліцензією японської компанії TSURUMI PUMP [15]. 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.

Збезводнювальний барабан мультидискового дегідратора (рис. 7.10) 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. Усередині барабана розташований шнек зі зменшувальною відстанню між витками від зони надходження зфлокульованого осаду (зона згущення) до виходу з барабана (зона зневоднення). Під час повільного обертання шнека (1–5 обертів 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).

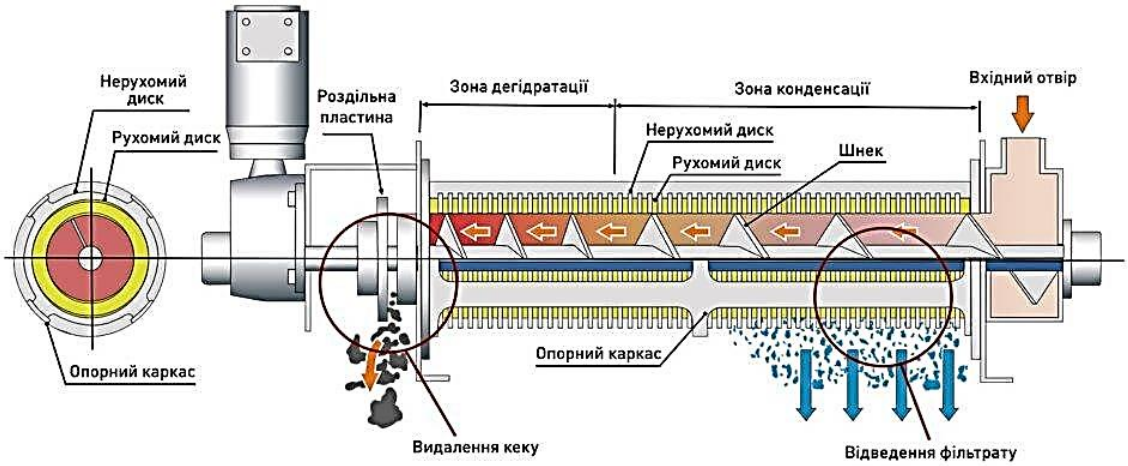


Рисунок 7.10 – Схема роботи мультидискового дегідратора

Таким чином, вода для очищення фільтрувальних пор під час роботи дегідратора 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 [18].

Завдяки тісному спілкуванню виробництва та споживача, були виявлені проблеми, пов'язаними 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), що дорівнюють витратам 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. 7.1). 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 [18], 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 7.1 – Порівняння продуктивності різних типів обладнання (для муніципальних шламів)

	Центрифуга	Стрічковий фільтр-прес (СФП)	Мультидисковий шнековий дегідратор (MDQ)
Продуктивність, $м^3$/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 7.2 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 7.2 – 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 (табл. 7.3), ніж центрифуги, в яких перемішування відбувається вже в закритому барабані за високих швидкостей, через які найчастіше відбувається розбивання великих флокул на більш дрібні.

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.

Таблиця 7.3 – Порівняння споживання флокулянту

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

Барабани центрифуг в кінці зміни заповнюють водою для внутрішнього очищення. Під час роботи мультидискового 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 незфлокульованих 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 7.4.

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.

Таблиця 7.4 – Порівняння потреби в промивній воді

Обладнання	Потреба в промивній воді
Центрифуга	Використовується очищення внутрішніх поверхонь агрегату; 2–5 $м^3$ 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 $м^3$ води за зміну

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 посилених систем вентиляції з подальшим обслуговуванням цих додаткових систем. Порівняння за цими параметрами наведено у таблиці 7.5.

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 збезводнювальному обладнанню, і часто створює низку як технологічних, так і експлуатаційних незручностей [18].

Таблиця 7.5 – 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 влаштовувати 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

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 мастил 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 зміні 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 мультидискових 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 – збезводнювального 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 7.6.

Таблиця 7.6 – 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 [15].

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 енергозбережувальною 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 збродженого 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;
– двох- 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 = 53–55°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 = 15–17 °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 пластмасовим 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 зброджeного, 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 лугу 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].

Модернізація очисних споруд каналізації із застосуванням дискових біофільтрів

RBC – це стаціонарна [20], біологічна технологія очищення стічних вод яка базується на сорбції біоплівки на матеріалі-носію з аеробним та анаеробним шаром. Фізично вона складається з паралельних хвилястих дисків, встановлених перпендикулярно на валу, який повільно обертається в резервуарі, через який пропускають стічні води, що підлягають очищенню (рис. 7.11, 7.12).

Під час процесу очищення бактерії, які розкладають органічні сполуки з стічних вод (використовуючи органічний матеріал як джерело живлення), прикріплюються до поверхонь дисків. Вони ростуть у тонкій біоплівці, товщина якої контролюється силою зсуву дисків, що обертаються через стічні води.

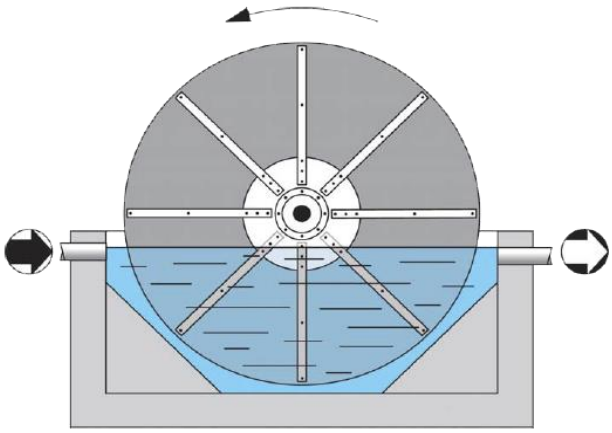


Рисунок 7.11 – Схема RBC

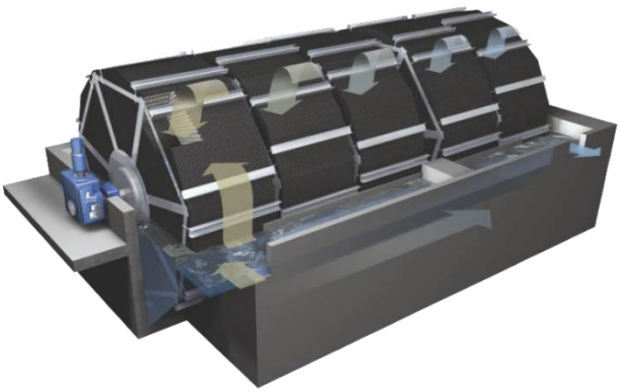


Рисунок 7.12 – Схема руху води по RBC

Повертаючись з води в атмосферу, мікроорганізми, що ростуть на диску, отримують кисень. Надлишки мікроорганізмів, які зриваються з дисків, переносяться зі стічними водами до відстійників, де їх відокремлюють від очищених стічних вод шляхом відстоювання. Осад потім відкачується з нижньої частини відстійника для подальшої обробки, найчастіше, на мулові майданчики.

Процеси з прикріпленою біоплівкою мають низку переваг перед процесом вільноплаваючого активного мулу, який є найбільш поширеним процесом призупиненого росту. Також науковцями було досягнуто прогрес у дизайні, що усуває попередні недоліки фіксованих процесів плівки. Тому зростає інтерес до процесів з фіксованою плівкою в промисловості очищення стічних вод. Переваги системи з прикріпленою біоплівкою полягають у наступному [20, 21].

1. Низьке споживання енергії – RBC використовують приблизно половину кількості енергії, що використовується в процесі з активним мулом в аеротенках.

2. Стабільність процесу у разі змін гідравлічного навантаження – оскільки мікроорганізми в системі з прикріпленою біоплівкою закріпленні до середовища, вони не можуть вимиватися у разі підвищених потоків. Також такі системи зазвичай мають більшу масу мікроорганізмів, що робить їх більш працездатними.

3. Стабільність роботи з підвищенням органічного навантаження – технологія RBC завдяки збільшеної маси мікроорганізмів та їх фіксації легко адоптуються до високих концентрацій органічних сполук а процес з активним мулом, з іншого боку, більш схильний до погіршення продуктивності через зміну гідравлічного та органічного навантаження. Швидке збільшення потоку зазвичай вимиває мікроорганізми з аеротенка саме в той час, коли потрібна висока концентрація.

4. Утворення меншої кількості осаду – системи з фіксованою плівкою виробляють менший об’єм мулу (концентрація сухих речовин більше, ніж в активному мулі). Це призводить до зменшення розмірів відстійників і зменшення розміру систем обробки осаду. У літературі повідомляється, що маса твердих речовин, вироблених типовими системами нерухомої плівки, на 10–20 % менша, ніж для активного мулу через більш тривалий час утримання твердих речовин.

5. Надійний процес роботи відстійників – технічна література щодо активного мулу наповнена порадами щодо того, як уникнути ниткоподібного росту, піноутворення, дисперсного росту та інших ситуацій, які призводять до поганого відстоювання стоків. Системи з фіксованою плівкою рідко стикаються з такими проблемами, оскільки надлишки бактерій, що утворюються, відшаровуються від середовища у вигляді відносно великих, легко осідають флокул.

6. Прості в експлуатації – фіксовані плівкові системи працюють з невеликим втручанням оператора та моніторингом і зазвичай використовують

просте обладнання з низьким рівнем обслуговування на відміну від роботи з активним мулом, де оператор повинен постійно знати про умови, які можуть призвести до поганого осідання мулу або неадекватного видалення БПК. Це вимагає постійного моніторингу якості стічної води, типів мікроорганізмів в аєротенку, кількості розчиненого кисню, швидкості осідання біологічних твердих речовин та їхнього ущільнення тощо. Все це вимагає уваги та часу оператора.

Без повернення мулу – RBC не потребують рециркуляції активного мулу, що значним образом спрощує роботу технології біологічної очистки.

Дослідники [20, 21] провели технічний аналіз у відношенні того, що RBC можуть бути ефективною технологією очищення комунальних стічних вод на певних об'єктах через їх доведену простоту, надійну роботу та низьке споживання енергії з підтвердженням їх висновків на практиці в Україні. Виробники RBC внесли низку важливих удосконалень у цю понад сорокарічну технологію, щоб підвищити продуктивність процесу та забезпечити ще більш надійну механічну конструкцію. З цих причин вони вважають, що процес RBC заслуговує більшої уваги під час аналізу та вибору технології очищення комунальних стічних вод.

Ці науковці [20] зробили реконструкцію очисних споруд м. Часів Яр, Донецької області продуктивністю 1 500 м^3/добу, працювали на 15-ти роторних блоках біологічних контакторах (RBC). Правильно розроблена система RBC може досягти високої ефективності очистки стічних вод завдяки меншому органічному навантаженню на масу активних бактерій та більшому часу утримання твердих речовин.

Наприклад, на каналізаційних очисних спорудах м. Часів Яр Донецької області використовується технологія RBC у комбінації з біологічними ставками: середньомісячні концентрації на виході з очисних споруд БСК$_5$ – 9,0–9,5 мгО$_2$/дм^3, ХСК – 25–30 мгО$_2$/дм^3, азот амонійний 1,0–2,0 мг/дм^3, завислі речовини – менше 3 мг/дм^3.

Так науковцями [20] було доведено, що так само, як і аеротенки, RBC є модульним процесом, який можна масштабувати до будь-якого розміру заводу.

Однак у більшості випадків великі очисні споруди обслуговують громади, які почали будувати свої очисні споруди на технології аеротенків, і отже, віддані процесу активного мулу. Таким чином, RBC на великих станціях зустрічаються відносно рідко. Не тому, що вони не прийнятні, а тому, що заводи вже використовують процес активного мулу, і це природно розширюватися або проводити реконструкцію, використовуючи той самий

процес. Однак є випадки, коли RBC додавали до очисних споруд з активного мулу для підвищення рівня обробки, де бажано зменшити площу та зменшити витрати енергії.

Економія енергії є привабливою особливістю RBC [20]. Щоб зрозуміти величину економії, припустимо, що ми проєктуємо очисні споруди потужністю 3 000 $м^3$ на добу. Концентрація БСК складе 250 $мгO_2/дм^3$. Первинна механічна очистка та відстоювання усунуть 25 % органічних сполук. Таким чином, добова маса БСК складатиме 562 500 гр БСК на добу.

На спорудах RBC, у яких використовуються диски діаметром 3 метри (розмір, який найчастіше використовується для великих установок), зазвичай використовуються двигуни потужністю 3 кВт із фактичними витратами електроспоживання 1,2 кВт, на 5 800 $м^2$ поверхні диска. Установка RBC, яка очищає типові побутові стічні води, може видалити 7 гр БСК на $м^2$ площі поверхні диска. Таким чином дослідники підрахували [20], що на їх теоретичному заводі їм знадобиться приблизно 80 357 $м^2$ площі поверхні диска (562 500 гр БСК, поділених на 7 гр на $м^2$). За фактичної потужності 1,2 кВт на 5 800 $м^2$ ця установка буде використовувати приблизно 16,8 кВт потужності на годину (80 357 $м^2$, поділених на 5 800 $м^2$, помножених на 1,2 кВт).

Для аеротенка з активним мулом буде потрібно приблизно 50 кВт/год для окислення необхідної кількості органічних сполук та перемішування стічних вод, крім того, процес активного мулу вимагає перекачування зворотного активного мулу, який зазвичай використовує 10 % потужності, необхідної для аерації, що призводить до того, що загальна потужність процесу становить 55 кВт/годину.

У цьому спрощеному прикладі можна побачити, що процес RBC використовує менше половини потужності, що використовується типовою системою активного мулу.

Додатково для підтвердження фактичні данні, які науковці отримали на робочих очисних спорудах м. Часів Яр, складаються з таких цифр: механічна очистка та усереднення стічних вод – 10,5 кВт, блок RBC (15 блоків діаметром 2 м, довжиною 4 м – 13,5 кВт, перекачка стічних вод на біоставки (складний рельєф майданчика очисних споруд) – 8кВт. Фактичні витрати експлуатацію очисних споруд потужністю 1 500 $м^3$/добу складає 32 кВт/годину.

Очисні споруди які будуються в м. Волноваха потужністю 1 800 $м^3$/добу завдяки кращому рельєфу майданчика очисних споруд після запуску в кінці 2022 року споживали приблизно до 30 кв/годину електроенергії [20, 21].

RBC скорочують витрати на інші процеси завдяки природі надлишку твердих біологічних речовин, які утворюються порівняно з тими, що утворюються в аеротенках.

Очисні споруди з аеротенками часто утворюють мул, який погано осідає у вторинних відстійниках через його дрібний характер та випадкові проблеми з ниткоподібними бактеріями. З іншого боку, RBC утворюють більші частинки мулу, які швидше осідають. Зазвичай вторинні відстійники для установок RBC проєктують приблизно на 20 % меншими, ніж для установок з активним мулом. Це один напрямок вартості будівництва та економії земельної площі. Ця різниця в розділенні твердих частинок також призводить до зниження уваги оператора, оскільки контроль за ниткоподібними бактеріями та контроль швидкості рециркуляції мулу є постійними проблемами операторів установок з аеротенками.

Крім того, мул RBC більш концентрований, ніж активний мул відходів, і краще загущується, зменшуючи об’єм мулу, який необхідно обробляти, приблизно на 25 %. Це, зі свого боку, зменшує розмір установок для переробки шламу, таких як мулові карти, на подібний відсоток, а також може зменшити експлуатаційні витрати.

RBC можуть забезпечити видалення біогенних речовин наступними способами. Процес біологічної очистки в RBC протікає без значних утворювань азоту нітратного, але з розкладанням азоту амонійного до газоподібної форми. Так на прикладі очисних споруд м. Часів Яр за невеликих концентрацій БСК 180–250 мгO^2/дм^3 і високих показниках азоту амонійного на вході в середньому 60 мг/дм^3, після очистки концентрації азоту амонійного до 2 мг/ дм^3, а нітратів 5–8 мг/дм^3.

Що стосується видалення фосфору [20, 21], то звичайні біологічні процеси видаляють фосфор із надлишковою клітинною масою аналогічно і в такій самій пропорції як і в аеротенках. Якщо потрібне подальше видалення фосфору, додавання солей заліза або алюмінію в відстійник є способом зниження рівня фосфору до менш ніж 1 мг/дм^3.

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?

12. У чому полягає мета посилення функціонування біологічних фільтрів?

13. Які дії необхідно впровадити для вирішення задач реконструкції біофільтрів?

14. Які ключові способи посилення роботи біофільтрів вам відомі?

15. Надайте типові технологічні схеми реконструкції вже функціонуючих станцій з біофільтрами.

16. Як можливо покращити роботу біофільтрів із великим навантаженням?

17. Як впливає вентиляція наповнювача біофільтрів на їхню ефективність?

18. Які існують двоступеневі технологічні схеми очищення стічних вод із використанням біофільтрів?

19. За яких обставин виникає потреба у реконструкції аераційних установок?

20. Які методи існують для посилення ефективності аераційних споруд?

21. Як реалізується процес збільшення кількості активного мулу в аераційних установках?

22. Які технологічні схеми біологічного очищення стічних вод від азоту та фосфору вам відомі?

23. Яким способом можна активізувати роботу аераційної системи?

24. Які ключові методи підвищення окислювальної здатності пневматичної аерації?

25. Які типи аераторів демонструють найвищу ефективність за великих концентрацій активного мулу?

26. Які існують основні підходи до перемішування мулової суміші в аеротенках?

27. У чому полягає суть гідравлічного методу перемішування?

28. Як працюють роторні біологічні контактори (RBC)?

29. Чому системи з прикріпленою біоплівкою, такі як RBC, не втрачають популярності?

30. Чи можуть RBC виробляти високоякісні стоки?

31. Чи можна використовувати RBC для великих очисних споруд?

32. Як RBC зменшують вартість інших процесів на очисних спорудах?

33. Чи можуть RBC забезпечувати видалення азоту і фосфору так само, як і системи з аеротенками?

34. Чому фіксовані плівкові системи більш стійкі до порушень процесу, ніж активний мул?

35. Наскільки менше уваги під час експлуатації та технічного обслуговування вимагає система RBC, ніж система аеротенків?

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3
МОДЕРНІЗАЦІЯ І РЕКОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМ І СПОРУД ВОДОПОСТАЧАННЯ І ВОДОВІДВЕДЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Тема 8 Модернізація і реконструкція споруд механічного очищення промислових стічних вод

Реконструкція прямоточних систем у зворотні

Метою реконструкції систем і об’єктів водопостачання та водовідведення на промислових підприємствах є підвищення їхньої ефективності та надійності, зокрема за рахунок підвищення якості води, що подається у виробничі процеси, повторного використання цінних компонентів, що містяться у стічних водах, для технологічних цілей, впровадження заходів, спрямованих на захист довкілля, удосконалення локальних цехових і заводських очисних споруд у зв’язку зі зміною технологічної програми чи перепрофілюванням, а також модернізації безперервних систем водопостачання у послідовні та оборотні для скорочення споживання свіжої води та її багаторазового застосування у виробничих процесах.

Поряд із рекомендаціями цього розділу під час розробки проєктів реконструкції водопостачання та водовідведення промислових підприємств, що охоплюють внутрішньо цехові санітарно-технічні пристрої, очисні споруди, насосні станції різного призначення, зовнішні магістральні та розгалужувальні мережі та інші елементи систем, необхідно застосовувати підходи та конструктивні рішення, викладені у попередніх розділах конспекту, з урахуванням особливостей водного господарства промисловості.

Одним із перспективних напрямків, від успішності якого залежить обсяг водоспоживання в промисловості, є впровадження послідовних зворотних та безстічних систем водопостачання, а також систем з повітряним охолодженням промислових агрегатів.

За розрахунками, на підприємствах залізничного транспорту лише за рахунок переходу існуючих безперервних систем охолодження компресорів у зворотні можна в окремих випадках зменшити загальне споживання води для виробничих потреб на 30–50 % і досягти суттєвої економії завдяки скороченню витрат на придбання свіжої води з центрального водопостачання. При цьому інвестиції в реконструкцію окупаються протягом року. Під час оновлення систем виробничого водопостачання виникли витрати, пов’язані з потребою

перекачування, охолодження або очищення та стабілізації якості води у оборотній системі.

На рисунку 8.1 зображені схеми реконструкції прямоточної системи водопостачання у зворотну та замкнену на прикладі забезпечення водою компресорів залізничної станції. Для реконструйованих систем водопостачання підприємств будь-якого профілю базова схема реконструкції залишається незмінною; відмінності можуть виникати лише через конкретний склад споруд і пристроїв, які додаються або демонтуються.

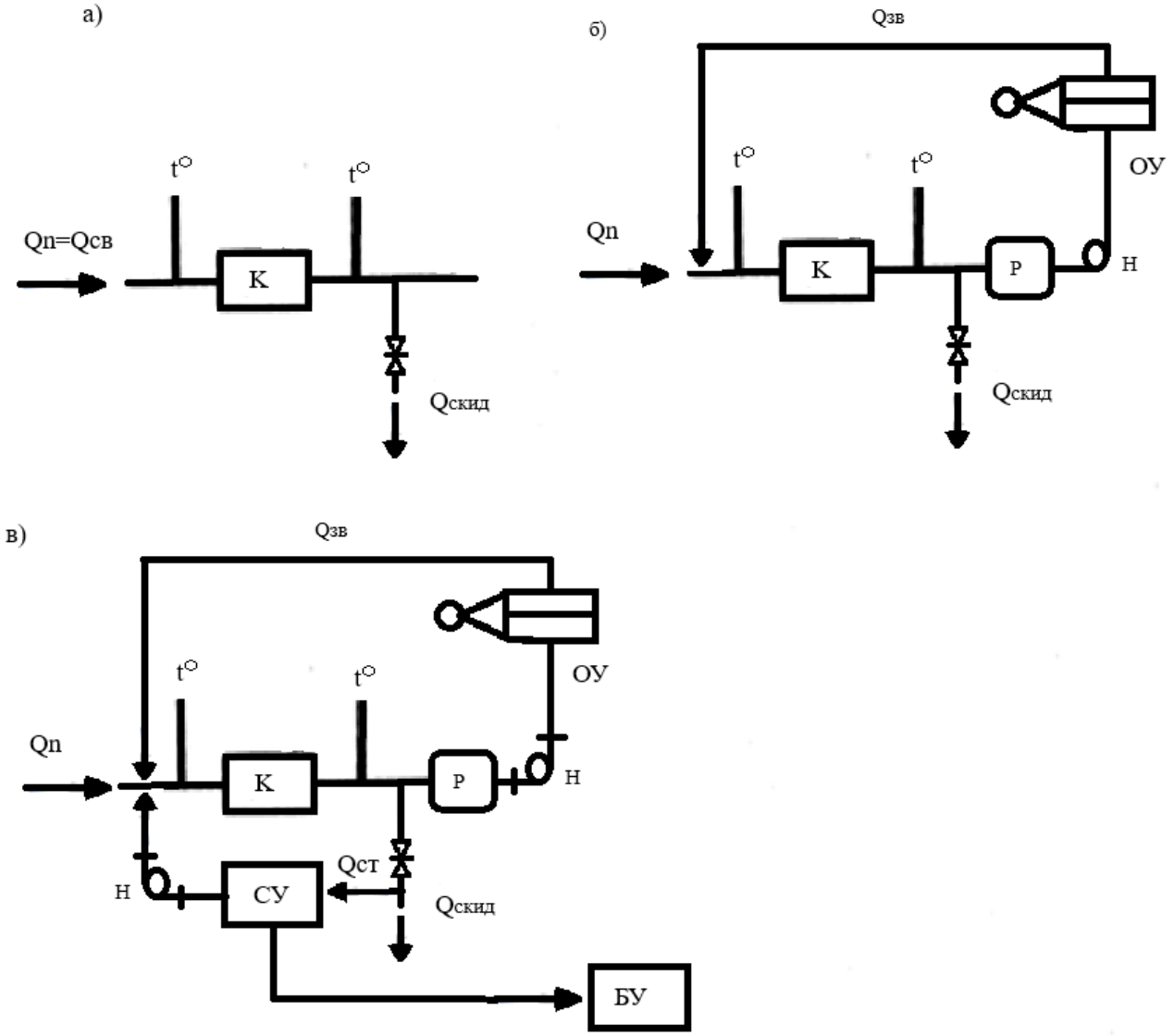


Рисунок 8.1 – Приклад реконструкції прямоточної системи охолодження:
а – компресор; б – зворотна система охолодження; в – замкнена система охолодження;
ОУ – охолоджуюча установка; Р– резервуар; Н – насос;
СУ – стабілізаційна установка; БУ – блок утилізації регенераційних розчинів;
$Q_п$, $Q_{св}$ – витрати підживлювальної і свіжої води; $Q_{сбр}$, $Q_{ст}$ – скидна і стабілізаційна витрати; $Q_{об}$ – витрата зворотної води

Під час переходу прямоточної системи в зворотну споживання свіжої підживлювальної води та обсяг стоків у каналізацію зменшуються. У випадку замкненої системи водопостачання стоків у каналізацію немає, а витрата підживлювальної води трохи збільшується через певне зростання без зворотних втрат, пов'язаних переважно з необхідністю проведення стабілізаційної обробки води.

Для контролю температури у водопостачальній схемі передбачають установку температурних сенсорів з індикаторними пристроями або використання звичайних термометрів. Резервна охолоджувальна установка (ОУ) не обов'язкова, оскільки у разі відмови головного охолоджувача можна без проблем перейти на прямоточну систему охолодження, під'єднану до міської чи виробничої мережі водопостачання. У випадку циркуляційної системи необхідно передбачити насос для повторного подавання води та резервуар об'ємом 0,3–0,5 м³, який гарантує принаймні п'ятихвилинну роботу насоса.

У замкненій безстічній охолоджувальній системі (рис. 8.1, в) потрібно передбачити стабілізаційну установку (СУ), яка здійснює очистку стабілізаційного потоку води, що тимчасово виводиться з ланцюга та повертається після необхідної обробки (усунення механічних частинок, солей жорсткості, корекція pH тощо). Також необхідний насос для підведення стабілізаційного потоку у схему та блок утилізації регенераційних розчинів (БУ). Зазвичай підживлення охолоджувальної системи на залізничних підприємствах здійснюється з міської мережі, проте можливо використання водопостачання виробничого підрозділу. Під час підготовки проєкту реконструкції проводяться розрахунки втрат води внаслідок випаровування, витоків, виробничих потреб, формується схема водного балансу та виконується розрахунок усіх компонентів і параметрів циркуляційної водопостачальної системи за стандартними методиками.

Як охолоджувачі використовуються різні типи малогабаритних градирень і перспективні пінно-випарні охолоджувачі конструкції інженерного обладнання [17]. Продуктивність малогабаритних градирень і пінно-випарних водоохолоджувачів становить від 5 м^3/год до 50 м^3/год, але є компактні малогабаритні градирні продуктивність від 5 м^3/год до 100 м^3/год, теплове навантаження 32–570 Мкал/год.

Під час реконструкції систем охолодження часто виникає необхідність модернізації старих градирень. При цьому значне скорочення капітальних витрат на реконструкцію (в 3–10 разів) може бути досягнуто за рахунок

застосування ежекційних охолоджувачів [17, 22]. Можуть бути широко використані комплектуючі: зрошувачі з ПНД або ПХВ, водоуловлювачі з ПНД, вентилятори зі склопластиковими лопатями, склопластикового корпусу та інші елементи градирень з сучасних матеріалів [17, 22].

Старі градирні, що не мають водовловлювачів, повинні бути обладнанні ними з метою скорочення втрат на віднесення краплинної вологи. Існуючі водоуловлювачі можуть бути замінені на більш ефективно діючі зі стійких полімерних матеріалів, лоткові розподільники – на більш сучасні з розбризкувальними соплами, дозволяють більш оперативно регулювати гідравлічне навантаження по площі зрошувача. Бризкальні і краплинні зрошувачі, якщо цьому не перешкоджає якість оборотної води (концентрація зважених речовин в оборотній воді не перевищує 100–120 мг/дм^3, немає масел і нафтопродуктів, здатні утворювати відкладення і спричиняти заростання проміжків між щитами зрошувача), можуть бути замінені на плівкові зрошувачі з сучасних стійких і довговічних матеріалів.

Останнім часом під час реконструкції зрошувачів градирень використовуються плоскі сітки різних марок, що забезпечують підвищення охолоджувальної здатності зрошувача приблизно в 1,4 рази, які до того ж мають масу в 1,5–3 рази менше, що зумовлює значну економію матеріалу (рис. 8.2). Застосування плівкових зрошувачів дозволяє в низці випадків підвищити продуктивність охолоджувача в кілька разів. Наприклад, для баштових плівкових градирень вона в 2–3 рази вище порівняно з градирнями, обладнаними крапельними зрошувачами, і в 3–5 разів – порівняно з бризкальними зрошувачами, оскільки щільність зрошення (гідравлічне навантаження) для баштових градирень становить, м^3/(м^2·год): у разі плівкових зрошувачів 7–10, у разі крапельних 3–5, у разі бризкальних не більше 2. Для вентиляційних градирень відповідно щільність зрошення становить, м^3/(м^2·год): 8–12, 6–8 і 5–6, що також дозволяє за рахунок модернізації зрошувача збільшити продуктивність охолоджувача [22].

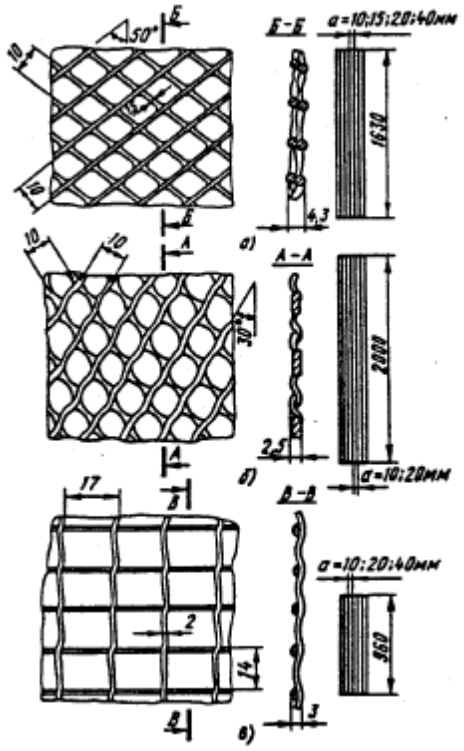


Рисунок 8.2 – Схеми зрошувачів з плоских сіток різних марок

Під час реконструкції градирень для зменшення концентрації грубо дисперсних домішок, наявних в оборотній воді й не тільки сприяють зменшенню коефіцієнта теплопередачі в теплообмінних апаратах, але і ускладнюють експлуатацію резервуарів градирень через забруднення їх осадом, рекомендується застосовувати градирні з резервуарами-відстійниками, обладнаними тонкошаровими блоками (рис. 8.3). При цьому відпадає необхідність їх періодичного очищення, здійснюваного вручну, і вимагає виключення градирень з роботи [23].

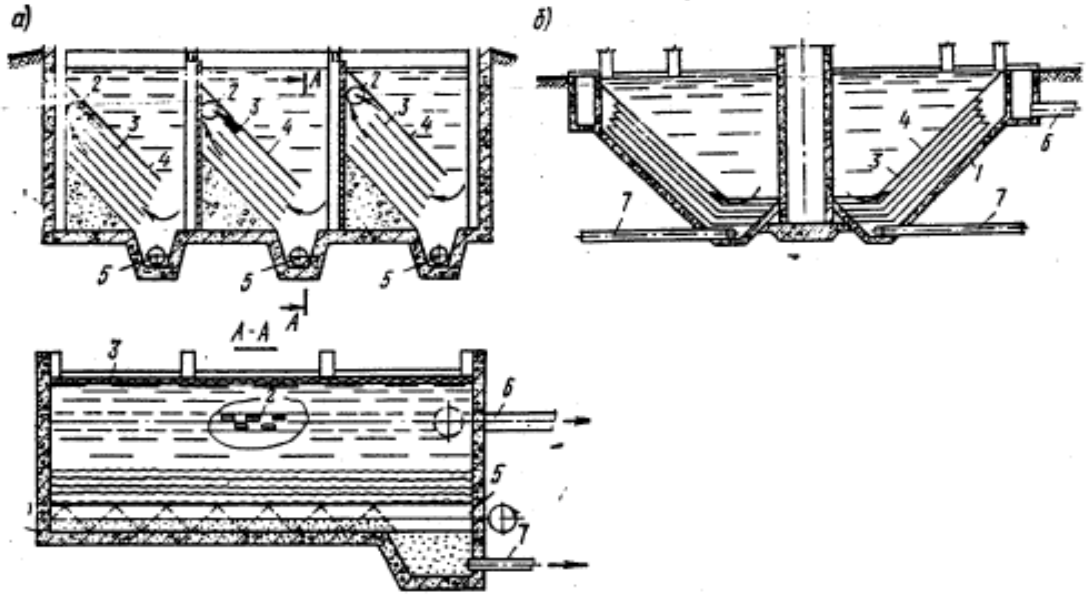


Рисунок 8.3 – Принципові схеми обладнання градирень поличними блоками:
а – градирня прямокутна в плані; б – градирня кругла в плані;
1 – корпус резервуара; 2 – трубопровід для збору освітленої води; 3 – полиці тонкошарового відстійника; 4 – екран; 5 – шнек; 6 – відведення освітленої води; 7 – відведення осаду

Як видно з рисунку 9.3 вода, що стікає зі зрошувача, охолоджується і падає в резервуар градирні, обладнаний тонкошаровими блоками. Внаслідок малих швидкостей і значного часу перебування води в резервуарі відбувається осадження основної частини зважених речовин, а інша частина суспензії осідає в тонкошаровому блоці. Видалення осаду проводиться періодично під час роботи градирні за допомогою шнека або перфорованих труб. Порівняно з іншими ці градирні забезпечують більш повне виділення домішок з води і дозволяють видаляти з резервуара осад будь-якої консистенції без зупинки градирні.

Значні труднощі під час експлуатації градирень виникають через обмерзання вхідних вікон в зимовий період. Для боротьби з цим явищем зазвичай передбачають збільшення щільності зрошення по периметру градирні,

розташування спеціальних сопел, що розбризкують у вхідних вікнах для підігріву холодного повітря, що надходить, спеціальні регульовані жалюзі або поворотні щити для зменшення припливу повітря, що надходить. Досить ефективним способом боротьби з обмерзанням вхідних вікон градирень є створення водяної завіси по периметру зовнішньої стінки градирні в районі розташування вхідних вікон (рис. 8.4). Крапельна волога, що виноситься зі зрошувача у вежу частково конденсується на внутрішній стінці градирні, стікає по ній вниз і потрапляє на спеціальні козирки, розташовані по периметру градирні в районі вхідних вікон. Стікаючи з краю козирка, який може бути виконаний гладким або з трикутними вирізами, вода утворює плівкову або струменеву завісу, через яку проходить повітря, що надходить в градирню. У зимовий період повітря таким чином підігрівається і одночасно очищається від пилу (особливо в літній період). Для відведення води по периметру градирень передбачається відвідний лоток, з якого вода відводиться безпосередньо в резервуар градирні, а у разі значного її забрудненні – в спеціальну ємність для очищення і подальшого повернення в оборотну систему водопостачання.

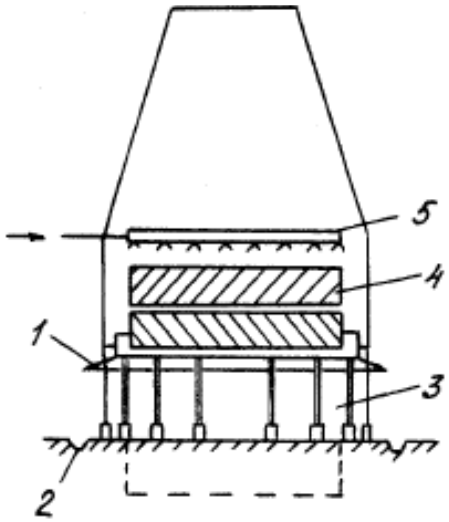


Рисунок 8.4 – Схема реконструкції градирні для створення водяної завіси по її периметру:
1 – козирок по периметру градирні;
2 – водовідвідний лоток; 3 – вхідні вікна для надходження повітря; 4 – зрошувач;
5 – розподільник

Більш чисте повітря, що надходить у градирню, у разі такого рішення менше забруднює оборотну воду, що важливо за значної забрудненості атмосферного повітря промислово розвинених районів.

Під час реконструкції бризкальних басейнів здійснюють заміну розподільчих труб і насадок (сопел), що розбризкують, за необхідності підвищення гідравлічного та теплового навантаження під час охолодження води в ставках-охолоджувачах застосовують випуски, що розсіюють і розбризкують воду на впуску води в ставок, розосереджений водовідбір за допомогою спеціальних водозбірних галерей; якщо дозволяє глибина ставка-охолоджувача, застосовують глибинний водозабір. Для підвищення коефіцієнта використання ставка влаштовуються струмені, скеровані з дамби, що сприяють більш ефективному використанню всього обсягу ставка.

Реконструкція споруд механічного очищення промислових стічних вод

На внутрішньо цехових локальних очисних спорудах промислових підприємств найбільш поширеними методами водопідготовки свіжої води та очищення виробничих стічних вод перед їх повторним використанням є механічний та флотаційний. Підготовка води для промислових цілей цими методами в низці випадків забезпечує необхідні вимоги виробництва до якості води, обходиться дешево і не вимагає складної експлуатації. Вони належать до регенеративних методів і під час очищення стічних вод дозволяють використовувати вловлену цінну сировину з подальшим використанням її під час виробництва продукції (волокно, жири, нафтопродукти, масла тощо).

У промислових системах останнім часом широке розповсюдження отримали методи реконструкції споруд механічного очищення з використанням принципів тонкошарового відстоювання для підвищення їхньої продуктивності та ефекту очищення природних та стічних вод. Цим досягається як економічний, і екологічний ефект [21–23].

Конструктивні рішення схем реконструкції споруд різноманітні і залежать від низки місцевих умов (конструкцій діючих споруд, вимог до якості очищення води, способів видалення осаду і спливаючих речовин, ступеня підвищення продуктивності, специфіки домішок, що затримуються тощо).

Можливі різні схеми реконструкції звичайних відстійників у тонкошарові за напрямом руху потоку оброблюваної рідини в тонкошарових елементах (рис. 8.5). Залежно від місцевих умов обирається схема розміщення тонкошарових елементів у відстійній зоні, що найбільше підходить за вимогами. Водночас необхідно особливу увагу звертати на рівномірність розподілу потоку рідини на вході в споруду і виході з неї, щоб весь поперечний переріз встановлюваних при реконструкції блоків працював з однаковою інтенсивністю. Рекомендованими конструкціями впускних пристроїв для радіальних і горизонтальних відстійників є впускні пристрої, засновані на принципі диференціації потоку, решітки з великим гідравлічним опором (рис. 8.6, б, в), а також решітки зі спеціальними відбивачами (рис. 8.6, а), розподіл і водозбір перфорованими трубами або водозбірними жолобами з трикутними вирізами. Для запобігання руху води за межами тонкошарових елементів решта живого перерізу споруди, що реконструюється, повинна бути перекрита, що зазвичай забезпечується установкою глухих перегородок за довжиною споруди з деяким інтервалом.

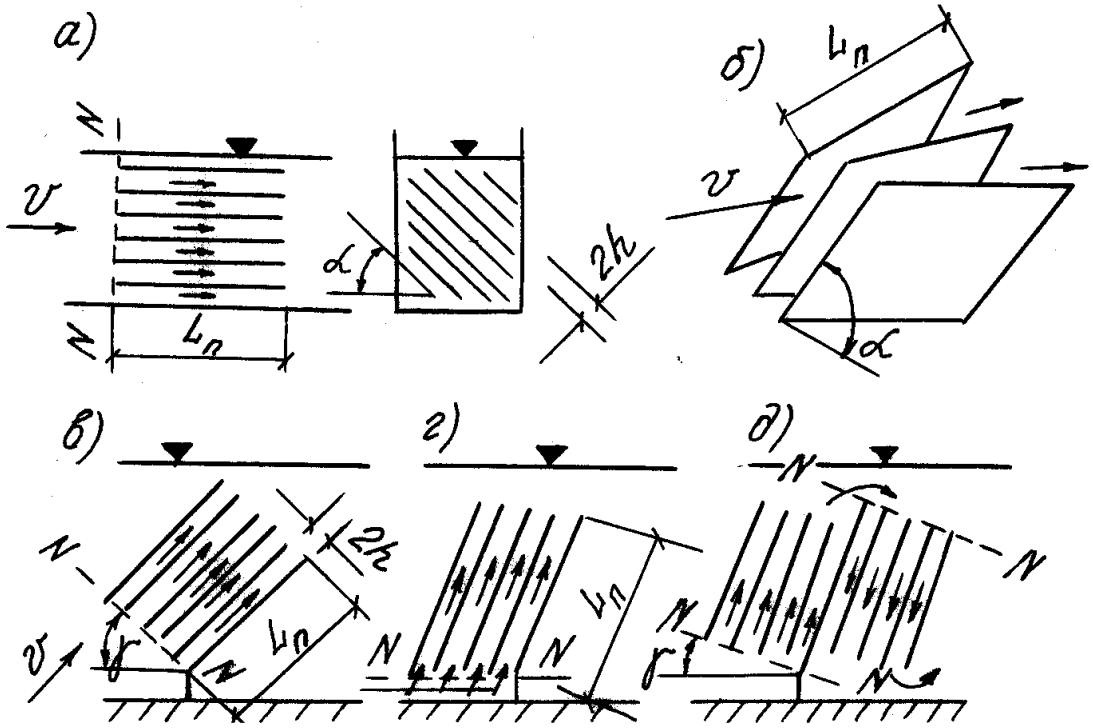


Рисунок 8.5 – Схеми тонкошарових елементів:
а – з горизонтальним перебігом рідини, поздовжній та поперечний переріз;
б – з радіальним перебігом рідини; в – із висхідним перебігом, тип I;
г – те саме, тип II; д – з комбінованим висхідно-низхідним перебігом рідини;
γ – кут нахилу вхідного перерізу до горизонту; α – кут нахилу тонкошарових елементів до горизонту

Необхідно враховувати відповідні рекомендації щодо конструктивного оформлення тонкошарових відстійників та місцезнаходження тонкошарових елементів у відстійній зоні, що є у спеціальній літературі.

Напрямок сповзання осаду та відведення уловлених легких фракцій забезпечується відповідним нахилом елементів. Зазвичай обираються такі технологічні рішення: кут нахилу елементів до горизонту α = 45°–60°, відстань між стінками тонкошарових елементів $2 \cdot h_0$ = 25–100 мм, швидкість руху рідини найчастіше v_0 = 2–10 мм/с, число Рейнольдса потоку по гідравлічному радіусу Re ≤ 500.

Необхідно враховувати вплив на швидкість осадження частинок v_0 концентрації суспензії, за великої величини якої може виникати стиснене осадження частинок, а також температури рідини та швидкості потоку рідини на швидкість сповзання осаду та легких фракцій по поверхні тонкошарових елементів у зони накопичення.

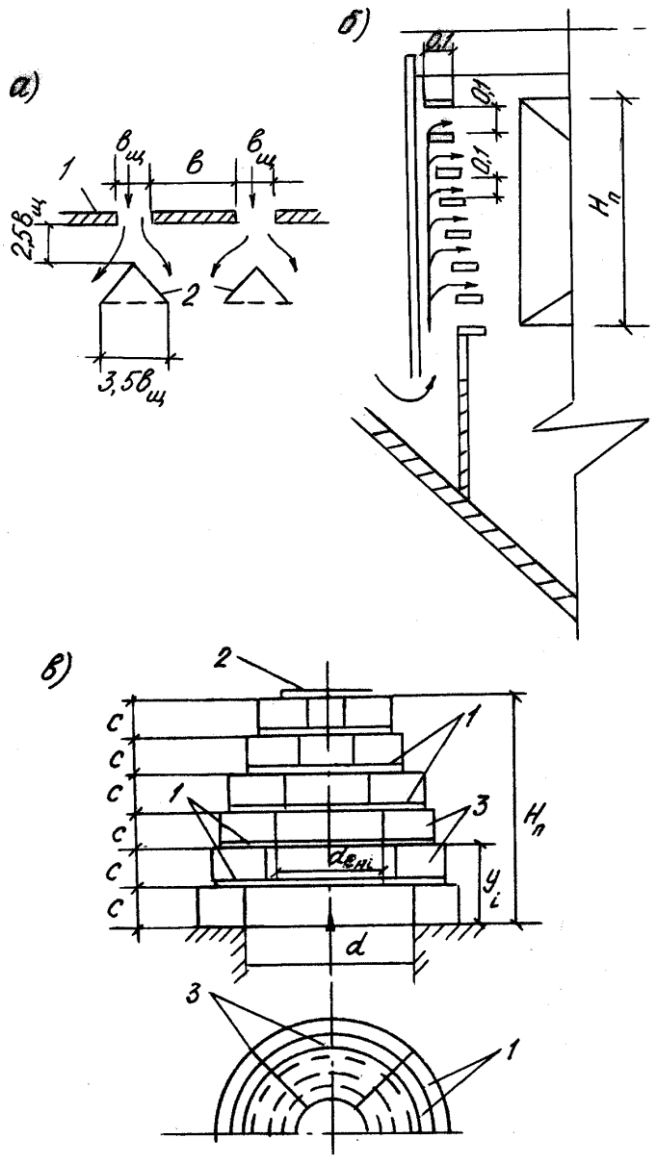


Рисунок 8.6 – Схеми розподільчих пристроїв:
а – щілинні решітки зі спеціальними відбивачами; б – пропорційний розподільний пристрій для горизонтальних відстійників; в – пропорційний розподільний пристрій дискового типу для радіальних відстійників; 1 – диски; 2 – глухий диск; 3 – напрямні переділки; $H_п$ – глибина зони, зайнятої тонкошаровими елементами; d – діаметр трубопроводу, що підводить; $d_{вн\,i}$ – внутрішній діаметр дисків; y_i – відстань від низу впускного пристрою до дисків; c – відстань між дисками; $b_щ$ – ширина щілини

У разі збігу напрямку руху осаду та потоку рідини умови відведення осаду з тонкошарових елементів покращуються і навпаки. Вплив швидкості потоку v_0 в тонкошарових елементах на швидкість сповзання частинок осаду v_{cn} в потоці рідини виражається такою залежністю:

$$\frac{v_{cn}}{v_{cn0}} = 1 \pm \beta \cdot \frac{a_1}{h} \cdot d_e \cdot \frac{V_0}{V_{cn0}}, \qquad (8.1)$$

де d_e – еквівалентний діаметр частинки, для частинок круглої форми $d_e = d$ (діаметра частинки);

h – половина відстані між стінками тонкошарового елемента;

a_1 – коефіцієнт, що характеризує форму поперечного перерізу тонкошарового елемента, для круглих $a_1 \cong 2{,}0$, для поличкових $a_1 \cong 1{,}5$;

β – коефіцієнт нерівномірності розподілу потоку; для орієнтовних розрахунків рекомендується обирати $\beta = \varphi$;

V_{cn0} – швидкість сповзання частинок осаду в рідині, що перебуває у спокої.

До специфічних особливостей тонкошарових відстійників належить можливість винесення з освітленої рідини за певних умов затриманих у тонкошарових елементах частинок. Для запобігання цьому явищу застосовують тонкошарові елементи з гофрованими полицями або передбачають різні спеціальні пристрої в кінцевій частині тонкошарових елементів, що перешкоджають винесенню частинок. Якщо такі заходи не передбачаються, то розрахункову довжину тонкошарових елементів із горизонтальним чи радіальним рухом рідини потрібно збільшити для компенсації явища спрацьованості частинок. Це збільшення залежить від співвідношення швидкостей спрацьованості v_{cn} і сповзання V_{cn0}, а також від ширини тонкошарового елемента.

За конструкцією тонкошарові елементи можуть бути трубчасті у разі співвідношення ширини b і відстані $2h_0 \cdot \frac{b}{2h_0} = 1 \ldots 4$ і мати поперечний переріз різної форми (квадратний, прямокутний, круглий тощо), поличкові за співвідношенням ширини b і відстані $2h_0 \cdot \frac{b}{2h_0} > 10$ та обмеженої ширини у разі $4 < \frac{b}{2h_0} < 10$.

Матеріал для виготовлення тонкошарових елементів може бути будь-яким, проте під час вибору необхідно враховувати умови його роботи в споруді: агресивність води, температуру, навантаження, характеристики міцності, можливість збереження геометричної форми тощо.

Широко застосовуються або блоки тонкошарових елементів із сучасних полімерних матеріалів (рис. 8.7) у вигляді сотоблоків заводського виготовлення, або блоки, зібрані на місці з готових елементів коробчастого перерізу, або конструкції, виконані з використанням різних плівкових матеріалів (рис. 8.8).

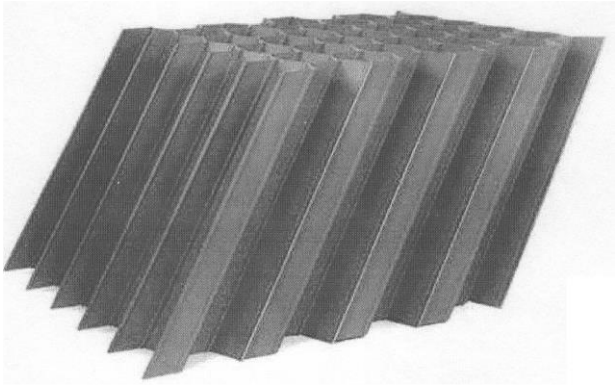


Рисунок 8.7 – Загальний вигляд тонкошарового сотоблока для відстійників із висхідним або низхідним перебігом рідини

Рисунок 8.8 – Фрагмент блока радіальних тонкошарових елементів із ПВХ плівки

Низка зарубіжних та вітчизняних компаній і фірм постачають такі блоки з елементами V-подібної форми (рис. 8.9) або у формі шеврона.

Вони можуть складатися із модулів різної висоти, нахилу, форми. Є дослідження з реконструкції горизонтального відстійника з використанням сотоблоків зі штампованих деталей коробчастого перерізу зі звичайними та радіальними тонкошаровими елементами. З’єднання їх здійснюється зварюванням або за допомогою шпунта. Використовувалася технологія виготовлення блоків стільникової конструкції будь-яких розмірів із поліетиленової плівки на зварюванні. Вона розтягується на рами, що забезпечує

просторову стійкість [1]. Тонкошарові модульні блоки виготовляються як для відстійників з горизонтальним, так і з висхідним або низхідним перебігом.

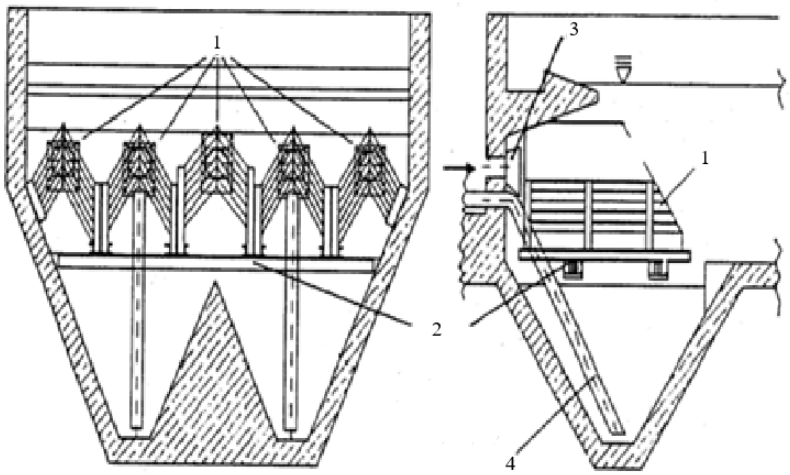


Рисунок 8.9 – Тонкошарові модулі V-подібної форми, розташовані у вхідній зоні відстійника:
1 – тонкошарові модулі; 2 – конструкція, що підтримує; 3 – вхідний розподільний пристрій; 4 – всмоктувальна труба для відведення осаду

Відстійники з висхідною або низхідною течією застосовуються зазвичай на невеликих установках для очищення природних вод, а також на промислових об’єктах для очищення стічних вод з флокуляцією та коагуляцією або без них. Тонкошарові елементи з горизонтальним і радіальним перебігом застосовують під час реконструкції горизонтальних і радіальних відстійників, у разі значних витрат води, що обробляється, а також нафто-, масло- і жироуловлювачів. Широко застосовується тонкошарове відстоювання та під час реконструкції споруд для очищення дощової води з доочищенням її фільтруванням через різні фільтруючі та сорбційні матеріали, для чого споруди доповнюються касетними фільтрами.

Існуючі споруди відстійного типу можуть бути модернізовані в тонкошарові відстійники з використанням всіх відомих конструктивних схем розміщення тонкошарових елементів в їхній відстійній зоні. Під час модернізації існуючих споруд геометричні розміри їх відомі, і завдання реконструкції полягає лише у визначенні доцільного розташування блоків тонкошарових елементів у відстійнику з урахуванням створення найкращих гідродинамічних умов їхньої роботи, а також у виборі типу елементів і призначенні їх конструктивних параметрів, що забезпечують необхідні технологічні показники. Таким чином, схема реконструкції діючих споруд, як зазначалося, багато в чому визначається місцевими умовами.

Комплекс підготовчих робіт із реконструкції споруд складається з таких етапів.

1. Встановлюються конструктивні особливості та режим роботи, оцінюються дійсні робочі параметри та технічний стан існуючих відстійників.

2. Зазначаються і розробляються можливі варіанти та схеми реконструкції (тип тонкошарових елементів у напрямку руху води, положення їх у відстійнику, кріплення блоків тонкошарових елементів, їхній матеріал, спосіб видалення осаду тощо).

3. За браком необхідних даних проводяться експериментальні дослідження з кінетики тонкошарового осадження суспензії в статичних умовах, аналізуються седиментаційні властивості суспензії, здійснюється технологічний розрахунок та встановлюється можливий ступінь підвищення продуктивності та ефекту очищення.

4. Перевіряється пропускна здатність водозбірних, підвідних та відвідних лотків та трубопроводів, систем видалення осаду.

5. Проводиться техніко-економічна оцінка розроблених варіантів реконструкції та відповідно до місцевих умов вибирається оптимальне (відповідне) рішення.

У радіальних та горизонтальних відстійниках тонкошарові елементи можуть бути розташовані на всю глибину відстійної зони або розміщені у верхній її частині. В останньому випадку зазвичай передбачається висхідний перебіг рідини в тонкошарових елементах і розосереджений відбір освітленої води. Під час використання всієї глибини відстійної зони радіальних відстійників найбільш простим і ефективним рішенням, що враховує їхні специфічні особливості (радіальний напрямок течії рідини у відстійнику до блоків тонкошарових елементів; впускні і водозбірні пристрої, що застосовуються в відстійниках), складені з однакових елементів змінного поперечного перерізу (рис. 8.1) з радіальним перебігом рідини. Такі блоки можуть займати всю глибину відстійної частини, просто і зручно вписуються в об’єм кільцевої відстійника, призначений для їхнього розміщення, не створюючи глухих невикористаних зон. У відстійнику вони можуть бути встановлені в один або кілька ярусів. Оптимальна відстань до них від центру відстійника $r_0 \cong 0{,}5 \cdot R$ (R – радіус відстійника).

Значно менші технологічні можливості дає застосування у схемах реконструкції радіальних відстійників призматичних трубчастих і поличкових блоків з висхідним, низхідним або горизонтальним перебігом рідини.

На рисунках 8.10, 8.11 показані схеми реконструкції відстійників із встановленням тонкошарових поличкових блоків у безпосередній близькості від водозбірного жолоба.

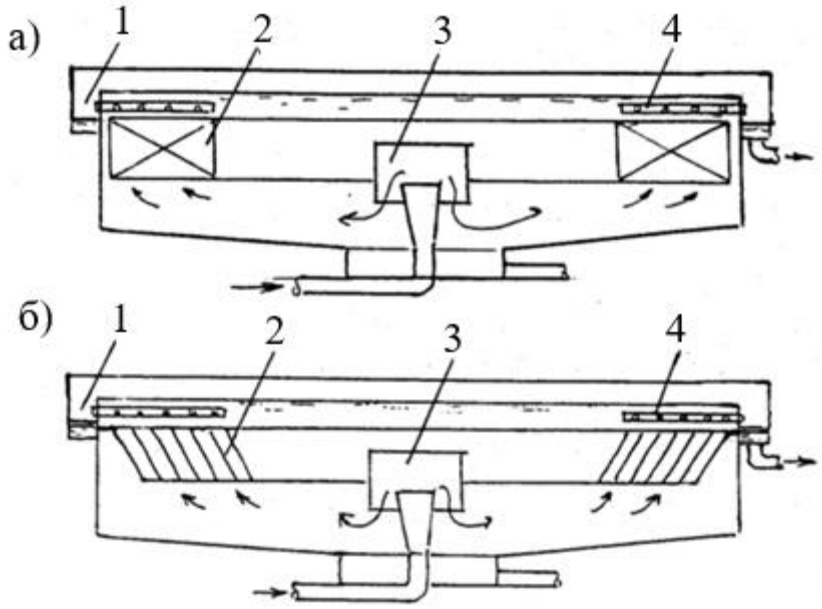


Рисунок 8.10 – Схема реконструкції радіального відстійника з установкою тонкошарових елементів із висхідним перебігом рідини у верхній частині відстійної зони біля водозбірного жолоба: а – з радіальними тонкошаровими елементами; б – з поличковими елементами звичайного нерадіального типу; 1 – водозбірний жолоб; 2 – блок тонкошарових елементів; 3 – впускний розподільний пристрій; 4 – трубчаста система розосередженого відбору освітленої рідини

У разі повного заповнення призначеного для блоків кільцевого об’єму, розташованого поблизу жолоба, окремі блоки повинні мати досить складну трапецієподібну форму. Причому всі полиці в такому блоці мають різні розміри, пов’язані з їх конкретним розташуванням в блоці щодо відстійника центру і поверхні рідини в ньому. За іншої конфігурації блоки не можна встановити впритул, без проміжків. Природно, що утворені при цьому незаповнені елементами обсяги необхідно ізолювати від загального потоку рідини, щоб забезпечити її освітлення в межах тонкошарових елементів. З цією ж метою у разі всіх варіантів модернізації звичайних відстійників у тонкошарові необхідно передбачати заходи, що запобігають руху рідини під блоками тонкошарових елементів і над ними, а також між блоками.

У всіх випадках і за всіх схем реконструкції особливу увагу потрібно звертати на рівномірність розподілу та водозбору рідини.

Підвищення гідравлічних навантажень під час реконструкції зазвичай вимагає влаштування додаткових водозбірних лотків з пристроями, що забезпечують їхню рівномірну роботу, або систем трубчастого водозбору.

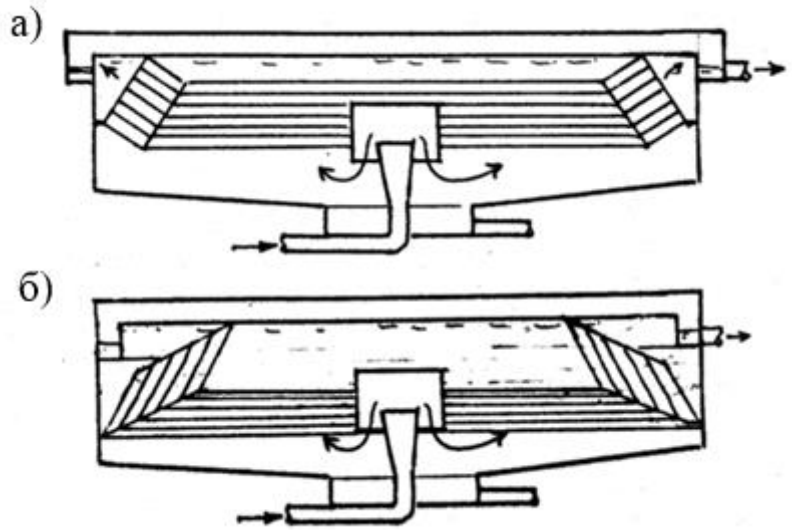


Рисунок 8.11 – Схема реконструкції радіальних відстійників без устрою системи розосередженого відбору рідини з використанням звичайних нерадіальних тонкошарових елементів поличного типу:
1 – водозбірний жолоб; 2 – блоки тонкошарових елементів;
3 – впускний пристрій

У загальному випадку довжина тонкошарового елемента визначається за такою залежністю, м:

$$L_n = \varphi \frac{V_0 \cdot 2h_0}{U_0 \cdot cos\alpha} \pm 2h_0[tg\alpha + ctg(\gamma + \alpha)], \qquad (8.2)$$

де φ – коефіцієнт, що враховує фактори, які негативно впливають на ефект осадження;

V_0 – середня швидкість потоку на вході в тонкошарові елементи, мм/с;

U_0 – розрахункова гідравлічна крупність частинок, що затримуються у відстійнику, мм/с;

$2h_0$ – глибина тонкошарового елемента (відстань між верхньою та нижньою стінками на вході в тонкошаровий елемент), м;

α, γ – кути нахилу тонкошарових елементів та їх вхідних перерізів до горизонту.

Другий член у формулі незначно впливає на розрахункову довжину і враховується тільки для відстійників з висхідно-низхідним перебігом рідини в тонкошарових елементах: у першому випадку зі знаком «мінус», у другому – зі знаком «плюс».

Значення коефіцієнта φ визначаються геометричними та гідродинамічними характеристиками тонкошарових елементів та умовами їхнього розміщення у відстійнику. Для відстійників, обладнаних сучасними конструкціями впускних та водозбірних пристроїв, що забезпечують досить рівномірний розподіл потоку по перерізу на вході в блоки тонкошарових елементів, значення коефіцієнта рекомендується визначати залежно від $\frac{L_n}{h_0} \cdot R_e$:

$L_n/h_0 \cdot R_e$.	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0	2,0	4,0
φ	1,78	1,61	1,48	1,42	1,38	1,35	1,28	1,22	1,17

Під час реконструкції відстійників орієнтовні максимально можливі розміри блоків тонкошарових елементів зазвичай визначаються конструктивно, з огляду на розміри існуючих споруд, що споруджуються, а потім уточнюються розрахунком. Максимально можливе підвищення їхньої продуктивності визначається за такою формулою:

$$\eta = \frac{1}{2 \cdot \varphi \cdot K_{\text{о.в}}} \cdot \left(\frac{\text{H}_0}{2h_0} \cdot cos\alpha\right)^n, \qquad (8.3)$$

де $K_{о.в}$ – коефіцієнт об'ємного використання звичайного відстійника, що реконструюється;

H_0 – глибина відстійної зони;

n – коефіцієнт агломерації.

Результати розрахунків та наявний практичний досвід показують, що у разі оптимально вирішеного проєкту реконструкції може бути досягнуто для агломеруючої суспензії типу суспензії побутових вод (n = 0,25) 2–3-кратне збільшення продуктивності порівняно зі звичайними відстійниками. Для слабкоагломеруючої суспензії (n = *0,5* і більше) можна досягти 10-кратного збільшення продуктивності.

За тієї ж продуктивності тонкошарового відстійника, що і звичайного, гідравлічна крупність частинок, що затримуються у відстійник $\text{U}_{\text{о.п}}$ зменшується за такою залежністю:

$$U_{o.n} = 2 \cdot \varphi \cdot K_{o.\text{в}} \cdot \left(\frac{2h_0}{H_0 \cdot cos\alpha}\right)^n \cdot U_0. \qquad (8.4)$$

Максимально досяжний ефект очищення в реконструйованому відстійнику після оснащення його тонкошаровими елементами:

$$E = E_0 \left(\frac{H_{\text{ц}}}{t_{пр}} \cdot \frac{m_n^n}{2\varphi K_{\text{о.в}} U_0}\right)^{\frac{a}{H_{\text{ц}}} 2\varphi K_{\text{о.в}}/m_n^n}, \qquad (8.5)$$

де E_0 – реально досяжний ефект тонкошарового відстоювання, %;

a – параметр кривої кінетики тонкошарового відстоювання, що залежить від властивостей рідини та забруднень, що містяться в ній (визначається дослідним шляхом);

m_n – загальна кількість елементів за висотою блока (за глибиною відстійної зони)

$$m_n = \frac{H_0}{2h_0 cos\alpha}. \tag{8.6}$$

Параметри седиментаційної кривої кінетики тонкошарового відстоювання E_0 та a знаходяться за даними лабораторних дослідів за відомою методикою для стандартних умов у разі $H_ц$ = 100 мм та $t_{пр} \leq 30$ хв.

Таким чином, ступінь підвищення ефекту очищення під час реконструкції залежить від величини ефекту, що досягається в існуючому звичайному відстійнику кількості встановлених тонкошарових елементів, закономірностей кінетики тонкошарового осадження суспензії, тобто конкретних параметрів седиментаційної кривої та агломераційних властивостей суспензії, що характеризуються коефіцієнтом гравітаційної коагуляції n. В усіх випадках число Рейнольдса потоку в тонкошарових елементах має перевищувати його критичного значення, тобто $Re < Re_{кр}$.

Під час реконструкції радіальних відстійників (див. рис. 8.10, 8.11), а також горизонтальних тонкошарові елементи найчастіше мають у своєму розпорядженні не на всю глибину відстійної зони, а тільки у верхній частині біля периферійного водозбірного жолоба. Під час реконструкції вертикальних відстійників може бути використане радіальне розташування полиць, що утворюють тонкошарові елементи, а також різні варіанти обладнання їх блоками нерадіальних поличних елементів (рис. 8.12).

Реконструкція за першим варіантом (рис. 8.12, *а*) здійснюється за допомогою установки блоків, в яких всі полиці мають однакові розміри, що полегшує їх виготовлення. Під час реконструкції за другим варіантом (рис. 8.12, *б*) конструкція блока і його виготовлення складніше, оскільки всі полиці в блоці мають різні розміри. Схема реконструкції існуючих звичайних відстійників в тонкошарові, як уже зазначалося, істотно залежить від особливостей їх конструкції та інших технологічних параметрів, що мають різні індивідуальні особливості, які необхідно ретельно аналізувати і враховувати під час розробки проєкту.

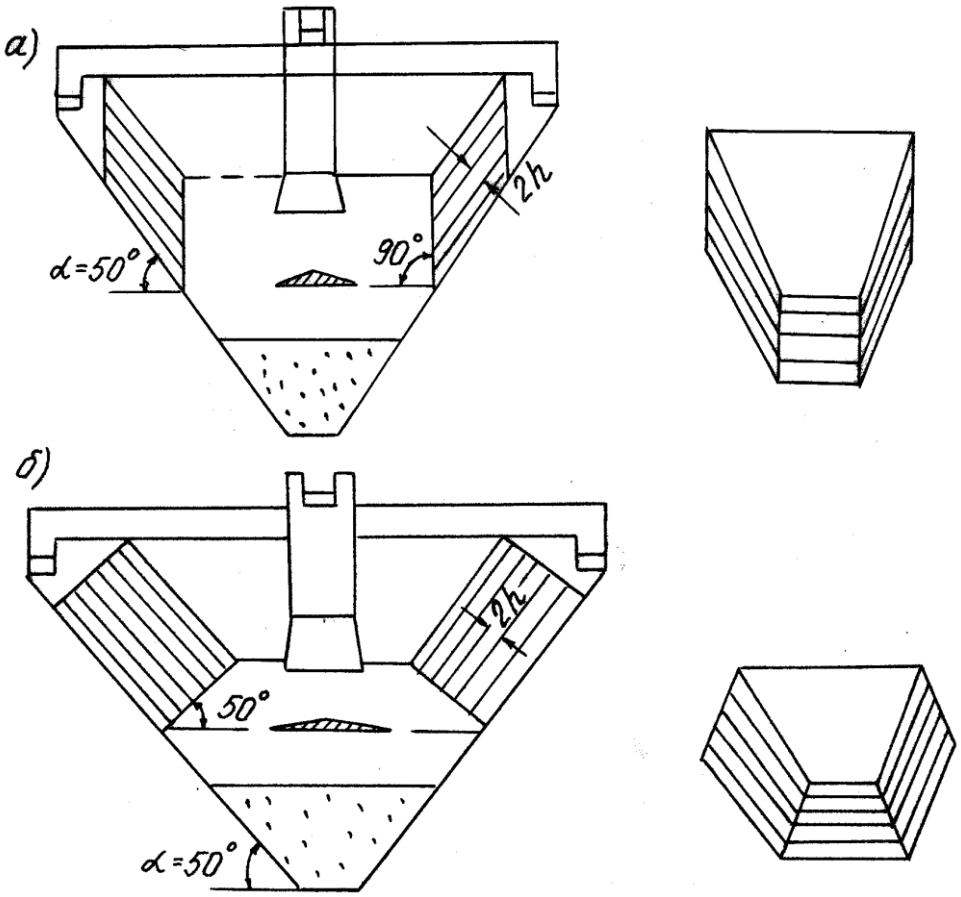


Рисунок 8.12 – Схема реконструкції вертикального відстійника з використанням двох варіантів поличних блоків:
а – з однаковими тонкошаровими елементами; б – з різними за розмірами тонкошаровими елементами

За більш ніж 30-річний період інтенсивного застосування принципів тонкошарового відстоювання в практиці очищення природних і стічних вод за кордоном накопичено великий досвід модернізації традиційних відстійників. Можливі схеми реконструкції їх з метою інтенсифікації роботи надзвичайно різноманітні і, як зазначалося вище, багато в чому визначаються конкретними місцевими умовами. У цій темі наведено приклади конструктивного рішення схем тонкошарових відстійників, які можуть бути використані під час розробки конкретних проєктів реконструкції споруд, що застосовуються в системах промислового водопостачання та водовідведення, а також приклади їх проєктування та розрахунку.

Контрольні питання

1. Назвіть основну мету реконструкції систем і об’єктів водопостачання та водовідведення на промислових підприємствах.

2. Наведіть одним із перспективних напрямків, від успішності якого залежить обсяг водоспоживання в промисловості.

3. Які розрахунки проводяться під час підготовки проєкту реконструкції системи водопостачання на промисловому підприємстві?

4. Яка необхідність модернізації часто виникає під час реконструкції систем охолодження?

5. Наведіть методи реконструкція споруд механічного очищення промислових стічних вод.

6. Опишіть методи реконструкції споруд механічного очищення з використанням принципів тонкошарового відстоювання.

7. Що належить до специфічних особливостей тонкошарових відстійників?

8. Що необхідно враховувати під час вибору матеріалу для виготовлення тонкошарових елементів?

9. Навіщо під час очищення води застосовують тонкошарові модулі?

10. Перелічить, з яких етапів складається комплекс підготовчих робіт із реконструкції споруд очищення виробничих вод?

11. На що необхідно звертати особливу увагу у всіх випадках і за всіх схем реконструкції споруд механічного очищення стічних виробничих вод?

Тема 9 Модернізація і реконструкція споруд біологічного очищення промислових стічних вод

Вибір методу очищення стічних вод – складне комплексне техніко-економічне завдання, що залежить від багатьох факторів: якісного і кількісного складу виробничих стічних вод, що очищаються, вимог до ступеня очищення, кліматичних і геологічних умов, характеру ґрунтів, наявності площ на промисловому майданчику та інших факторів.

Під час вибору методу необхідно враховувати, що об’єкт належить до підприємств харчової промисловості і знаходиться в межах міста, а отже, має високі критерії охорони навколишнього середовища. На рисунку 9.1 наводяться методи очищення та діапазони, у яких застосування цих методів виправдане та ефективно. Цей графік побудований на основі ретельного аналізу існуючих методів очищення стічних вод, з урахуванням світових досягнень у цій галузі.

Як видно з рисунка 9.1, скорочення споживання свіжої води на тонну продукції призводить до того, що концентрація забруднень у стічних водах молокозаводу зростає. Аналізуючи подані дані можна зробити висновок, що за наявності висококонцентрованих стічних вод, коливань навантажень по ХСК, жирів – процес видалення яких є проблемою для аеробного очищення та перевагою для анаеробного, єдиний шлях вирішення поставленого завдання – застосування комбінації анаеробного очищення з фізико-хімічними методами.

Рисунок 9.1 – Споживання води на одиницю молока, що переробляється, $м^3/т$

Серед усіх способів обробки промислових і побутових стічних вод вважаються найбільш екологічно безпечними біологічні методи. По-перше, біологічне очищення спирається на природні процеси, а отже, у ньому ключову роль відіграє здатність гетеротрофних мікроорганізмів засвоювати поряд з органічними компонентами в стічних водах (наприклад, спирти, білки, вуглеводи тощо) і певними неорганічними речовинами (аміак, нітрати, фосфати, солі тощо).

Контактуючи з цими сполуками, мікроорганізми під час отримання енергії частково їх розщеплюють, перетворюючи на воду, вуглекислий газ, аніони (наприклад, сульфатні) і катіони окремих металів, а частково споживають їх для власного розмноження, тобто нарощування біомаси. По-друге, у мікроорганізмів притаманна властивість швидкого згортання та формування колоній, що спрощує їх відокремлення від очищеної води.

У результаті досліджень встановлено, що застосування для очищення стічних вод реагентної флотації дозволяє довести вміст жирів, завислих речовин до вимог норм скидання каналізацію. Однак ефект очищення органічних речовин (ХСК/БСК) досягає лише 35 %, що явно недостатньо для досягнення необхідної якості очищення.

Тільки застосування комбінації цих методів очищення дозволить досягти необхідного результату, тому що кожен з них вирішує своє конкретне завдання, готуючи воду для подальшої обробки. На стадії фізико-хімічної очистки відбувається видалення завислих речовин, що перешкоджають роботі реактора,

жирів і нерозчинного ХСК, а на стадії анаеробного очищення відбувається видалення розчинного ХСК.

Вирішення проблеми можливо доведенням характеристик стічних вод до норм скидання у каналізацію.

Це рішення ґрунтується на застосуванні інноваційної технології анаеробної ферментації висококонцентрованих стічних вод. Технологія анаеробної ферментації стійка до залпових скидів органічних речовин, і навіть до їхньої нестачі (низької концентрації ХСК у стоках), тому що це не призводить до загибелі біомаси мікроорганізмів. Це важлива перевага цього методу, тому що стоки підприємства, які характеризуються нестабільним складом протягом доби, значно змінюються, а застосування цієї технології дозволяє не залежати від зміни характеристики стічних вод і забезпечує надійне та ефективне очищення.

Можлива технологія очищення стічних вод молочного виробництва наведена на рисунку 9.2

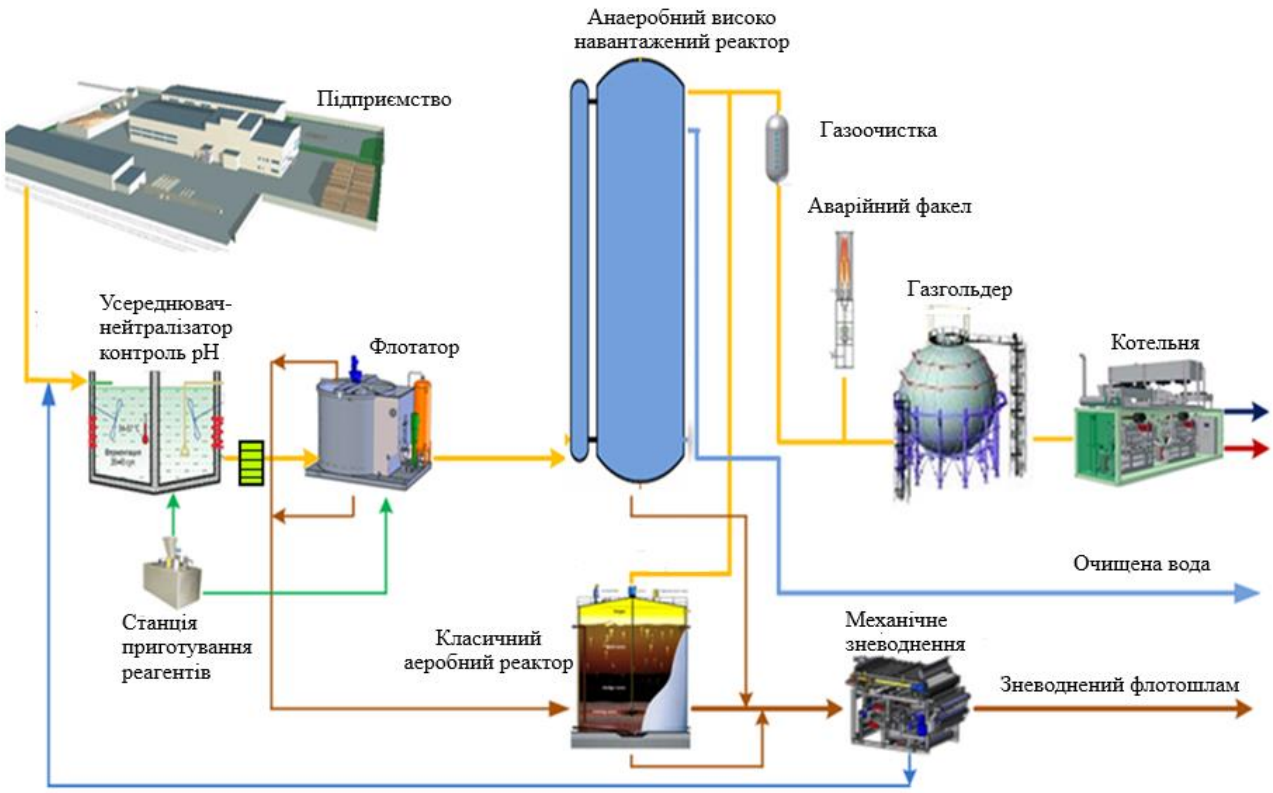


Рисунок 9.2 – Можливе застосування технології очищення стічних вод від молочного виробництва

Першим етапом є етап механічного очищення. Стоки подаються на механічні решітки, що запобігають попаданню великих частинок на наступні стадії очищення. Далі стічні води надходять у приймальну камеру, звідки

насосом подаються в середню ємність – металевий резервуар, обладнаний мішалкою пропелерного типу для рівномірного перемішування та запобігання утворенню осаду.

У середній ємності відбувається контроль параметрів висококонцентрованих стічних вод, а за необхідності доведення їх до необхідних показників за рахунок дозування реагентів. Потім усереднені стоки надходять на флотатор, в якому за рахунок застосування фізико-хімічного методу очищення відбувається видалення зважених частинок і жирів.

Очищена вода (концентрація завислих речовин менше 100 мг/дм^3) подаються в анаеробний реактор. У результаті ферментації в анаеробному реакторі відбувається розкладання органічних забруднень стічних вод на газову складову, при цьому концентрація ХСК зменшується на 90 %.

Флотошлам (вологістю приблизно 96 %) подається на фільтр-прес. Після зневоднення флотошлам має вологість приблизно 75 % та придатний для утилізації. Фільтрат після зневоднення флотошламу надходить в усереднювач.

Біогаз, що утворився в анаеробному реакторі, зі вмістом метану 70–85 % (теплотворна здатність – 28 МДж/м^3) очищається від вологи і сірки в блоці газоочищення і надходить у газгольдер. У газгольдері відбувається накопичення біогазу і усереднення його за тиском і концентрацією. У системі передбачено аварійний факел на випадок позаштатної або аварійної ситуації для прямого спалювання біогазу. З газгольдера біогаз можна скеровувати в котельню підприємства або когенерацію для отримання електроенергії.

У процесі очищення води на флотаторі утворюється флотошлам, який є висококалорійним добривом через наявність у ньому органічних речовин, а також вміст азоту та фосфору. Існують інші варіанти його утилізації. Одним із них є звичайний вивіз на полігони твердих побутових відходів (ТПВ) після додаткового зброджування. Зневоднений флотошлам також є гарним паливом і існує можливість його спалювання у будь-яких твердопаливних печах. Теплота згоряння флотошламу вище, ніж у бурого вугілля. Остаточний спосіб утилізації флотошламу визначається на стадії розробки проєктної документації під кожне підприємство з урахуванням побажань замовника.

У результаті реалізації цієї схеми відбувається зменшення концентрації ХСК/БСК на 90 % разів та видалення завислих речовин на 95 %, що дозволяє довести стоки підприємства до норм скидання в каналізацію.

Впровадження цієї технології на молочному виробництві дозволить гарантовано довести характеристики висококонцентрованих стічних вод до

норм скидання в каналізацію, при цьому буде вироблено біогазу з вмістом метану приблизно 70 %.

Для обслуговування ділянки попереднього очищення за оцінками потрібно лише близько трьох робочих годин на день для контролю за технологічними параметрами процесу та технічного обслуговування.

Необхідно зазначити, що пропоновані очисні споруди закритого типу, що унеможливлює контакт з навколишнім середовищем, і на них передбачена витяжна вентиляція. Запропоноване рішення повністю відповідає вимогам до організації санітарно-захисної зони відповідно до нормативних документів та вимог органів СЕС.

Таким чином, пропонована технологія очищення висококонцентрованих стічних вод від молочних виробництв, заснована на комбінації застосування методу анаеробної ферментації з реагентною флотацією, дозволяє гарантовано досягти вимог щодо скидання стічних вод підприємства до міської мережі каналізації.

Таким чином, технологія метанового зброджування на сьогоднішній день є найбільш ефективною. Попереднє очищення анаеробної обробки методом метанового зброджування, який, не вимагаючи витрат на аерацію та реагенти, дозволяє трансформувати органічні забруднення в цінний енергоносій — метан, що призводить до утворення значно меншої кількості надлишкового мулу. В останні роки сферу застосування анаеробної обробки стічних вод було значно розширено на основі використання інтенсивних технологій із застосуванням принципу утримання біомаси в реакторі за рахунок водообігу. Низка фірм у Німеччині, Франції, Голландії та інших країнах розпочали серійний випуск як самих анаеробних реакторів, так і комплектних очисних споруд для підприємств харчової промисловості в цілому, та молочної промисловості зокрема.

Сучасний світовий досвід будівництва та експлуатації очисних споруд показує, що для підприємств харчової промисловості оптимальним є використання аеробних, анаеробних або поєднання анаеробних та аеробних методів очищення стічних вод. У таблиці 9.1 наведено рекомендації європейських фахівців щодо оптимізації способу очищення.

Ще один плюс метанового зброджування – енергозбережувальні технології очищення стічних вод молокопереробних підприємств з отриманням біогазу та подальшої його утилізації в когенераційних установках із отриманням електроенергії та теплової енергії.

Таблиця 9.1 – Способи очищення стічних вод, оптимальні для підприємств харчової промисловості, залежно від надходження ХСК

№ п/п	Надходження ХСК на добу	Найбільш оптимальний спосіб очищення стічних вод
1	до 400 кг	Окислення та аерація у відкритому обсязі, аеробна біофільтрація
2	більш 400 кг	Аеробне очищення слабко забруднених стічних вод зі стабілізацією мулу
3	до 1 500 кг	Установка двоступеневого аеробного очищення, біофільтр зі штучного матеріалу в комбінації з аеробним мулом
4	більше 1 500 кг	Поєднання аеробного та анаеробного способів очищення стічних вод

Крім того, на багатьох молокопереробних підприємствах, які виробляють тверді сири, утворюється велика кількість підсирної сироватки, яка практично не придатна для подальшої переробки, та з утилізацією якої багато підприємств мають серйозні проблеми. Ця сироватка може успішно використовуватися для виробництва біогазу.

Метанове бродіння використовується як попередня стадія очищення концентрованих стоків з подальшим аеробним доочищенням. При цьому утворюється велика кількість біогазу із вмістом метану до 60–80 %.

Вода, очищена на 60–80 % із застосуванням анаеробного методу, прямує на існуюче аеробне доочищення в аеротенк, де досягається необхідний ступінь її очищення.

Метан-реактори дозволяють отримувати на виході стічної води з БСК – 100–300 мг·O_2/л, вихід біогазу становить 0,6 л/кг ХСК. Ступінь очищення за ХСК, БСК досягає 80–95 %, за завислими речовинами – більше 85 %.

У разі концентрації забруднень на вході (за ХСК) 2 000–20 000 мг/дм^3 потужність реактора, що зброджує, досягає (за ХСК) 10–40 кг/м^3 на добу, час перебування стічної води в реакторі 20–30 год. Процес метаноутворення практично відразу відгукується на зміну навантаження на реактор, короткочасних перерв у поданні стічної води.

Витрати електроенергії на 1 кг віддалених забруднень (за ХСК) для анаеробно-аеробного процесу становлять 0,2–0,4 кВт год/кг ХСК, що також у десять і більше разів нижче за показники, типові для аеробних процесів. При цьому кількість надлишкового мулу, що утворюється (сума анаеробного і аеробного) становить 0,14–0,18 кг/кг ГПК (за абсолютно сухими речовинами), що в 2–3 рази менше, ніж у разі використання тільки аеробного процесу.

Як показав досвід заводів, застосування сучасних анаеробних реакторів для очищення стічних вод дозволяє вирішити відразу кілька проблем: забезпечити високу продуктивність очисних споруд, підвищити якість очищення стічної води, різко зменшити кількість надлишкового мулу і за рахунок використання біогазу, що утворюється на підприємстві, зменшити споживання покупного газу. При цьому локальні установки для видалення жиру та завислих речовин зі стічної води не потрібні. Навпаки, концентровані забруднення – жири, білки, вуглеводи мають бути спрямовані безпосередньо і без втрат на біологічне очищення та зазнати біоконверсії для отримання максимальної кількості біогазу.

Технології дають можливість використання біогазів, газів стічних вод, синтез-газів та інших спеціальних газів для отримання електроенергії та теплової енергії. Постійне вдосконалення двигунів та спеціалізація на використання спеціальних газів забезпечують можливість застосування газів з низькою теплотою згоряння.

Анаеробне очищення стічних вод – це біологічний метод, для якого характерно виробництво метану (CH_4). Всі активні мікроорганізми в цьому випадку належать до групи анаеробних бактерій, тобто бактерій, які існують, і зазвичай тільки й можуть існувати без кисню. У цьому контексті ключові позиції займають бактерії, продуктом життєдіяльності яких є метан. Процес анаеробної деградації органічних матеріалів відбувається у чотири стадії – гідроліз, окислення, утворення аніонів оцтової кислоти та утворення метану. Зазвичай кожна стадія реалізується за допомогою особливої популяції бактерій. Умови, за яких анаеробний процес протікає оптимальним чином, визначаються насамперед температурним режимом, pH, токсичністю середовища та наявністю необхідних поживних речовин. Анаеробний процес має низку переваг порівняно з іншими очисними спорудами для виробничих стоків заводів.

Мул росте повільно, тому що понад 75 % віддаленого ХСК перетворюється на метан. Можна стверджувати, що цей процес максимально дає 0,05 кг виробництва мулу на кг ХСК. Якщо взяти до уваги проблеми з розміщення мулу від аеробних очисних споруд, то це велика перевага. Наведені значення виходу активного мулу (0,05 кг на кожний кг переробленого ХСК) є максимальним значенням. Номінальним значенням потрібно вважати 0,02 кг на кожний кг переробленого ХСК. Таким чином, необхідно очікувати, що навіть у разі максимального завантаження на добу утворюватиметься не більше однієї тони мулу. Вироблений мул повністю стабілізований (без запаху) і має добрі

зневоднюючі властивості. Анаеробний мул може зберігатися за температури нижче ніж 20 °С без підживлення або будь-яких особливих заходів протягом тривалого часу, не втрачаючи активності.

Швидкість, з якою протікають мікробіологічні процеси розкладання при анаеробному очищенні – особливо утворення метану, залежить від температури.

Оптимальна температура становить 37 °С. За температури вище ніж 41 °С бактерії дуже швидко руйнуються. За температури між 26 °С і 32 °С швидкість анаеробного розкладання дещо обмежена, але в цьому випадку перевагою може виявитися те, що відбувається без додаткового підігріву стічних вод. За температур нижче ніж 10 °С процес практично зупиняється, проте бактерії легко реактивуються, якщо температура знову піднімається. Коливання температури, таким чином, є абсолютно шкідливими для процесів розкладання. Якщо ж вони виходять за оптимальний рівень, це може негативно вплинути на активність і продуктивність біомаси.

Для анаеробного процесу утворення метану необхідно значення pH від 6,8 до 7,5, проте значення pH у метановому реакторі може коливатися від 6,5 до 8,0, не призводячи до важких аварій.

У результаті процесів, що відбуваються в басейні усереднення і кондиціонувальних резервуарах, значення pH схиляється до зниження, тому необхідно додавати луг (наприклад, у формі NaOH), щоб утримати значення pH в оптимальній зоні.

Коливання значень pH у вихідних стічних водах (внаслідок застосування кислот або лугів на виробництві) роблять необхідним регулювання значення pH ємності кондиціонування за допомогою лугу або соляної кислоти. Крім того, частина стоку з реактора повертається в кондиціонувальний резервуар, що також дозволяє вирівнювати значення pH.

Довгий час виходили з того, що метаногенні бактерії дуже чутливі до токсичних речовин. Це заважало поширенню анаеробних методів. У міру поліпшення розуміння мікробіологічних механізмів, що діють, стало зрозуміло, що можливі заходи проти впливу більшості токсичних речовин. Зокрема концентрація твердих речовин і жирів на вході повинна бути якомога нижчою, щоб уникнути накопичення цих речовин в анаеробному реакторі та гранульованому шламі.

Аеротенк – очисна споруда, в якій функції очищення здійснює вільно плаваючий активний мул, що примусово обробляється повітрям або киснем. Біофільтр – це споруда біологічної очистки з фіксованою біомасою,

закріпленою на поверхні середовища-носія (завантажувального матеріалу), яка здійснює процеси вилучення та складної біологічної переробки забруднень зі стічних вод. Мікроорганізми біоплівки в процесі ферментативних реакцій окислюють органічні речовини, отримуючи при цьому живлення та енергію, необхідні для своєї життєдіяльності. Частина органічних речовин мікроорганізми використовують як матеріал збільшення своєї маси. Таким чином, у процесі метаболічних реакцій відбувається перетворення забруднень на прості сполуки (вода, мінеральні сполуки та гази), в результаті зі стічної води видаляються органічні забруднення, проходять процеси денітрифікації та збільшується маса активної біологічної плівки в тілі біофільтра. Відпрацьована і омертвіла плівка змивається і виноситься з тіла біофільтра стічною водою, що протікає.

Ще один проєкт технології метанового зброджування успішно впроваджений, інноваційний спосіб переробки кисломолочної сироватки та очищення стоків на молокопереробних підприємствах. Це анаеробний (без доступу кисню) метод біологічної очистки з виробленням біогазу.

Анаеробні системи біологічної очистки (ферментери, реактори) є найефективнішими системами очищення. Вони дозволяють не лише зменшити рівень забруднень стоків та утилізувати відходи молокопереробного виробництва, а й виробити біогаз, який застосовується для вироблення електричної та теплової енергії. Це єдина система очищення, яка дозволяє привести відходи виробництва до енергетичного балансу підприємства та отримати додатковий прибуток (рис. 9.3).

Відходи молокопереробних (харчових) підприємств надходять із виробництва теплими. Для початку ферментації немає необхідності у підігріві. Оскільки лактоза у сироватці вже значною мірою розклалася на галактозу та глюкозу, ферментація порівняно з іншими видами субстрату відбувається набагато швидше.

У результаті ферментації в анаеробному реакторі відбувається перетворення органічних забруднень стоків на газову складову. При цьому концентрація ХСК, БСК зменшується у 8–10 разів.

Після анаеробної стадії очищення стоки можуть бути спрямовані на біологічні (компактні) очисні споруди. Рівень забруднення стоків після такого очищення відповідає нормам скидання у водні об’єкти.

Біогаз, що утворився в результаті анаеробного очищення стоків, має вміст метану до 70 %. Він збирається в окремому газгольдері і після очищення від сірки подається на газопоршневу теплоелектростанцію (ТЕС) для виробництва

електричної та теплової енергії. Загальний ККД обладнання, що генерує, досягає 95 %. На сьогодні цей спосіб виробництва енергії є найбільш економічно ефективним.

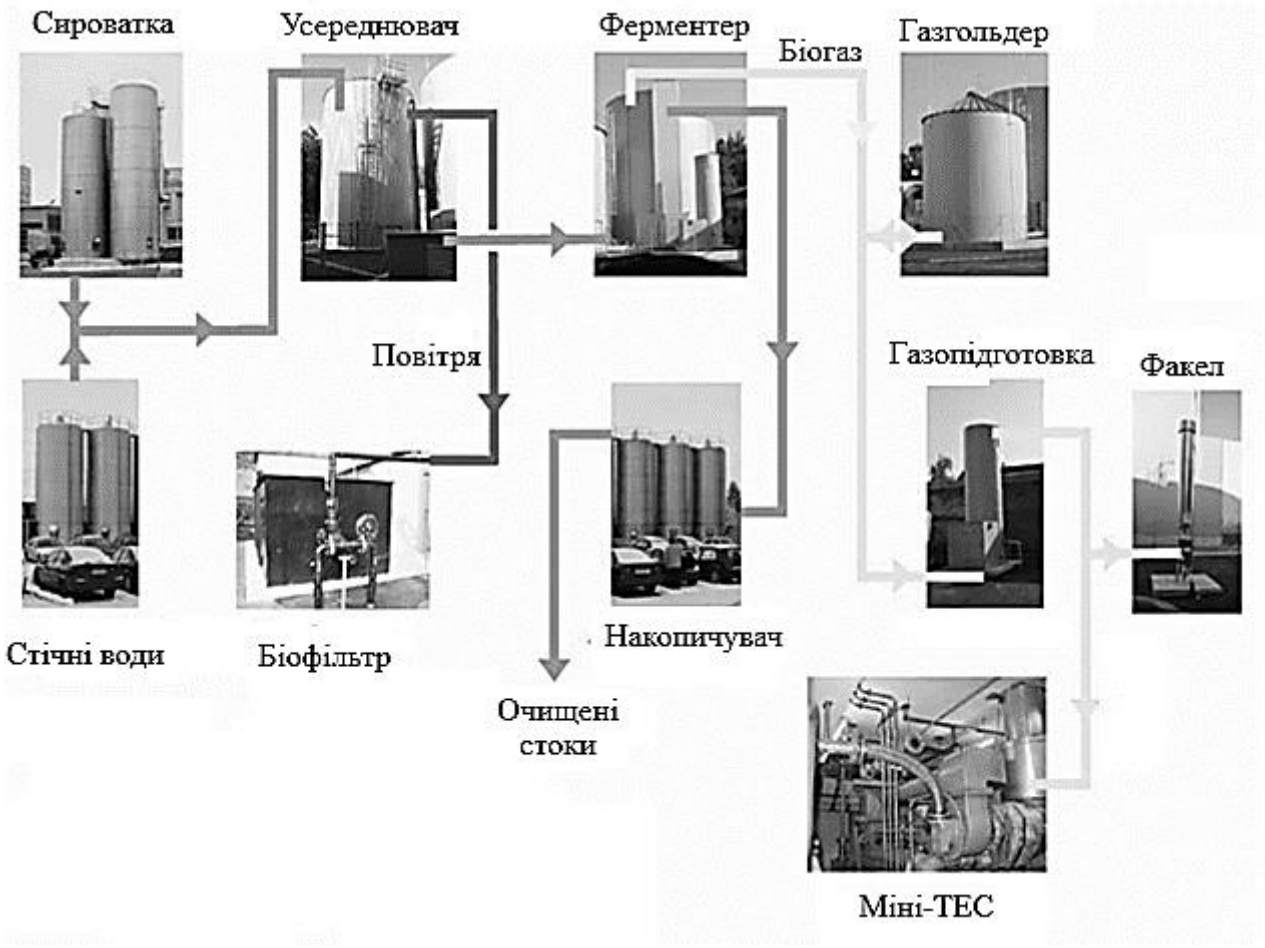


Рисунок 9.3 – Схема біологічної очистки стічних вод для молочної промисловості

Анаеробні системи біологічного очищення типу анаеробного реактора (ферментера) із видобутком біогазу складаються із посередньої ємності, реактора, сховища біогазу та аварійної газової свічки. Якщо на молокопереробному (харчовому) підприємстві вже є власна котельня, то біогаз після очищення можна скерувати в котли для отримання технологічної пари, ГВП та опалення, тим самим замінюючи види палива.

Для обслуговування анаеробних систем біологічної очистки анаеробним реактором (ферментером) за оцінками дослідників потрібно всього близько трьох робочих годин на день на проведення аналізів та технічного обслуговування. Ця установка обладнана дистанційною системою керування та має з’єднання з мережею «Інтернет» для дистанційного контролю та керування.

Контрольні питання

1. Що таке вибір методу очищення виробничих стічних вод?
2. Від яких факторів залежить вибір методу очищення виробничих стічних вод?
3. Який можна зробити висновок, аналізуючи дані, подані під час біологічного очищення виробничих стічних вод?
4. Назвіть серед усіх теперішніх способів обробки промислових і побутових стічних вод найбільш екологічно безпечні біологічні методи.
5. Яке застосування комбінації методів дозволить досягти необхідного результату очищення стічної води?
6. Опишіть технологію анаеробної ферментації висококонцентрованих стічних вод.
7. Назвіть отримані результати реалізації схеми з застосуванням анаеробної ферментації.
8. Чому на сьогоднішній день технологія метанового зброджування стічних вод молокопереробного виробництва є найбільш ефективною?
9. Які проблеми дозволяє вирішити застосування сучасних анаеробних реакторів для очищення виробничих стічних вод?
10. Опишіть, що таке анаеробне очищення виробничих стічних вод.
11. Що таке аеротенк під час очищення виробничих стічних вод?
12. Чому анаеробні системи біологічної очистки (ферментери, реактори) є найефективнішими системами очищення?
13. Які проблеми дозволяють вирішити застосування анаеробних систем біологічної очистки (ферментери, реактори)?
14. Що відбувається в анаеробному реакторі в результаті ферментації?
15. Яка схема біологічної очистки стічних вод для молочної промисловості найбільше підходить для реконструкції?

Тема 10 Модернізація і реконструкція споруд з використанням фізико-хімічних методів та методів флотації і фільтрації

Одним з ефективних способів інтенсифікації видалення зі стічних вод нерозчинних домішок та деяких розчинних речовин є флотація та фільтрація. Сутність флотаційного процесу очищення полягає в прилипанні забруднень до спеціально введених бульбашок тонко диспергованого повітря і спливання на поверхню води комплексів, що утворюються, – частинка-бульбашка.

Прилипання частинок, що знаходяться в стічній рідині, до поверхні газової бульбашки залежить від багатьох факторів, зокрема від кількості доданого повітря, ступеня змочування поверхні, частоти зіткнень частинок з бульбашками повітря, сил взаємного тяжіння та відштовхування частинки і бульбашки, форми частинок, їхніх розмірів, фізико-хімічних властивостей дисперсійного середовища тощо, що необхідно враховувати під час розробки проєкту реконструкції споруд із використанням методу флотації.

У техніці флотації використовують кілька способів насичення рідини бульбашками повітря:

– компресійний (напірний) спосіб, що передбачає розчинення повітря рідини за підвищеного тиску;

– механічний спосіб диспергування повітря за рахунок інтенсивного перемішування рідини та повітря;

– диспергування повітря шляхом пропускання через поруваті матеріали;

– електричний спосіб, коли насичення стічної рідини бульбашками газу забезпечується за рахунок електролізу води;

– хімічний спосіб, за якого бульбашки газу утворюються внаслідок хімічних реакцій деяких реагентів зі стічною водою;

– вакуумний спосіб за рахунок зниження тиску.

З перерахованих способів у наш час широке застосування отримав спосіб напірної флотації. Цей спосіб використовується для очищення природних вод, а також побутових та виробничих стічних вод, які забруднені відходами нафти, продуктами її переробки, продуктами органічного синтезу, синтетично поверхнево-активними речовинами (СПАР), тонкодиспергованими легкими зависями, активними мулами тощо.

У вітчизняній практиці застосовуються такі технологічні схеми очищення води та стічних вод методом напірної флотації (рис. 10.1):

– прямоточна, коли весь об’єм рідини, що обробляється, подається в сатуратор (напірний бак);

– рециркуляційна, коли в сатуратор подається 20–50 % освітленої (робочої) рідини;

– частково прямоточна, коли в сатуратор надходить близько 30–70 % неочищеної стічної рідини, а решта прямує безпосередньо у флотокамеру.

Під час реконструкції споруд для очищення природних вод, доочищення біологічно очищених стічних вод та ущільнення активних мулів найчастіше застосовується рециркуляційна схема.

Під час розробки проєкту реконструкції зазвичай виконуються такі умови.

1. Кількість вихідної води або стічної (освітленої) рідини, що надходить до сатуратора (напірний бак), передбачають 20–50 % від необхідної продуктивності.

2. Кількість рідини, що видаляється із пінним продуктом, обирають від об'єму очищеної рідини 0,1–1,5 %.

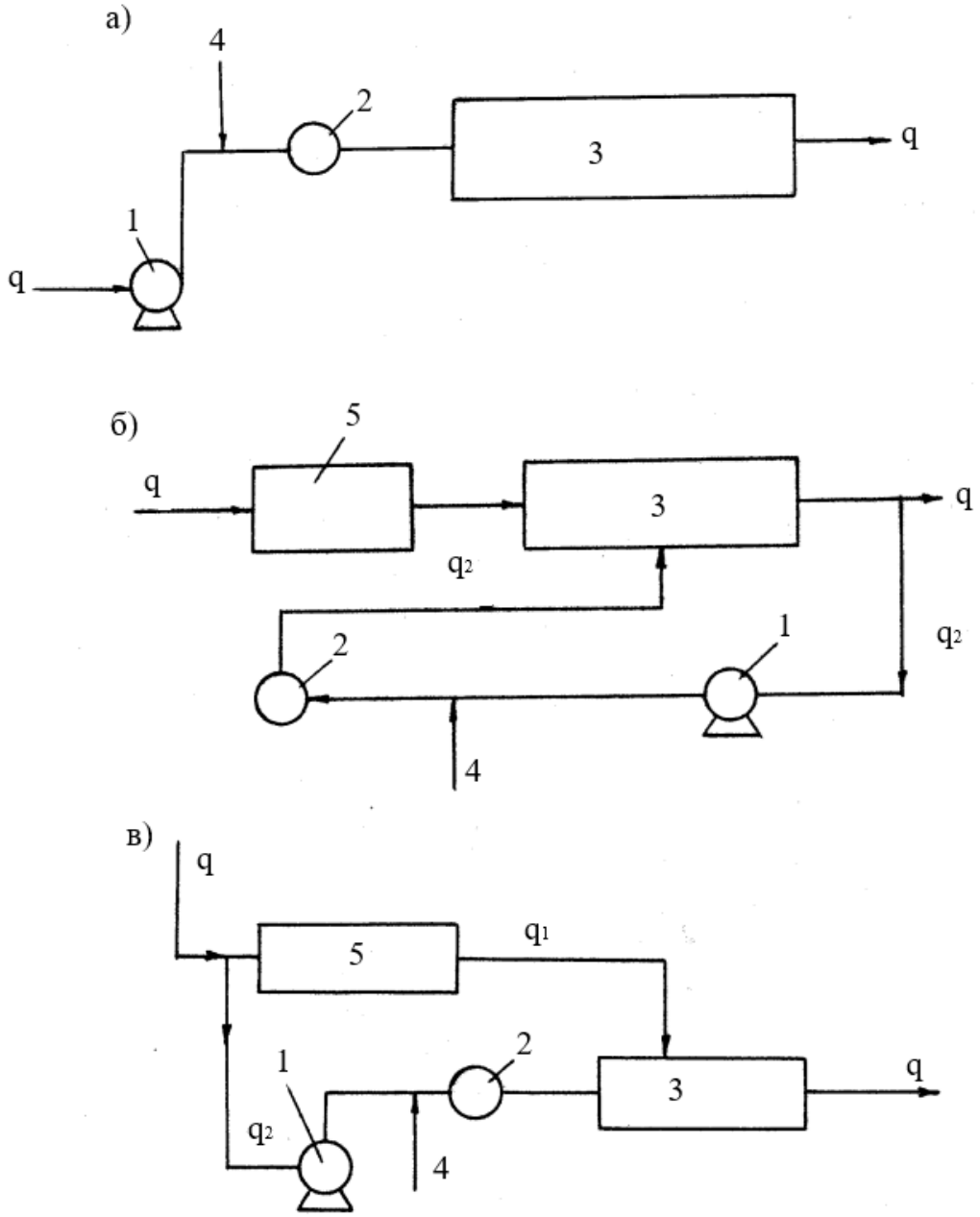


Рисунок 10.1 – Принципова схема реконструкції споруд із використанням методу флотації:
а – прямоточна; б – рециркуляційна; в – частково прямоточна;
1 – насос для подачі рідини; 2 – сатуратор; 3 – спорудження, що реконструюється; 4 – подача повітря; 5 – змішувач (у разі роботи з флокулянтами та коагулянтами)

3. Можливий коефіцієнт коливання витрати води або ущільненого на установці мулу 1,2.

4. Додавання повітря до системи флотаційних установок компресором або ежектором згідно зі схемами, наведеними на рисунку 10.1. Кількість повітря, що подається в сатуратор для повного розчинення рідини, залежить від температури і тиску і визначається за спеціальними графіками. Кількість повітря, визначеного за графіками, рекомендується збільшити на 10–20 %.

5. Тиск у сатураторі рекомендується підтримувати щонайменше 3–5 атм.

6. Час перебування рідини: у сатураторі – 1–2 хв, у зоні флотації – 20–30 хв.

7. Необхідно враховувати деяке збільшення обсягу зони флотації через насичення води повітрям (на 5–10 %).

8. 90–93 % завислих речовин, що містяться у вихідній воді, переходять в пінний шар у процесі флотації і лише близько 7–10 % випадають в осад. Висота шару піни (флотопродукту) становить близько 5 мм. Вологість пінного продукту, що видаляється з флотокамери, становить 94–98 %, час його саморуйнування – близько 45 хв. У процесі флотації стічної води випадає близько 0,2–0,6 л осаду на 1 м^3 стоку вологістю 98–99 %. Під час ущільнення активного мулу обсяг та висота зони ущільнення визначаються розрахунком.

У спорудах, що реконструюються, для видалення піни і осаду використовуються скребкові механізми зі швидкістю руху скребків на периферії: для піни – 1–2 м/хв, для осаду – 0,8–1 м/хв.

Глибина занурення скребка у воду 5–10 мм. Обробка осаду, що утворюється, і піни передбачається в обробних резервуарах або на вакуум-фільтрах і в центрифугах. Ущільнений активний мул та осад спрямовується на зброджування або механічне зневоднення.

Приклад реконструкції водопровідного відстійника з використанням методу напірної флотації за рециркуляційною схемою показано на рисунку 10.2. Ціль реконструкції – підвищення продуктивності блока механічного очищення системи технічного водопостачання промпідприємства. Відстійники і площі, що вивільняються при цьому, передбачається використовувати для ущільнення осаду, обробки промивних вод і розвитку підприємства.

Схема реконструкції відстійника у флотатор розроблена з урахуванням конкретних особливостей цього відстійника, умов підведення та відведення рідини, видалення осаду, закономірностей розподілу рідини, що надходить, і максимально корисного використання обсягу споруди під час реалізації флотаційного методу очищення (розміри та конструкція флотаційної камери,

підведення та відведення рециркуляційної води, видалення піни тощо). Для більш повного використання обсягу відстійної частини існуючого відстійника як флотаційної камери під час його реконструкції у флотатор на виході води з нижньої частини центральної розподільної склянки передбачена конічна кільцева відбивна переділка, а сама флотаційна камера обрана циліндричною, заглибленою на 0,7 Н від поверхні води (Н – глибина відстійника біля периферії). Розміри кільцевої щілини для відведення очищеної води до водозбірного водозливу обрані з огляду на швидкість $v_{вих} \leq 0{,}05$ м/с.

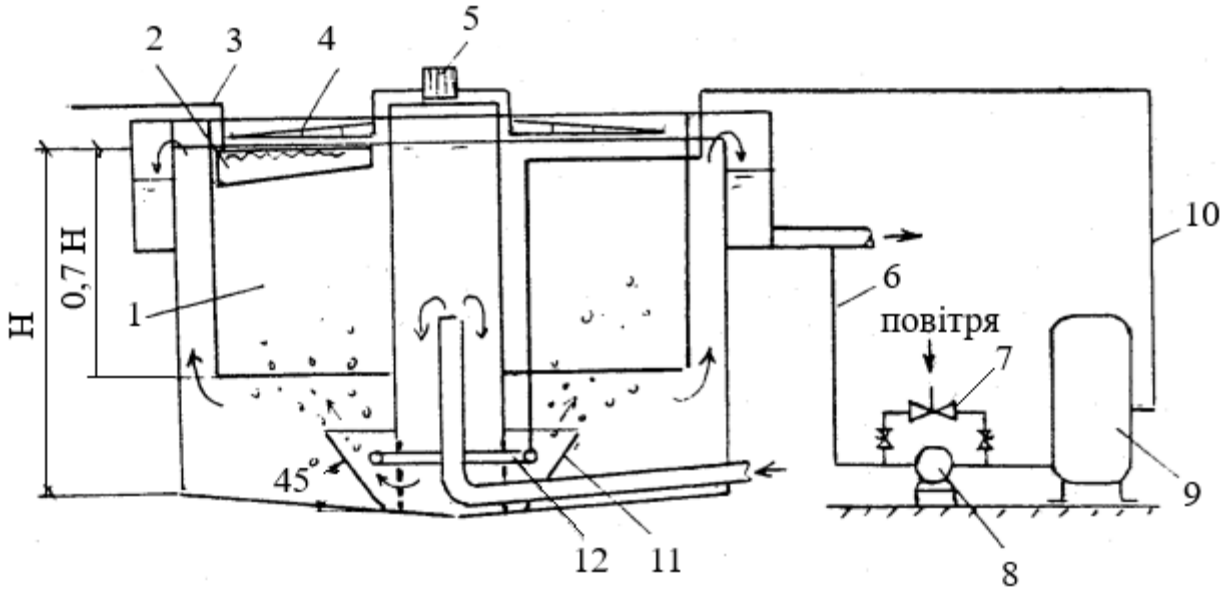


Рисунок 10.2 – Схема реконструкції водопровідного відстійника у флотатор:
1 – вбудована камера флотації; 2 – кишеня для збирання флотопродукту (піни);
3 – трубопровід відведення флотопродукту; 4 – скребок для згрібання
флотопродукту; 5 – привід скребка; 6 – трубопровід рециркуляційної води;
7 – повітряний ежектор; 8 – насос; 9 – напірний бак (сатуратор);
10 – трубопровід рециркуляційної води, насиченої розчиненим повітрям;
11 – струмені напрямної переділки; 12 – перфорований кільцевий трубопровід
для впуску рециркуляційної води

Рециркуляційна рідина подається на вході у флотаційну камеру через перфорований кільцевий трубопровід, розташований у верхній частині зони, утвореної кільцевою конічною переділкою і центральною склянкою відстійника. Піна видаляється скребком з електроприводом у спеціальний бункер, з якого відводиться за допомогою насоса.

Зазвичай основні розміри споруд, що реконструюються, призначаються конструктивно. З огляду на значну енергоємність флотаційних процесів

необхідно всебічно оцінювати техніко-економічні показники роботи споруд після реконструкції.

Фільтри знайшли широке застосування для очищення та доочищення виробничих стічних вод, що містять дрібнодисперсну суспензію, емульговані олії, смоли та нафтопродукти, після відстоювання, флотації, біологічної очистки, перед випуском їх у водні об'єкти або подачею на повторне використання. Застосовуються відкриті безнапірні та закриті напірні фільтри. Конструкції їх аналогічні фільтрам водопостачання. Певними перевагами з точки зору ефективності відмивання забруднень із завантаження мають каркасно-засипні фільтри.

Це двошарові фільтри з низхідним рухом потоку, що відрізняються високою брудоємністю. Фільтр має підтримуючий гравійний шар заввишки 0,5 м, в якому розміщені трубчасті розподільні системи води і повітря, шар, що фільтрує, що складається з каркасу (гравій, щебінь крупністю 40–60 мм) висотою 1,8–2,3 м і завантаження. (Дрібнозернистий кварцовий пісок крупністю 0,8–1 мм, подрібнений керамзит, кокс, горілі породи, антрацит або інші зернисті матеріали) висотою 0,9–1,2 м, яка розташовується в порах каркасу. Верхні шари каркаса, в яких засипки немає, виконують додаткову роль із вилучення забруднень. Під час промивання фільтра каркас нерухомий, а завантаження набухає і займає весь вільний обсяг пір каркаса, в межах якого забезпечується якісне відмивання фільтрувального матеріалу.

Під час розрахунку каркасно-засипних фільтрів швидкість фільтрації обирається $V_ф = 10 – 15$ м/год. Для звичайних безнапірних фільтрів $V_ф = 5 – 7$ м/год.

Рівень води над завантаженням у разі робочого режиму щонайменше 2 м.

Напірні фільтри індустріального виготовлення, що є вертикальним або горизонтальним сталевим резервуаром, розрахованим на тиск до 6 МПа, знайшли широке застосування для обробки води на місцевих очисних спорудах (МОС). Після таких фільтрів під залишковим тиском вода може бути подана безпосередньо до оборотної системи підприємства. Як завантаження фільтра використовуються ті ж зернисті матеріали, що і для безнапірних фільтрів: кварцовий пісок, подрібнений антрацит, керамзит, шунгізит, сульфовугілля, що мають велику брудоємність і легко регенеруються.

Для підвищення якості очищеної води та цілеспрямованого вилучення з неї певних видів забруднень, наприклад, важких металів, застосовуються активні сорбуючі завантаження: активоване вугілля, алюмосилікатний адсорбент,

модифіковане активоване вугілля тощо. Швидкість фільтрації для напірних фільтрів рекомендується $V_ф$ = 5–12 м/год. Вода фільтрації зверху вниз.

На фільтри із зернистим завантаженням допускається подача стічної води з концентрацією нафтопродуктів до 50 мг/дм^3 та завислих речовин до 100 мг/дм^3. У разі додавання як коагулянту сірчанокислого алюмінію (5–10 мг/дм^3) та флокулянту ПАА (0,2–0,5 мг/дм^3) залишкова концентрація нафтопродуктів у воді після звичайного завантаження не перевищує 5 мг/дм^3.

Розрахунок їх аналогічний водопровідним. Визначається загальна площа робочих фільтрів за рекомендованою швидкістю фільтрації і призначається їхня кількість. Кількість робочих фільтрів $N_ф$ = 2, за їхньої кількості до чотирьох обирається один резервний фільтр.

Основні параметри напірних фільтрів, що випускаються вітчизняною промисловістю, наведені в таблиці 10.1.

Таблиця 10.1 – Основні параметри вертикальних напірних фільтрів

Розміри корпусу, м		Об’єм завантаження W, м^3	Площа фільтрації, F_1, м^2
Діаметр D	Висота H		
1,0	2,9	0,97	0,80
1,5	3,3	2,31	1,78
2,0	3,6	4,34	3,14
2,6	4,0	7,86	5,30
3,0	4,4	11,00	7,10
3,4	4,5	14,70	9,10

Фільтри промивають очищеною водою під час подачі її знизу вгору.

Найбільш високий ефект промивання завантаження від нафтопродуктів досягається під час використання гарячої води, нагрітої до 60–80 ºС. Інтенсивність водяного промивання 10–12 л/с протягом 12–14 хв. Застосовується також водоповітряне промивання.

В якості змінних завантажень, що не регенеруються, для очищення поверхневих і виробничих стічних вод застосовуються кокс, тирсу, стружка, торф та інші органічні матеріали, які після використання спалюють.

Під час видалення з води малих кількостей розчинених забруднень фільтри з сорбуючим завантаженням з антрациту, коксу, активованого вугілля, алюмосилікатного адсорбенту використовуються для доочищення води від мастил і нафтопродуктів, зокрема і як другий ступінь фільтрації після, наприклад, піщаних фільтрів. Вміст нафтопродуктів може бути зменшено до 1–5 мг/дм^3. Активні завантаження, що фільтрують, дозволяють очищувати воду

від важких металів, фенолів та інших розчинених домішок. Сорбційним способом реально досягається високий рівень очищення стічних вод (до 0,05–0,3 мг/дм^3 по нафтопродуктах), однак його застосування обмежується необхідністю частої зміни завантаження або складною її регенерацією, ретельного очищення води від нерозчинених домішок, наявність яких різко зменшує тривалість роботи фільтра.

Останнім часом стали застосовуватися фільтри з плаваючим завантаженням із синтетичних матеріалів, а також барабанні та дискові мікрофільтри (МФ). Барабанні МФ конструктивно не відрізняються від барабанних сіток (БС), що застосовуються в системах водопідготовки та очищення побутових і виробничих стічних вод. Сітчасті елементи МФ на відміну БС мають дрібніші розміри осередку робочої сітки (10–30 мкм). Залежно від характеру затримуваних домішок, їхньої концентрації в воді, що очищається, а також від необхідного ступеня очищення барабанні МФ працюють за швидкостей фільтрації $V_ф$ 20–90 м/год, забезпечуючи ефект очищення до 80 %. Зазвичай рекомендується $V_ф$ = 20–30 м/год.

Дискові мікрофільтри, застосовуються під час водопідготовки технічної води промислових та комунальних підприємств, видаленні ВР перед ультра- та нанофільтрацією, зворотним осмосом, озонуванням, знезараженням УФ, доочищення СВ після вторинних відстійників споруд біологічної очистки. Дискові мікрофільтри також, як і барабанні – самопливні.

Вода, що фільтрується, з центрального барабана надходить в диски фільтра, обтягнуті фільтротканкою з розмірами отворів 10–30 мкм (до 90 мкм). Під час фільтрації через фільтротканину ВР затримуються на внутрішньому її боці. Чиста вода виходить через тканину назовні з барабана фільтра та відводиться.

У міру забруднення фільтруючих полотен збільшується рівень води всередині дисків і автоматично вмикається зворотне промивання. Барабан починає обертатися, а через спеціальні форсунки подається чиста вода, що промиває. Забруднена промивна вода відводиться у каналізацію. Процес фільтрування під час промивання не припиняється.

Порівняно з піщаними та барабанними МФ дискові МФ займають набагато меншу площу, працюють повністю в автоматичному режимі, вимагають меншої кількості промивної води, відрізняються значно меншими витратами на будівництво та експлуатацію.

Контрольні питання

1. Назвіть один з ефективних способів інтенсифікації видалення зі стічних вод нерозчинних домішок.

2. Наведіть кілька способів насичення рідини бульбашками повітря, що використовують у техніці флотації.

3. Які умови виконуються під час розробки проєкту реконструкції споруд фізико-механічного очищення стічних виробничих вод?

4. Опишіть ціль реконструкції блока механічного очищення системи технічного водопостачання промпідприємства.

5. З урахуванням яких особливостей запропонована схема реконструкції відстійника у флотатор?

6. Де можуть застосовуватися дискові мікрофільтри під час очищення стічних виробничих вод?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Реконструкція та інтенсифікація споруд водопостачання та водовідведення : навч. посіб. / О. А. Василенко, П. О. Грабовський, Г. М. Ларкіна, О. В. Поліщук, В. Й. Прогульний. – Київ ; Одеса : КНУБА, ОДАБА, 2007. – 299 с.

2. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною : Затверджено МОЗ України 12.05.2010. – Чинний від 16.07.2010 р. – Київ, 2010. – 25 с.

3. Хоружий П. Д. Ресурсозберігаючі технології водопостачання / П. Д. Хоружий, Т. П. Хомутеціка, В. П. Хоружий. – Київ : Аграрна наука, 2008. – 534 с.

4. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Чинний від 01.01.2014 р. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013 . – 172 с.

5. Глоба Л. І. Біологічна деноксація хімічних патогенів у водному середовищі / Л. І. Глоба, П. І. Гвоздяк // Медичні перспективи. – 2012. – Т. 12. – № 4. – С. 21–25.

6. Гвоздяк П. І. Біохімія води як перспективний науковий напрям / П. І. Гвоздяк // Вісник НАН України, 2006. – № 9. – С. 21–23.

7. Гвоздяк П. І. Біохімія води. Біотехнологія води : [автомонографія] / П. І. Гвоздяк. – Київ : Видавничий дім «Києво-Могилянська академія», 2019. – 228 с.

8. Благодарна Г. І. Особливості застосування мембран для водопідготовки питної води з поверхневих джерел / Г. І. Благодарна, С. М. Гуслєв // Екологія, теплопостачання, енергозбереження, водопостачання, каналізація – 2019 : збірка доповідей. – Київ : Державне підприємство «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства», 2019. – С. 165–171.

9. Technical Manual Ultrafiltration: Inge Watertechnologies AG [Electronic resource]. – Electronic text data. – 2010. – Regime of access: https://www.scribd.com/document/544728008/generico, free (date of the application: 07.09.2025). – Header from the screen.

10. Благодарна Г. І. Аналіз та техніко-економічне обґрунтування удосконаленої технології з підвищенням ефективності очищення води комплексом водопідготовки «Донець» / Г. І. Благодарна // Удосконалення

технологічних процесів очищення природних та стічних вод : звіт з науково-дослідної роботи. Етап 3 «Аналіз та техніко-економічне обґрунтування удосконалених технологій та рішення з підвищення ефективності очищення води». – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – С. 25–41.

11. Благодарна Г. І. Використання озону в якості окиснювача при очищенні природних, стічних та промислових вод / Г. І. Благодарна // Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., 7–8 листопада 2019 року. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – С. 10.

12. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Чинний від 01.01.2014 р. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 2013. – 134 с.

13. SARLIN [Electronic resource]. – Electronic text data. – Regime of access: https://h2cluster.fi/members/sarlin-oy-ab/, free (date of the application: 07.09.2025). – Header from the screen.

14. 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.

15. Обладнання для очищення стічної води. Один виробник для різних стадій [Електрон. ресурс] / Група Esmil. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://ua.esmil.eu/product_cat/sewage-screens-and-fine-screens/, вільний (дата звернення: 07.09.2025). – Назва з екрана.

16. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. посіб. / В. А. Ковальчук. – Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. – 622 с.

17. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи та практичних занять з дисципліни «Інтенсифікація і реконструкція систем водовідведення» для студентів спеціальності 8.092601 та 7.092601 «Водопостачання та водовідведення» усіх форм навчання / В. А. Ковальчук, О. В. Ковальчук. – Рівне : НУВГП, 2010. – 31 с.

18. Порівняльний аналіз експлуатаційних витрат на зневоднення осадів малих і середніх (до 100 000 м^3/доба) очисних споруд [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://ua.esmil.eu/sravnitelnyj-analiz-ekspluataczionnyh-zatrat-na-obezvozhivanie-osadkov-malyh-i-srednih-do-100-000-m3-sutki-ochistnyh-sooruzhenij-ekoton/, вільний (дата звернення: 07.09.2025). – Назва з екрана.

19. 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.

20. Гуслєв С. М. Розгляд біологічних роторних контакторів (RBC) як технології очищення комунальних стічних вод / С. М. Гуслєв, О. Л. Зубко // Водопостачання та водовідведення : виробничо-практичний журнал. – 2022. – № 1. – С. 52–57.

21. RECONSIDERING ROTATING BIOLOGICAL CONTACTORS AS AN OPTION FOR MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT [Electronic resource] / By Steven E., Williams P. – Electronic text data. – Regime of access: https://www.walkerprocess.com/pdf/ReconsideringRotatingBiologicalContactors.pdf, free (date of the application: 07.09.2025). – Header from the screen.

22. Айрапетян Т. С. Водне господарство промислових підприємств : навч. посіб. / Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 280 с.

23. Епоян С. М. Зворотні та безстічні системи водокористування промислових підприємств : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) [Електрон. ресурс] / С. М. Епоян, Т. С. Айрапетян ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 113 с. – Режим доступу: https://eprints.kname.edu.ua/61785/, вільний (дата звернення: 07.09.2025). – Назва з екрана.

24. Долина Л. Ф. Реконструкція систем водопостачання та водовідведення [Електрон. ресурс] : монографія / Л. Ф. Долина, П. Б. Машихіна, В. А. Козачина. – Електрон. текст. дані. – Дніпро : Журфонд, 2021. – 220 с. – Режим доступу: http://eadnurt.diit.edu.ua/bitstream/123456789/13518/1/Dolina_etc_reconstruction.pdf, вільний (дата звернення: 07.09.2025). – Назва з екрана.

Електронне навчальне видання

БЛАГОДАРНА Галина Іванівна

МОДЕРНІЗАЦІЯ І РЕКОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна інженерія»)

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

Редактор *Б. О. Хільська*

Комп'ютерне верстання *Г. І. Благодарна, Є. Г. Панова*

План 2023, поз. 40Л

Підп. до друку 08.10.2025. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 11,2.

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