Л.Ф. Долина, П.Б. Машихіна, В.А. Козачина

Реконструкція
систем водопостачання та водовідведення

Дніпро
2021

УДК 628.32.004.49
Д64

Рецензенти
д-р техн. наук Т.І. Русакова (ДНУ ім. О. Гончара)
д-р техн. наук, проф. М.М. Біляєв (ДНУЗТ)
д-р техн. наук, проф. О.Л. Тютькін (ДНУЗТ)

Рекомендовано до друку Вченою радою
Дніпровського національного університету
залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Л.Ф. Долина, П.Б. Машихіна, В.А. Козачина
Д64 Реконструкція систем водопостачання та водовідведення: Монографія: – Дніпро: Журфонд, 2021. – 220 с.

ISBN 978-966-934-301-7

У монографії висвітлено основні відомості про стан систем водопостачання та водовідведення в Україні та світі. Узагальнено проблеми, пов’язані з якістю питних та стічних вод, намічено методи та способи реконструкції станцій підготовки питних та переробки стічних вод. Описано нові технології та надано технологічні схеми очистки муніципальних стічних вод від різних сучасних забруднень (лікарських засобів, пластику, тощо). Наведено приклади по реконструкції різноманітних споруд систем очистки природних та стічних вод і водовідвідних споруд.

Book can be useful for specialists in different fields of industry, agriculture, those who are engaged in water purification, waste water treatment, development of closed-loop water supply systems in enterprises, environmental protection.

This book presents reconstruction of the drink and waste water treatment plant, water supply treatment.

© Долина Л.Ф., Машихіна П.Б.,
Козачина В.А., 2021 р.
© Видавництво ПП Вахмістров О.Є.,
2021 р.

ISBN 978-966-934-301-7

Leonid Dolina
Polina Mashykhina
Vitalii Kozachyna

Reconstruction of water purification and waste water treatment plants, water supply systems

Dnipro
2021

К мудрости приводит человека не накопление знаний, а их распространение. Недостаток знаний может привести к ошибочным выводам и, еще хуже, действиям. Знания открывают человеку мир, наполненный чудесами.

Передмова

У зв’язку з сучасним станом екології більшості регіонів України, виникає прагнення до зменшення капітального будівництва та максимального використання побудованих раніше споруд та систем. Введення сучасних технологічних процесів при реконструкції станцій підготовки та очистки води потребує попередніх досліджень і аналізу ситуації, що склалася. Для успішного розв’язання поставлених задач необхідно підготувати технічно грамотних спеціалістів в області технології воопідготовки та очистки вод. Проте, для їх підготовки не вистачає спеціалістів і спеціальної літератури, особливо на українській мові.

Особливе побоювання викликає технічний стан інженерних мереж та споруд. Станції водопідготовки та очистки стічних вод не відповідають сучасним вимогам. Зношення основних фондів очисних станцій перевищує 70%,а технології очистки стічних вод на переважній більшості споруд, в кращому випадку, відповідають нормативним вимогам кінця XX сторіччя. Все це в повній мірі відноситься до технічного і технологічного оснащення споруд, автоматизації та диспетчеризації експлуатаційних процесів. Практично докорінної реконструкції і модернізації потребує вся галузь, пов’язана з водопостачанням та водовідведенням.

Мета монографії – навчити студентів теоретичним і практичним основам реконструкції систем водопостачання та водовідведення.

Автори переконані, що будь-яка книга не може бути повністю позбавлена недоліків, а тому поради стосовно змісту та структури запропонованого видання будуть сприйняті з вдячністю. Просимо надсилати їх на адресу:

49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2,
Дніпровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
кафедра «Гідравліка та водопостачання»,
тел. +38(056) 373-15-09
e-mail: diit.hydro.eco@gmail.com
dolina@pcb.diit.edu.ua

ЗМІСТ

Вступ 9
ГЛАВА 1. Водні реалії в Україні та світі 12
1.1. Загальні відомості про водоканали України. Забезпеченість водою різних регіонів України, втрати води 12
1.2 Якість води різних регіонів України 15
1.3 Водні закордонні новини 17
1.4 Опріснення морської води 19
1.5 Вода і людський організм 21
Висновки 21
ГЛАВА 2. Методологічний підхід до вирішення питань реконструкції очисних споруд 23
Висновки 30
ГЛАВА 3. Реконструкція споруд водоочистки з метою видалення залишків лікарських засобів 31
3.1. Аналіз вод України і зарубіжжя на наявність в них залишків лікарських препаратів 33
3.2. Удосконалення діючих і створення нових ефективних методів і технологій для очистки вод від ліків 39
ГЛАВА 4. Реконструкція споруд водоочистки з метою видалення пластику 47
4.1. Аналіз вод України та світу на наявність у них пластику 48
4.2. Вплив пластику на здоров’я сучасних споживачів 50
4.3 Реконструкція діючих і створення нових ефективних методів і технологій для очистки вод від пластику 56
ГЛАВА 5. Реконструкція аеротенків з метою видалення біогенних елементів 60
5.1. Особливості стічних вод, що містять біогенні елементи. Джерела утворення вод 61
5.2. Нормування біогенних елементів 68
5.3 Коротка характеристика методів очистки стічних вод від фосфоровмісних речовин 71
5.4 Реконструкція аеротенків з метою інтенсифікації видалення біогенних елементів зі стічних вод 74
5.5. Розрахунок споруд для видалення біогенних елементів 90

.5.5.1. Видалення зі стічних вод сполук азоту. Приклади розрахунку реконструйованого аеротенка 90
5.5.2. Видалення зі стічних вод сполук фосфору. Приклади розрахунку реконструйованого аеротенка 106
ГЛАВА 6. Реконструкція біофільтрів на прикладі реконструкції станції очистки стічних вод ТОВ «Хорольський завод дитячих продуктів харчування» 112
6.1. Аналіз роботи споруд станції очистки стічних вод ТОВ «Хорольський завод дитячих продуктів харчування» та висновки для реконструкції споруд 112
6.2 Пропозиції по інтенсифікації роботи очисних споруд. Розподіл стічних вод по поверхні біофільтрів 121
6.3. Особливості вентиляції біофільтрів на Хорольському заводі дитячих продуктів харчування 122
6.4 Застосування технологічних прийомів для поліпшення роботи очисних споруд ТОВ «Хорольський завод дитячих продуктів харчування» 122
6.5. Реконструкція відстійників 124
ГЛАВА 7. Реконструкція цеху обробки осадів каналізаційних очисних споруд 131
7.1. Реконструкція та модернізація каналізаційних споруд 131
7.2 Реконструкція та модернізація відділення обробки осадів стічних вод .. 133
ГЛАВА 8. Реконструкція газгольдерів у великих містах світу – Відні та Лондоні 139
8.1 Газгольдери в очистці стічних вод 139
8.2 Реконструкція газгольдерів у Відні та Лондоні 140
ГЛАВА 9. Реконструкція об’єктів як метод посилення систем 143
9.1. Методика рішення задач по реконструкції насосів другого підйому 144
ГЛАВА 10. Реконструкція головних споруд водопроводу 146
10.1. Реконструкція головних споруд поверхневих джерел 147
10.1.1. Умови забору води 147
10.1.2. Реконструкція головних споруд з русловими затопленими водоприймачами 147
10.2. Реконструкція водозаборів підземних вод із свердловин 155
10.2.1. Загальні положення 155
10.2.2. Реконструкція свердловин 156

10.2.3. Реконструкція водозаборів із застосуванням високопродуктивних свердловин 158
10.2.4. Штучне поповнення підземних вод як умова реконструкції 160
ГЛАВА 11. Реконструкція систем подачі і розподілу води 161
11.1. Посилення неконструктивних водопровідних мереж 163
11.2. Безтраншейна прокладка трубопроводів 167
11.3. Реконструкція мереж при гідравлічному перевантаженні 171
11.3.1. Регулювання режимів подачі і відбору води 171
11.3.2. Реконструкція насосної станції другого підйому та водоводів 172
ГЛАВА 12. Реконструкція станції очистки води для централізованих систем 180
12.1. Реконструкція для підвищення бар'єрної ролі станції 181
12.1.1. Зміна технології очищення 181
12.1.2. Очищення адсорбцією 182
12.1.3. Деструктивна очистка 189
12.2. Реконструкція при гідравлічному перевантаженні 194
12.2.1. Реконструкція основних споруд водопровідної станції 194
12.2.2. Реконструкція зі зміною технологічної схеми 208
ВИСНОВОК 213
Список використаних джерел 214

Вступ

Реконструкція споруд очистки води та водовідведення являє собою не лише стандартні види робіт, але й вимагає творчого підходу з використанням екологічних та економічних рішень. Сучасні технологічні заходи по очистці та реконструкції об'єктів водопостачання та водовідведення є складними, трудомісткими процесами аналізу та дослідження. Перед початком проведення усіх необхідних робіт необхідно провести детальний аналіз і моніторинг очисної установки, щоб в подальшому розробити ефективний проект для реконструкції та модернізації об'єктів.

Нерідко модернізація або реконструкція – єдиний спосіб розв'язання чисельних проблем.

Що ж являє собою реконструкція і модернізація? Для отримання відповіді звернемося до словників:

-*реконструкція* – процес зміни об'єктів теперішніх з метою надати їм нових властивостей у майбутньому. Реконструкція, незалежно від її змісту, є складовою частиною планування [2];

-*реконструкція* – відтворення процесів, що відбувались у минулому, на базі певної моделі та передумов;

-*реконструкція* – переробка, докорінна перебудова будь-чого, організація за сучасно новими принципами.

Водовідведенню та очистці стічних вод найбільш повно відповідають перший та третій пункти.

Реконструювати – перебудувати (-овувати), реорганізувати на новій основі, перелаштуватись, реорганізуватись.

Модернізувати – шляхом удосконалення, зробити (робити) таким, що відповідає сучасним вимогам.

Модернізація очисних установок повинна бути високотехнологічною і не потребувати великих економічних затрат. Будівництво нових споруд є дорогою процедурою, саме у зв'язку з цим реконструкція є найбільш ефективним способом розв'язання проблеми.

Модернізація чи реконструкція?

Роботи по реконструкції очисних споруд являють собою процес відновлення старих об'єктів шляхом проведення додаткових робіт. Тобто реконструкція – це свого роду ремонт, що дозволяє при мінімальних затратах відновити повноцінну роботу вже існуючих об'єктів. При цьому розраховують різні показники і коефіцієнти, що в подальшому використовуються для розробки оптимальної схеми очистки. У результаті реконструкції повинна бути налагоджена робота очисних споруд, а затрати на електроенергію мають бути зменшені.

У випадку, якщо необхідна модернізація очисних споруд, то слід розуміти, що цей процес є затратним процесом, в першу чергу з економічної точки зору, і потребує нетривіальних, сучасних підходів.

Модернізація очисних установок передбачає впровадження у старі об'єкти нових технологій. Так, модернізація каналізаційних очисних споруд дозволяє

підвищити надійність роботи очисної системи та знизити затрати на електроенергію шляхом нових встановлення нових насосів, біофільтрів.

Для того, щоб визначити, який спосіб буде найбільш ефективним та надійним, необхідно відштовхуватись від початкового капіталу. Реконструкція і модернізація є найбільш доцільними способами для спору очистки води та водовідведення. Відмінності цих методів полягають лише у вартості, оскільки модернізація – це більш економічно затратний процес. Капітальні вкладення повинні бути направлені в першу чергу на реконструкцію та технічне переоснащення діючих споруд та завершення раніше розпочатих будівництв.

Використання сучасних способів реконструкції та модернізації споруд для очистки вод дозволяють досягнути бажаних результатів та значно підвищити ефективність роботи очисних установок, витрачаючи при цьому мінімальну кількість коштів.

Реконструкція архітектурно-історичного середовища міста – це достатньо вільний режим будівельних робіт, що в повній мірі керується задачами функціонування об'єктів культурно-історичної спадщини в нових соціально-економічних умовах, допускає знесення старих будівель, перепланування, значний об'єм, підпорядковується стилістичній єдності, не виключає можливості використання нових будівельних матеріалів.

Метою (причиною) проведення реконструкції і модернізації систем водопостачання і водовідведення можуть бути:

- збільшення продуктивності споруд очистки;
- підвищення надійності функціонування установок очистки;
- мінімізація затрат на експлуатацію обладнання (зниження енергозатрат, скорочення обслуговуючого персоналу тощо.);
- зниження собівартості очищення води;
- використання нових технологій та сучасних споруд по очистці води;
- покращення якості очищеної води;
- автоматизація управління системою очистки води;
- скорочення площ виробництва;
- раціональне використання наявних ресурсів;
- можливість надати споруді естетичний вигляд та ін.

Існує безліч сучасних способів очистки вод під час реконструкції і модернізації системи водопостачання та водовідведення. Але перш ніж перейти до них, давайте дамо визначення – що таке спосіб? Що таке метод? З різних словників:

- *Метод* – спосіб теоретичного дослідження або практичного здійснення будь-чого (Поточний метод виробництва, передовий метод).

- *Спосіб* – прийом, дія, метод, що використовується при виконанні будь-якої роботи, при здійсненні будь-якої діяльності (механічний спосіб обробки води та ін.).

1. Спосіб механічної очистки – видалення побутових відходів, у тому числі пластику, з їх подальшою утилізацією [4].

2. Спосіб біологічної очистки – використання корисних бактерій, що поглинають певні речовини [4].

3. Спосіб знезараження – знищення усіх мікробів у воді, у тому числі окиснення залишків лікарських засобів шляхом спільної дії озонування та пероксиду водню [3].

4. Спосіб очистки вод від фосфору та азотовмісних сполук [3].

Використання сучасних способів реконструкції і модернізації систем водопостачання та водовідведення дозволяє досягти бажаних результатів і значно підвищити ефективність роботи очисних споруд, витрачаючи при цьому мінімальну кількість коштів.

ГЛАВА 1.

Водні реалії в Україні та світі

Давайте спробуємо зазирнути в майбутнє і повірити в реальність, створену на екрані. Фільми 2008 року – «Джеймс Бонд. Агент 007: Квант милосердя» і 2015 – «Божевільний Макс: Дорога люті» – мають одну загальну глобальну сюжетну лінію, в якій головну роль відіграють водні ресурси [1]. Нас не просто переконують в цьому, а скоріше констатують: вода стає засобом, за допомогою якого можуть бути в сукупності вирішені основні світові проблеми: продовольчі, енергетичні, економічні, охорони здоров'я та зміни клімату.

За прогнозами ЮНЕСКО, у 20х роках нашого сторіччя нестача води буде однією з головних світових проблем, а можливо і причиною воєн в районах Китаю, Індії, Пакистану, де проживає найбільша кількість людей і має місце найбільша нестача води. Це ж прогнозує норвезький учений Тер'є Тведт в своїй книзі «Подорож в майбутнє води». Автор попереджає нас, що найстрашніші війни людства ще попереду і це будуть війни за право володіти водою. Сьогодні у всьому світі на порядку денному стоять питання майбутнього існування людства, які, не вперше в історії, безпосередньо пов'язуються з водними ресурсами і нашими можливостями управління ними.

Топ 5 глобальних ризиків на наступні 5 років (~ 2026 г.): 39,8% – водна криза; 36,7% – недостатні заходи щодо пом'якшення наслідків зміни клімату та адаптація до них; 26,5% – надзвичайні погодні події; 25,2% – харчова криза; 23,3% – глибока соціальна нестабільність.

Проблеми, пов'язані з якістю питної води, хвилюють мільйони людей в Україні, незалежно від регіонів, в яких вони проживають. Велика частина населення країни в побуті використовують водопровідну воду. У зв'язку з цим з року в рік для жителів будь-якого населеного пункту не втрачають своєї актуальності питання: чи придатна ця вода для пиття? Чи потрібно її доочищати фільтрами? Чи можна в цих умовах з водопровідної води, якість і смак якої часто залишає бажати кращого, отримувати воду високої якості?

1.1. Загальні відомості про водоканали України. Забезпеченість водою різних регіонів України, втрати води

Проведений нами інформаційний пошук показав, що найчастіше водоканал є одним з найстаріших комунальних споруд міста, що не дивно, адже централізований водопровід почали закладати ще в кінці XIX – початку XX століть (табл. 1.1). Протяжність водопровідної мережі одночасно є і перевагою, і недоліком.

Таблиця 1.1

Загальні відомості про водоканали України (за даними офіційних сайтів)

Комунальне підприємство	Дата заснування, рік	Довжина водопровідної мережі, км
ПАТ «АК «Київводоканал»	1874	4 000
«КП Донецькміськводоканал»	1932	3 500
«КП Дніпроводоканал»	1869	2 002
«КП Харківводоканал»	1881	2 570
«Інфоксводоканал» (Одесса)	1873	1 400
«КП Миколаївводоканал»	1906	1 200
«КП Львівводоканал»	1901	1 100
«КП ПОР Полтававодоканал»	1900	817
«КП Черкаси водоканал»	1914	460

Схема очищення води, що використовується на українських комунальних підприємствах, є традиційною і складається зі стадій: дозування реагентів (коагулянт, флокулянт, окислювач), перемішування і відстоювання, фільтрація, знезараження, подача споживачеві. На всіх підприємствах при знезараженні води використовують хлорування, винятком є дніпровська станція, на якій використовується озонування (Київ). Варто зазначити, що обладнання, яке використовується для очищення води, в більшості випадків знаходиться в стані крайньої зношеності і вимагає невідкладної реконструкції.

Вимоги до якості води за основними показниками згідно ДержСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людини», такі:

Сухий залишок, мг/л < 1000

Перманганатна окиснюваність, мг O_2/л < 5

Забарвленість, градуси < 20

Жорсткість, мг-екв/л < 7

Алюміній, мг/л < 0,2

Марганець, мг/л < 0,05

Сульфати, мг/л < 250

Хлориди, мг/л < 250

Нітрати, мг/л < 50

Фториди, мг/л < 1,5

Як показали дані досліджень, відзначено наступні перевищення параметрів згідно з вимогами ДержСанПіН 2.2.4-171-10:

- окиснюваність (від 4,4 до 8,8 мгO_2/л) і забарвленість (від 21 до 38 градусів) – у пробах водопровідної води міст Дніпро, Київ, Черкаси, Донецьк, Миколаїв; це обумовлено значним вмістом природних органічних (гумінових) сполук в поверхневих водах – джерелах водопостачання;

- жорсткість (від 7 до 8,5 мг-екв/л) – у пробах міст Донецьк, Харків, Львів, що обумовлено підземними водами (або підживлення підземних вод) в джерелах водопостачання;

- залізо – в пробах води міста Львова (0,38 мг/л);

- алюміній – у воді Донецька і Києва, що пов'язано з використанням в технології очищення відповідних коагулянтів.

Отримані дані моніторингу якості води в регіонах України в період паводку показали, що не все так погано, як можна було б припустити, і не дивлячись на те, як рясніє скандальними повідомленнями інтернет-простір, якість водопровідної води в різних містах України в більшості випадків близько до вимог чи відповідає вимогам для питної води. Однак, очевидним є й інший висновок – воду з-під крана в усіх регіонах бажано доочищати.

Забезпеченість України водними ресурсами, незважаючи на велику кількість різних малих і великих водойм, є недостатньою. Україна – одна з найменш забезпечених водними ресурсами країн в Європі. Для порівняння, забезпеченість країн Європи водними ресурсами (тис.$м^3$ за рік на жителя): Україна – 1,2; Швеція – 24,0; Європа – 8,6; Австрія – 7,7; Швейцарія – 7,3; Франція – 4,6.

Регіони України забезпечені водою по-різному. Так, в Ужгороді дотягують до рівня (6,27 тис. $м^3$ на рік на 1-го жителя) благополучної Швейцарії, а в Одеській області (0,14 тис. $м^3$ на рік на одного жителя) – спускаємося до рівня посушливого Алжиру.

В цілому ж, для більш ніж половини території країни рівень забезпечення водою відповідає градації «катастрофічно низький».

Дисбаланс (різниця між необхідною кількістю води і наявною), який перевищує значення 10 тис. $м^3$ на рік на людину (катастрофічний), спостерігається в 5 південно-східних областях України. Правда, «збалансованими» (менше 1 тис. $м^3$ на рік на людину) можна вважати також 5 областей – чотири західних та одну північну. В середньому ж Україна знаходиться в зоні між «допустимим» (від 0,1 до 0,3) і «надзвичайним» (від 1,0 до 2,0) дисбалансом. В цьому випадку необхідно подумати про альтернативні джерела водопостачання (наприклад, про повторне використання стічних вод, опріснення морської води та ін.).

Україна за рік споживає 15 $км^3$ ($15 \cdot 10^9$ $м^3$) води.

В основному вода надходить з поверхневих прісних джерел (12,15 $км^3$ в рік або 81%), причому головним чином з річки Дніпро – 9,3 $км^3$ води в рік або 77%. Це складає приблизно 26% від загальної кількості води в Дніпрі. Підземні води складають 13%, а морські – 6%.

Вода, забрана із підземних джерел, не доходить до споживача в силу високого вмісту солей і рентабельності її підготовки. Це стосується шахтних вод, частка яких у загальному обсязі підземних вод, що забираються, становить 60-70%. Очевидно, що організація очищення шахтних під до рівня вимог якщо не питної, то хоча б технічної води і збільшення частки морської поди, може послужити шляхом до стабілізації ситуації з водою.

Розподіл води між основними споживачами постійно змінюється. Так, в період з 2006 по 2012 рр. частка води, що використовувалась в сільському господарстві, збільшилася з 19 до 40% (з 2,6 до 5,7 км^3 і рік), а в промисловості зменшилася з 60% до 42% (з 8,6 до 5,9 км^3). Зменшилось споживання води в ЖКГ – 4,1 до 3,1 км^3. Це пов'язано як зі зменшенням чисельності населення (з 46 929 тис. у 2006 році до 45633 тис. у 2012 р), так і зі спробами користувачів заощаджувати воду.

Розподіл води між основними галузями промисловості такі: 66% - в електроенергетиці; 27% – в металургії; 2% – у хімічній промисловості; 2% – в харчовій промисловості; 3% – інші. Всього використовується 5,9 км^3 в рік.

Розподіл знесоленої води між основними галузями промисловості: 31% – в електроенергетиці; 31% – в металургії; 26% – у хімічній промисловості; 12% – у виробництві напоїв.

У сільському господарстві використовується 5,7 км^3 води в рік, з яких 92% – для зрошення (меліорація і садівництво) і 8% – для сільськогосподарського водопостачання.

На жаль, не вся забрана вода доходить до споживача. В середньому до 20% води припадає на частку транспортних втрат.

Втрати води становлять 2,3 км^3 в рік, з них в ЖКГ – 50%; в промисловості – 25%; у сільському господарстві – 25%.

Витрата води у ЖКГ (км^3 в рік): забрано – 3,3; подано в мережу – 2,9; реалізовано – 1,9; втрати і витрати – 1,4.

Основні втрати води в ЖКГ відбуваються через незадовільний стан водопровідної мережі, оскільки загальна протяжність трубопроводів становить 135958 км, з яких 51855 км (або 38%) потребують термінової заміни. Заміна труб щорічно проводиться в обсязі 12% від необхідного.

Основні «виробники» стічних вод: сільське господарство – 12% (0,95 км^3); ЖКГ – 27% (2,1 км^3); промисловість – 61% (4,75 км^3).

За якістю утворених стічних вод виділяють: забруднені – 19% (1,5 км^3); нормативно очищені – 23% (1,8 км^3); нормативно чисті (без очищення) – 58% (4,5 км^3).

Основна кількість забруднень надходить з промисловими стоками (61%), тільки 9% з яких повторно використовуються. Третина обсягу комунальних стічних вод скидається неочищеними.

1.2 Якість води різних регіонів України

Близько 15% досліджених проб води виявилися такими, що не відповідають стандартам по санітарно-хімічним нормам, і близько 4% – санітарно-бактеріологічним нормам.

Результати масштабних досліджень якості води у річках України представлено видавництвом «Слово і Діло» (журнал «Вода і водоочисні технології», №3(85), жовтень 2017 р.). Згідно результатів досліджень, води

більшості річок України, в тому числі річки Дніпро, підпадають під категорію «помірно забруднені». «Найбільш забруднені» – річки Кальчик і Кальміус (Донбас). Річки з «самою чистою водою» – Уж, Тиса, Прут, Латориця, Бистриця, Ірпінь та ін. Найгірші показники якості води у водосховищах: Київському, Канівському, Кременчуцькому та Кам'янському. На 2018 р. в Україні нараховується більш ніж 70 тис. річок і джерел, загальна протяжність – 248000 км. У 2018 р. створено «Реєстр водних ресурсів України», в якому відмічається, що найбільш забруднена вода у м. Одеса, далі за ступенем забруднення йдуть Донецька та Луганська області, а м. Дніпро знаходиться всередині списку. Найбільш чиста вода на Закарпатті.

Велику стурбованість викликає стан сільських водопроводів. З перевірених сільських водопроводів – 7,3% не відповідають нормам і правилам. У той же час централізованим водопостачанням забезпечено лише 25% сіл України.

За оцінками фахівців, термін окупності інвестицій в міську інфраструктуру ЖКГ становить близько 10 років, а це означає, що підприємствам ЖКГ на реконструкцію необхідні довгострокові і недорогі кредитні ресурси, як мінімум на аналогічний період.

Далеко не все необхідне обладнання виробляється в Україні, але навіть в тих випадках, коли є конкурентоспроможні вітчизняні аналоги або компанії, які добре і якісно можуть виконати роботи, перевага надається закордонним компаніям. Те ж стосується умов проведення тендерів на виконання проектів.

Пакет документів на отримання фінансування ЖКГ потрібно готувати з залученням кваліфікованих фахівців на всіх рівнях від Міністерства та місцевих органів влади до фахівців-практиків, підприємств-технологів, економістів, проектувальників, монтажників та ін.

Активізація участі України в залученні кредитів від міжнародних фінансових організацій для реконструкції підприємств ЖКГ є стратегічно необхідним і об'єктивно важливим кроком, але він повинен бути відповідним чином прорахований і підготовлений.

За холодну воду в Німеччині сплачують в середньому 2 €/м^3, Литві – 1,3 €/м^3, в Польщі – 1 €/м^3, в Україні – 0,4 €/м^3.

Резюмуючи висновки по водному господарству України, необхідними є: економія води; локальна очистка стічних вод і їх максимальне повторне використання; збільшення обсягу використовуваної води з альтернативних джерел – морів, шахт та ін.; застосування локальних систем всюди, де це можливо – як для доочистки, так і для підготовки води.

Свідомо не згадуємо два найбільш радикальних і правильних, але в той же час утопічних шляхів – вдосконалення технології централізованої водопідготовки і відновлення водопровідних мереж. Дорожнеча цих рішень і фінансовий стан України в найближчому майбутньому навряд чи виявляться сумісними.

1.3 Водні закордонні новини

Водне господарство країн Європи оцінюють за версією The Richest, що склав рейтинг топ-10 країн за самими різними показниками.

Норвегія займає 2-е місце за якістю водопровідної води, поступаючись лише Швейцарії. Секрет полягає в системному підході до управління водними ресурсами – від водозабору до скидання стічних вод після очищення, що взагалі-то давно не секрет, а прописана істина підручників з водного менеджменту. Рецепт втілення теоретичних принципів в життя починається з обов'язкового вивчення водного менеджменту студентами інженерних спеціальностей, які приходять на станції водопідготовки та водоочищення, промислові підприємства і в органи місцевої влади, думаючи не тільки про те, як підготувати воду до рівня галузевих нормативів, а й про те , як захистити водне середовище, знизити споживання реагентів і електроенергії, і тим самим знизити негативні впливи на екологію.

Офіційно проголошена місія водного сектора Норвегії – турбота про здоров'я і навколишнє середовище. Щорічно станції водопідготовки очищають 700 млн. $м^3$ питної води і такий же обсяг скидають після очищення. Цікавий факт – станцій очищення стічних код в країні більше, ніж станцій водопідготовки. Є 2700 станцій в комунальній власності і вони забезпечують водою 84% населення, інші 16% використовують малі локальні системи очищення стічних вод, яких налічується 330000.

Середнє водоспоживання в Норвегії становить 200 л/доб на людину. Всього в країні працює 1600 станцій водопідготовки, що забезпечують водою 90% населення, в той час як решта 10% використовують приватні свердловини.

Один з основоположних принципів водного менеджменту – виключення чи зведення до мінімуму відходів. Так, в Норвегії, всі шлами станцій очищення стічних вод використовують як безпечне та ефективне добриво в сільському господарстві.

Гроші на розвиток водної інфраструктури надходять не від продажу нафти, як думають деякі, а з комунального бюджету, який поповнюється платежами за водопостачання та водовідведення. Так, в середньому, кожне домогосподарство платить за водопостачання та водовідведення близько 850 доларів на рік. Однак багато муніципалітетів вже сьогодні наголошують на необхідності підняття плати за воду, щоб наступним поколінням не довелося платити за воду в десятки разів більше через термінову необхідність капітальних ремонтів.

Водне господарство Норвегії – вдалий приклад слідування методикам водного менеджменту – мистецтву, якому легко навчиться і яке є хорошим прикладом в розвинених країнах.

На невеликій території Швейцарії знаходиться 6% запасів прісної води Європи. Середнє водоспоживання Швейцарії 102 л/добу на людину. Джерелами питного водопостачання Швейцарії є джерельні води – 40%, підземні води – 40%, води річок і озер – 20%.

95% швейцарців п'ють водопровідну воду. Якості та кількості водних ресурсів Швейцарії можна тільки позаздрити. Тому джерело питного водопостачання в кожному конкретному випадку вибирається надзвичайно ретельно. Цікаво те, що методи знезараження питних вод різні в різних містах. Так, в містах Ольтен і Трімбах, що використовують виключно підземні води, їх піддають знезараженню тільки діоксидом хлору. У сусідньому населеному пункті Дуллікен (підземна вода) використовують для знезараження озон. У місті Офтрінген, в якому використовуються підземні та джерельні води в співвідношенні 90% і 10%, для знезараження застосовують ультрафіолет.

Цікаво також, що кількість води в Швейцарії регулюється законом про харчові продукти. Це накладає ще більш жорсткі вимоги і обмеження, яким повинна відповідати якість водопровідної води. Водопровідна вода в Швейцарії відповідає або навіть має кращу якість, ніж бутильована мінеральна вода. Крім того, водопровідна вода дешевше. Так, середня ціна води з крана становить 0,0018 CHF/л, тоді як ціна бутильованої в середньому 0,8 CHF/л.

Вартість водопровідної води в різних містах Швейцарії значно відрізняється. Найвищий тариф – в місті Санкт-Галлен, близько 3 CHF/м^3, а найнижчий – в місті Штанс – всього 0,5 CHF/м^3.

Шкала жорсткості води в Швейцарії така: 0-0,7 ммоль/дм^3 – дуже м'яка вода; 0,7-1,5 ммоль/дм^3 – м'яка вода; 1,5-2,5 ммоль/дм^3 – вода середньої жорсткості; 2,5-3,2 ммоль/дм^3 – помірно жорстка вода; 3,2-4,2 ммоль/дм^3 – жорстка вода; більше 4,2 ммоль/дм^3 – дуже жорстка вода.

Швейцарці не тільки пишаються якістю своє води, але і дбайливо оберігають те водне багатство, яке вони успадкували. Хотілося б, щоб жителі України знали про це і брали з цього приклад.

Швейцарія пускає на повторну обробку практично 100% відходів. Система сортування сміття тут доведена до абсолюту, а декому може здатися, що навіть до абсурду. При цьому така система не знає винятку – всі зобов'язані розкладати сміття по окремим контейнерам. Хто не згоден – платить штраф. У Швейцарії існує так звана екологічна поліція, яка за допомогою сучасних технологій аналізує сміття, залишене не в тому місці або без оплати податку, знаходить і штрафує порушника. Більше 90% склотари повертається на завод вторинної переробки скла. При цьому лише при поверненні тільки деяких видів пивних пляшок в магазин можна отримати певну винагороду. В інших випадках ті, хто здають пляшки, нічого за це не отримують. Папір переробляється окремо від картону. 60% всіх елементів живлення, що продано в Швейцарії, здається на переробку і не викидається в сміття. Окремо здаються: лампи денного світла, консервні банки, ПЕТ-пляшки, побутова техніка і прилади. Самостійно змінювати масла у власному автомобілі категорично заборонено – це повинні робити на техстанціях.

При бажанні, звичайно, сміття дозволяється не сортувати. В такому випадку доведеться платити податок, який стягується з кожного кілограма відходів. За 5 кг сміття доведеться віддати приблизно 2-3 франка, а ось здати відходи в спеціальні пункти прийому нічого не коштує. Варто відзначити, що

так було не завжди. У 80-і роки XX століття екологічна ситуація в Швейцарії була катастрофічною, тільки в Цюрих звозили понад 3000 тонн відходів в день. Першим кроком у вирішенні цього екологічного ребуса було введення мита на сміття.

Як результат, Швейцарія зараз – одна з найбільш екологічно чистих країн світу, з розвиненим громадським транспортом і чистим гірським повітрям. З будь-якого озера і з-під крана можна без побоювання пити воду.

Сінгапур – на сьогодні єдина країна в світі, яка не скидає жодного літра стічних вод. Тобто, вироблені містом стічні води збираються, очищаються і використовуються повторно. Наприклад, стічна вода, очищена для питних цілей і розливається в пляшки, отримала назву «New water» – «Нова вода».

У штаті Каліфорнія (США) вже понад 30 років працює об'єднане комунальне підприємство (Orange County Water District and Orange County Sanitation District) з виробництва чистої питної води з міських стоків. Система очистки складається з трьох основних етапів: мікрофільтрація, зворотній осмос, знезараження ультрафіолетом.

Продуктивність підприємства – 32 тис. $м^3$/добу.

Місто Фукуока (Японія) зумів отримати водень з каналізаційних стічних вод і використати його в якості палива для автомобілів. Станція працю всього 12 годин на добу, а виробленого ним газу вистачає, щоб заправити 65 автомобілів. При цьому, працюючи на повну потужність, станція може забезпечити воднем до 600 автомобілів на день.

Вчені з Нідерландів запропонували технологію отримання одної з основних складових біопластика – полігідроксиалконата – з компонентів стічних вод та обробленого активного мулу.

У Польщі приватні компанії використовують для моніторингу якості питної води мідії. Це пов'язано з тим, що мідії фактично моментально реагують на зміну якості води і закриваються у випадку, якщо воно погіршилось з метою захиститись від шкідливого впливу навколишнього середовища. Система працює в режимі онлайн і дає можливість реагувати на проблеми з якістю, що виникають.

1.4 Опріснення морської води

Кліматологи стверджують, що на планету чекають посушливі роки, тому вже зараз відбувається переоцінка традиційних запасі води. Збільшується кількість населення на Землі, а разом з ним – попит на воду, а отже необхідні нові джерела водоспоживання.

У відповідь на збільшення дефіциту водних ресурсів за останні 30 років, опріснення перетворилось на дієву альтернативу традиційним джерелам водоспоживання. Згідно даним Міжнародної асоціації опріснення води, в даний час у 12 країнах працює понад 17000 заводів зі знесолення води. При цьому

опріснення забезпечує лише 1% світової потреби питної води, проте ця частка зростає.

Опріснену питну воду отримують або з солонуватої (вміст солі <10000 мг/л), або з морської (мінералізація 14000-44000 мг/л). Загальний об'єм солонуватої у світі є обмеженим (<1% світових запасів води).

Світовий океан містить >97,2% водних ресурсів планети. Це – 1330 млн. км^3 альтернативної води додатково до 41 тис. км^3 доступної прісної води з річок, озер, артезіанських свердловин. Океан має свої відмінні особливості – його ресурси практично безмежні і на їх об'єм не впливають посуха та зміна клімату.

Більш ніж 50% світового населення живе в містах, що межують з океаном. Група лідерів ринку опріснення води в період 2010-2013 рр. складалась з Саудівської Аравії, США, Австралії. Далі в цьому списку Ізраїль, Кувейт, Лівія, ОАЕ, Китай, Індія, Чилі. За статистикою, кількість центрів з опріснення в цих країнах росте зі швидкістю від 7 до 9% на рік.

Перша термічна опріснювальна установка запрацювала ще в 1850-х роках на морських суднах для котлів та питних потреб. За останні 10 років опріснення з використанням мембран зворотного осмосу (sea water reverse osmosis membranes – SWRO) стало домінувати на всіх опріснювальних ринках, крім Близького Сходу (випарювання – домінуюча технологія).

Технології знесолення води: 63% – зворотний осмос; 31% – дистиляція; 3% – електродіаліз; 3% – комбіновані методи.

У Старому Світі викликає інтерес Іспанія, що 40 років тому (у 1966 р.) побудувала першу у Європі мембранну установку для опріснення морської води на Канарських островах і по цей день використовує подібні технології найбільш активно серед європейських країн. Так, 40% води, що споживається містом Аліканте (310000 мешканців), що розташований на березі Середземного моря, забезпечують мембранні установки опріснення. На сьогодні в Іспанії нараховується більш ніж 900 подібних установок, загальна продуктивність яких складає 1,5млн. м^3/день, 49% з них опріснюють морську воду.

Одним з ключових факторів зниження вартості опріснення морської води є прогрес технології SWRO-мембран. В першу чергу – це поява нового покоління низьконапірних мембран зі збільшеною площею поверхні, з високою стійкістю до фоулінгу та біологічного впливу.

Світовим лідером з виробництва SWRO-мембран є компанія Dow Chemical (США). Ця компанія є одним з найбільших інвесторів у науково-дослідницькі праці компаній у хімічній промисловості. У 2011 році компанія вклала у інноваційні розробки 1,65 млрд. доларів; штат співробітників, залучених у науково-дослідницькій праці, складає 5,5 тис. чоловік.

1.5 Вода і людський організм

Ще зі школи ми засвоїли істину, що людина на 80% складається з води. Проте, ця величина є усередненою. Наприклад, у новонародженого немовля вода займає 80% маси тіла, у чотиримісячного немовля – вже 94%, у людини в «повному розквіті сил» – 70-75%, а у людей похилого віку – 60-65%.

Вода допомагає людському організму дихати, здійснювати терморегуляцію і транспортування речовин.

Втрата 1% рідини від маси тіла знижує працездатність людини, при втраті 2% – юдина відчуває сильну спрагу, втрата 10% – може викликати втрату свідомості, втрата більш ніж 12% – летальний результат.

Пити воду необхідно як можна частіше, кожного разу не більше стакана. Вода повинна бути свіжою, негазованою та м'якою.

Нормою для дорослої людини вважається випивати 30 грамів води на кілограм маси тіла протягом дня при зовнішній температурі середовища 20-25 ^{0}С, для підлітків ця норма в два рази вища.

На виробництво 1кг шоколаду необхідно 24м^3 води, 1 кг м'яса – 15,5 м^3 води, 1 кг цукру – 1,5 м^3 води, 1 чашку кави – 140 л.

«Водний слід» («Water footprint») – термін, що виражає об'єм води, що витрачається при виробництві різних товарів або при наданні послуг. Визначення «водний слід», як правило, використовується у відношенні споживача води (людини, організації, країни) і враховує джерело води, що споживається, а також час та інтенсивність споживання.

Згідно розрахунків, «водний слід» кожного середньостатистичного мешканця планети складає 1240 м^3/рік.

До країн з низьким «водним слідом» відносяться: Латвія, Грузія, Угорщина, Китай, Афганістан, Перу, Конго, Ангола (600-1000 м^3/рік на одну людину). Країнами з високим «водним слідом» є: США, Греція, Малайзія, Росія, Італія, Таїланд, Іспанія, Судан (2100-2500 м^3/рік на одну людину).

70% усіх прісних вод, що беруться з навколишнього середовища, використовуються на зрошення сільськогосподарських угідь.

Спеціалісти відзначають, що питна вода, забруднена нітратами, надзвичайно небезпечна для немовлят.

А от чи може вода бути канцерогеном? Так! Після хлорування води газоподібним хлором з органічними домішками води утворюються канцерогенні речовини.

Висновки

На завершення слід відмітити, що водні ресурси є стратегічним питанням усіх країн світу, їх розвитку і екологічного, економічного, енергетичного і продуктового благополуччя:

- отримані дані моніторингу якості води в регіонах України в період паводку показали, що не все так погано, ніж можна було передбачити, і не

зважаючи на те, що інтернет простір рясніє скандальними повідомленнями, якість водопровідної води у різних містах України, в переважній більшості, близьке до вимог або відповідає вимогам для питної води. Однак, очевидним є й інший висновок – вод з-під крану у всіх регіонах бажано доочищувати;

- дисбаланс, що перевищує значення 10 тис. $м^3$ на рік на людину (катастрофічний), спостерігається в 5 південно-східних областях України. Правда, «збалансованими» (менше 1 тис. $м^3$ на рік на людину) можна вважати також 5 областей – чотири західних та одну північну. В середньому ж Україна знаходиться в зоні між «допустимим» (від 0,1 до 0,3) і «надзвичайним» (від 1,0 до 2,0) дисбалансом. В цьому випадку необхідно подумати про альтернативні джерела водопостачання (наприклад, про повторне використання стічних вод, опріснення морської води та ін.);

- в середньому до 20% води припадає на частку транспортних втрат. Основні втрати води в ЖКГ відбуваються через незадовільний стан водопровідної мережі;

- основна кількість забруднень надходить з промисловими стоками (61%), тільки 9% з яких повторно використовуються. Третина обсягу комунальних стічних вод скидається неочищеними;

- близько 15% досліджених проб води виявилися такими, що не відповідають стандартам по санітарно-хімічним нормам і близько 4% – санітарно-бактеріологічним нормам;

- активізація участі України в залученні кредитів від міжнародних фінансових організацій для реконструкції підприємств ЖКГ є стратегічно необхідним і об'єктивно важливим кроком, але він повинен бути відповідним чином прорахований і підготовлений.

- до теперішнього часу в Україні проблема забруднення природних вод лікарськими препаратами не розглядалася ні на офіційному, ні на академічному рівнях. В нашій країні відсутні відповідні нормативно-правові документи;

- у відповідь на збільшення дефіциту водних ресурсів за останні 30 років, опріснення перетворилось на дієву альтернативу традиційним джерелам водоспоживання. Згідно даним Міжнародної асоціації опріснення води, в даний час у 12 країнах працює понад 17000 заводів зі знесолення води. При цьому опріснення забезпечує лише 1% світової потреби питної води, проте ця частка зростає.

ГЛАВА 2.

Методологічний підхід до вирішення питань реконструкції очисних споруд

Методологія – вчення про науковий метод взагалі або про методи окремих наук (методологічне обґрунтування)

Вирішення питань в сфері житлово-комунального господарства в Україні сьогодні на піку актуальності. Це пов'язано з тим, що в області теплопостачання, енергозбереження, експлуатації об'єктів житлового господарства накопичилося багато проблем. Особливі побоювання викликає технічний стан інженерних мереж і споруд. Станції водопідготовки і очищення стічних вод не відповідають сучасним вимогам. Знос основних фондів очисних станцій перевищує 70%, а технології очищення стічних вод на більшості споруд в кращому випадку відповідають нормативним вимогам кінця XX століття. Все це в повному обсязі відноситься до технічного і технологічного оснащення очисних споруд, автоматизації та диспетчеризації експлуатаційних процесів. Практично докорінної реконструкції та модернізації потребує вся галузь, пов'язана з відведенням та очищенням стічних вод.

Вивчаючи протягом багатьох років принципи проектування та реконструкції очисних споруд водовідведення, можна відзначити, що основною ідеєю робіт до сих пір є максимальне збільшення капітальних і експлуатаційних витрат, а не мінімізація вкладень за рахунок використання сучасних технологій очищення стічних вод. З огляду на невелику прибутковість галузі житлово-комунального господарства, сьогодні необхідно знаходити інвестиційно-привабливі шляхи вирішення поставлених завдань, які дозволять інвесторам побачити переваги вкладення коштів у галузь, в тому числі в реконструкцію очисних споруд. Це означає, що технології, що застосовуються сьогодні, та технічне обладнання для реконструкції очисних споруд повинні відповідати сучасним екологічним вимогам і бути економічно виправданими.

В даний час реформування комунального господарства не покращує становище в галузі. Більш того, після передачі більшості очисних споруд в підпорядкування муніципальним утворенням їх експлуатація і технічний стан значно погіршилися. Це пов'язано, наприклад, з браком кваліфікованого персоналу по експлуатації очисних споруд в муніципальних експлуатуючих організаціях, з фінансовими труднощами при утриманні споруд очистки стічних вод і поліпшенні якості очищення. В даний час в більшості муніципальних утворень відсутня чітко продумана програма з модернізації та реконструкції систем очищення стічних вод.

Тільки близько 5% стічних вод, що скидаються у водоймища, задовольняють сучасним вимогам по скиданню; приблизно 20% задовольняють вимогам за основними показниками, але при цьому не видаляються біогенні

елементи до нормативних значень; майже 75% не задовольняють вимогам СанПіН по скиданню стічних вод у водойми різного призначення [21].

Основною причиною ситуації, що склалася, є деякі особливості водовідведення в Україні. Основним фактором тут можна назвати якість стічних вод, що надходить на очисні споруди. У табл. 2.1 наведені дані про кількість забруднень, що припадають на одну людину на рік в різних країнах.

Таблиця 2.1

Кількість забруднень, що припадають на одну людину на рік в різних країнах

Країна	Показник, кг/(чол·рік)			
	БСК	Завислі речовини	Азот загальний	Фосфор загальний
Данія	20-25	30-35	5-7	1,5-2
Бразилія	20-25	20-25	3-5	0,6-1
Єгипет	10-15	15-25	3-5	0,4-0,6
Німеччина	18-22	30-35	4-6	1,2-1,6
Індія	10-15	-	-	-
Італія	18-22	20-30	3-5	0,6-1
Швеція	25-30	30-35	4-6	0,8-1,2
Туреччина	10-15	15-25	3-5	0,4-0,6
США	30-35	30-35	5-7	1,5-2
Україна	14,6	23,7	2,9	1,2

З табл. 2.1 видно, що в цілому по Україні кількість забруднень, що припадають на одного мешканця, трохи менше, ніж в інших країнах. При цьому якість стічної води, що надходить на очисні споруди, відрізняється значно [24]. Аналіз якості стічної води в залежності від пори року показує, що інфільтрація ґрунтових вод значно впливає на склад стічної води, що надходить на очисні споруди. Характеристики стічних вод по забруднюючих речовинах в Україні та країнах Західної Європи наведені в табл. 2.2.

Як видно з табл. 2.2, співвідношення, необхідні для нормальної біологічної очистки, не виконуються. Цей фактор істотно впливає на якість очищеної стічної води, а також на технології, що повинні і можуть бути застосовані в умовах України.

Ще одним фактором, що впливає на якісну роботу очисних споруд, є не завжди продумане застосування тих чи інших технологій. Так, методи реконструкції очисних споруд середніх і малих міст в значній мірі відрізняються від прийомів реконструкції комплексів очищення стічних вод великих міст. Перш за все, це залежить від коефіцієнта нерівномірності надходження на очисні споруди стічних вод і їх санітарно-хімічних показників. Наявність у великому місті промислових підприємств в меншій мірі впливає на

якісні характеристики стічних вод, ніж в невеликому місті чи населеному пункті.

Таблиця 2.2

Характеристики стічних вод по забруднюючих речовинах в Україні та країнах Західної Європи

Показник	Україна	ЄС
$БСК_5$, мг/л	135-176	300-350
NH_4, мг/л	25,7-34,8	30-50
Азот загальний, мг/л	30-38	50-80
$БСК_5$: N	4,5-4,6	6-7
Фосфати, мг/л	2,28-3,38	7-10
Фосфор загальний, мг/л	3,99-8,86	10
$БСК_5$: P	19,9-33,8	30

Застарілі технології та обладнання викликають необхідність вирішення цієї проблеми в найкоротші терміни, а проектування та будівництво нових комплексів очищення стічних вод через бідність фінансування житлово-комунального господарства в даний час практично неможливо.

Хаотична, погано спланована житлова забудова прилеглих до мегаполісів територій у багатьох регіонах України посилює критичну ситуацію зі збереженням водойм від забруднення і виснаження при неефективно працюючих очисних спорудах, що не забезпечують нормативні вимоги до очищеної стічної води.

Аналізуючи роботу більшості очисних споруд та оцінюючи ситуацію, що склалася в цілому, проведено аналіз впливу тих чи інших факторів на якість роботи очисних споруд. На рис. 2.1 представлена діаграма, що описує результати проведених досліджень. Найбільш значний вплив на якість очищених стічних вод створює технологічна схема очищення, експлуатація очисних споруд і кваліфікація обслуговуючого персоналу.

Таким чином, основними причинами ситуації, що склалася стосовно якості очищення стічних вод в Україні можна назвати наступні:

- більшість очисних споруд побудовані до початку 1990-х років;
- кількісне співвідношення основних забруднень (БСК: N: P) не завжди задовольняє необхідному для якісної біологічної очистки стічних вод;
- комплексна модернізація очисних споруд вимагає великих капітальних витрат, тому реконструкція не виконується в повному обсязі;
- застосування сучасних технологій без прив'язки до конкретних умов;
- погана експлуатація очисних споруд. До теперішнього часу в практиці очищення стічних вод відсутні будь-які методологічні матеріали щодо виконання реконструкції очисних споруд. Багато прийнятих технологічних рішень не обґрунтовані і в багатьох випадках не забезпечують декларованих

показників очищення стічних вод. Для багатьох поняття реконструкція означає нове будівництво без урахування існуючих об’ємів споруд.

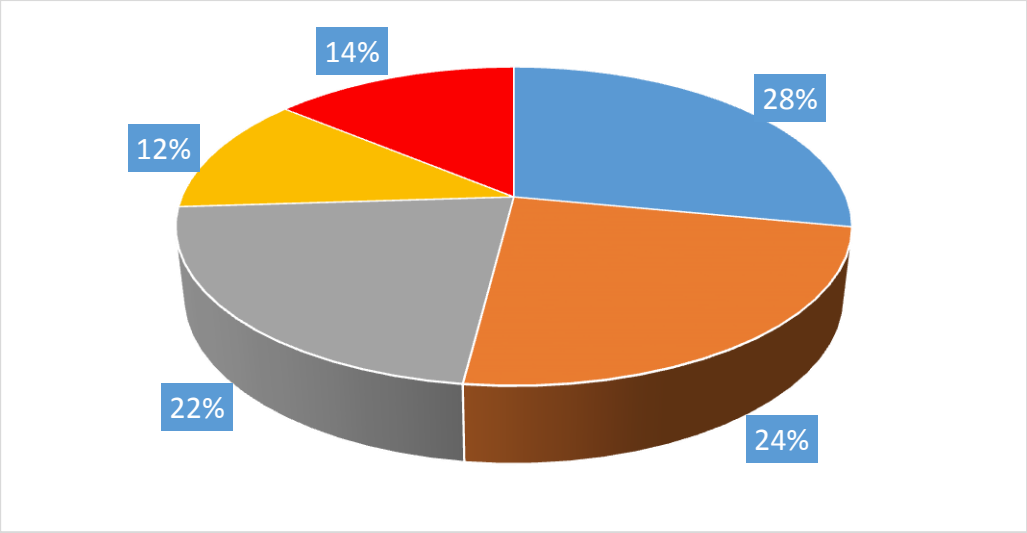


Рисунок 2.1 – Оцінка впливу факторів на ефективність роботи очисних споруд: ■ будівельні конструкції, їх стан, якість будівельних робіт; ■ стан технологічних та інженерних комунікацій; ■ технологічна схема очистки стічних вод, експлуатація і кваліфікація обслуговуючого персоналу; ■ склад та якість стічних вод; ■ механічне обладнання, енергопостачання, КВПіА

При виконанні реконструкції очисних споруд стічних вод основними мають бути такі положення:

- зниження капіталовкладень за рахунок використання наявних і невикористовуваних споруд;
- застосування технологій очищення, що дозволяють забезпечити нормативний скид у водойму в умовах України;
- використання сучасних технологічних процесів очищення;
- зниження собівартості очищення 1 м^3 стічної води;
- раціональне використання наявних земельних площ, відведених під будівництво очисних споруд;
- зниження навантаження на водойму по забрудненням;
- зниження кількості осаду, що утворюється.

Аналізуючи поставлені цілі і напрямки реконструкції очисних споруд, на сьогоднішній день найбільш актуальними видаються ті, що дозволять найбільш швидко вийти з кризової ситуації і вирішити екологічні проблеми:

- комплексний підхід – реконструкція комплексу очисних споруд, а не окремих елементів;
- застосування сучасних технологій з урахуванням місцевих умов і умов експлуатації очисних споруд;
- розрахунок очисних споруд з урахуванням нормативних вимог щодо скидання стічних вод для України.

Говорячи про комплексний підхід, особливий акцент слід зробити на етапності проведення робіт (рис. 2.2). З методологічної точки зору, перед

початком проектних робіт в кожному конкретному випадку необхідно провести передпроектні комплексні обстеження стану об'єкта з вивченням кількості і якості стічних вод. Тільки після цього можна розробляти рекомендації по реконструкції споруд з максимальним використанням існуючих ємностей і будівель і застосуванням сучасних технологій очистки стічних вод, дієвих для конкретного об'єкта.

Рисунок 2.2 – Етапи проведення робіт по реконструкції очисних споруд

Безумовно, найважливішим етапом реконструкції є первинний аналіз ситуації, що склалася на всьому комплексі очисних споруд.

Роботи з обстеження, технічного і технологічного аналізу очисних споруд, які крім оцінки стану будівельних конструкцій і технології очищення стічних вод повинні включати і обмірювальні роботи (в тому числі визначення висотного розташування споруд відносно одна одної), так як не завжди проектна документація відображає дійсний стан справ.

Підсумком робіт з обстеження є складання уточнених технологічних схем і опис їх особливостей, а також фіксація змін, допущених при будівництві очисних споруд або в процесі раніше проведених робіт з модернізації в дефектних відомостях.

При розробці проектів реконструкції систем водопостачання та водовідведення необхідна інформація з діючих водопровідних і каналізаційних споруд, оскільки в процесі експлуатації їх характеристики змінюються.

Дослідження роботи діючих систем водопостачання та водовідведення складається з декількох етапів:

1. Збір інформації про водоспоживачів (на момент дослідження і на найближчу перспективу) і споруди водопостачання та водовідведення.

2. Натурні дослідження споруд (водоводів, якості вод, насосних господарств, наявність витоків з мережі і т.д.).

3. Обробка результатів досліджень і виявлення фактичної картини роботи системи водопостачання та водовідведення.

4. Побудова еквівалентної математичної моделі діючої системи ПРВ (система подачі і розподілу води) і системи ПВК (система прийому води для каналізації).

5. Розробка рекомендацій по інтенсифікації роботи систем ПРВ і ПВК.

6. Розробка рекомендацій по реконструкції діючих станцій водопостачання та водовідведення.

Виконані етапи робіт дозволяють приступити до основних заходів – розробки технологічних і технічних рішень по реконструкції очисних споруд.

Для отримання більш достовірних відомостей про пропускну здатність очисних споруд виконуються повірочні розрахунки. Вони виконуються по кожній споруді, обладнанню, вузлу; аналізується можливість їх застосування в новій технологічній схемі очищення стічних вод. Повірочні розрахунки можна виконувати або за існуючими методиками, або за тими, що є найбільш правильними, на підставі обмірювальних робіт з визначення обсягів ємнісних споруд. При цьому не слід забувати, що нормативні документи не містять ніяких положень, що дозволяють технічно грамотно здійснити заходи щодо реконструкції систем і споруд водовідведення. Повірочні розрахунки, що виконуються за цими нормативними документами, не враховують сучасних вимог до очищення стічних вод.

На основі проведеної роботи аналізується існуючий стан на очисних спорудах і пропонуються можливі технологічні схеми і технічні рішення реконструкції (без розширення або з розширенням очисних споруд, модернізації окремих вузлів і споруд, застосуванням нових сучасних технологій очищення стічних вод і т. д.).

На рис. 2.3 представлено всі види робіт, що покладені в основу передпроектної підготовки.

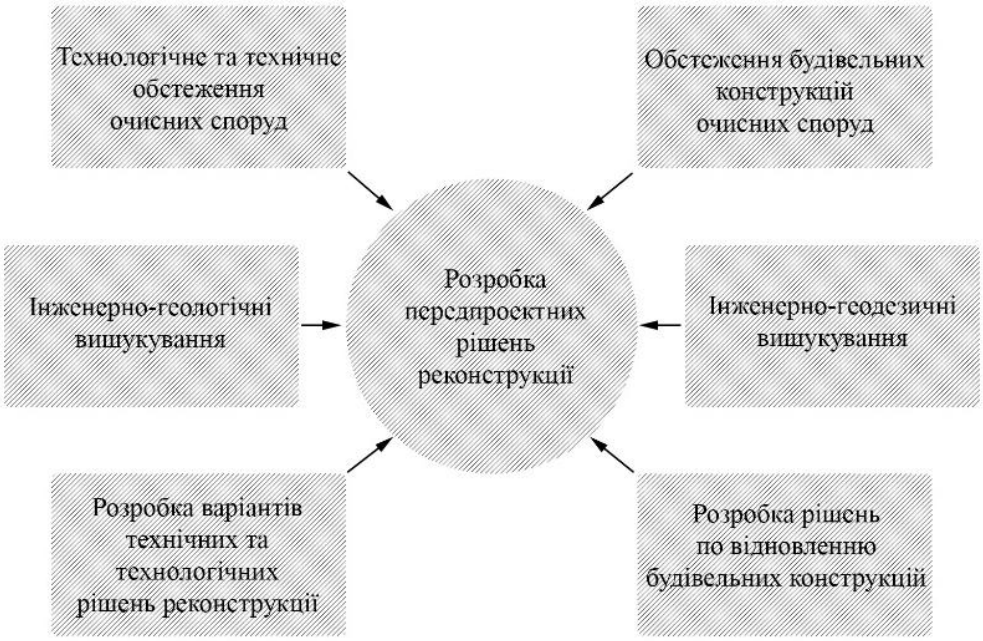


Рисунок 2.3 – Блок-схема розробки передпроектних рішень по реконструкції очисних споруд

Повертаючись до питання етапності проведення робіт, хотілося б більш детально зупинитися на концепції здійснення реконструкції діючих об'єктів водовідведення, так як правильно виконані роботи дозволяють значно мінімізувати капітальні та експлуатаційні витрати, підвищити ефективність і забезпечити необхідну надійність роботи систем і споруд.

Перш за все, реконструкція інженерних систем і споруд водопостачання та водовідведення передбачає поетапне виконання заходів, спрямованих на поліпшення якісних показників очищеної води, без зупинки споруд та виведення їх з експлуатації.

У процесі реконструкції спочатку вирішуються завдання по збільшенню пропускної здатності очисних споруд, тобто показники очищеної стічної води повинні відповідати повній біологічній очистці. Надалі вирішуються проблеми поліпшення якості очищеної стічної води. Завершальними є заходи, що дозволяють забезпечити нормативні показники очищеної води перед скиданням у водойму, а це значить, що вона повинна повністю відповідати сучасним нормативним вимогам (в тому числі і по біогенним елементам).

При проведенні науково-прикладних досліджень виявлено особливість: на кожному об'єкті, незважаючи на використання типових споруд, доводиться вирішувати різні проблеми в конкретних, притаманних тільки даному об'єкту, умовах. В цьому і полягає основна відмінність проектування нових очисних споруд та реконструкції діючих споруд.

На всіх етапах робіт необхідно здійснювати авторський супровід об'єкта, а після запуску очисних споруд – моніторинг за роботою об'єкта аж до досягнення стабільних результатів з забезпеченням якості очищення не нижче заявленого на етапі технічного завдання і передпроектних рішень.

Висновки

Методологічний підхід до вирішення питань реконструкції очисних споруд ґрунтується на тридцятирічному досвіді виконання робіт на багатьох об'єктах України.

На підставі вищевикладеної концепції, підтвердженої практичним впровадженням, вперше розробляється методологія проведення робіт з реконструкції очисних споруд, яка показує, що розумне поєднання принципів реконструкції споруд, розробка нових методів глибокого очищення стічних вод і впровадження нових матеріалів і реагентів, а також правильна економічна оцінка комплексу робіт в цілому дозволять впоратися з нагальною проблемою реконструкції інженерних систем і споруд водовідведення та скидання неочищених стічних вод у водойми України.

Лише те суспільство має майбутнє, яке навчиться відновлювати якість спожитої (використаної) води і не лінуватиметься це постійно робити. Всі ми зобов'язані перейнятися непорушною істиною: вода (на відміну від нафти, горючих газів, вугілля та інших корисних копалин) – це продукт багаторазового (вічного) споживання.

Професор П.І. Гвоздяк

ГЛАВА 3.

Реконструкція споруд водоочистки з метою видалення залишків лікарських засобів

Лікарські засоби - це засоби, які складаються з фармакологічно активних речовин і служать для профілактики, діагностики та лікування захворювань. Лікарські препарати, маючи фармакологічну активність, мають властивості змінювати функціональний стан організму [27]. Як правило, перш ніж ввести лікарські препарати в медичну практику, їх побічні ефекти на здоров'я людини і тварин ретельно вивчаються. Проте потенційні екологічні дослідження фармацевтичного виробництва і використання лікарських засобів лише недавно стали темою наукових інтересів.

Метаболіти лікарських препаратів – це полярні водорозчинні речовини, які утворюються внаслідок фізико-та біохімічних процесів. У більшості випадків вони являються оригінальними сполуками. Як правило, метаболіти лікарських препаратів (в подальшому будемо називати ліки) не є токсичними в порівнянні з їхніми оригінальними сполуками. Проте деякі метаболіти можуть виявитися більш активними, ніж вихідні ліки, введені в організм [28].

Вперше забруднення навколишнього середовища фармацевтичними препаратами було виявлено в 1970-і рр. Ліки були знайдені в стічних водах очисної споруди «Big Blue River» в Канзасі (США) в 1976 р. Ліки з простроченим терміном зберігання або препарати, використані не повністю, можуть бути виявлені на звалищах, оскільки утилізують їх разом з хімічними відходами. Але, в більшості випадків, ліки, що виводяться з організму людини з сечею і фекаліями, потрапляють у стічні води, а потім на очисні споруди. Дані медикаменти самі по собі є біологічно активними елементами в організмі людини. Ліки можуть бути стійкими у зовнішньому середовищі і вони не завжди адсорбуються або повністю руйнуються в організмі. В даний час немає очисних споруд, які можуть видаляти метаболіти ліків або інших нерегульованих забруднювачів, таких як засоби особистої гігієни. Хімічні реакції метаболітів у водній екосистемі досі повністю не вивчені. Потрібно враховувати, що ліки спочатку розробляють з високою біологічною активністю і, як правило, вони мають високу стійкість у навколишньому середовищі.

Оскільки в багатьох випадках вони не піддаються біологічному розкладанню, навіть низька концентрація ліків і їх метаболітів може акумулюватися в організмі людей, тварин і риб.

На сьогоднішній день, у всіх країнах відбувається інтенсивний розвиток фармацевтичної продукції і це збільшує ризик виробництва великої кількості фальсифікованої, неякісної, простроченої продукції. Більш того, можуть виникати ризики по недотриманню або порушенню умов зберігання, невідповідності обладнання більшості медичних підприємств сучасним вимогам екологічної безпеки. На відміну від інших токсичних забруднювачів навколишнього середовища, таких як важкі метали, пестициди та ін., ліки спеціалізовані для індивідуального застосування і їх потрапляння в навколишнє середовище не має географічних, кліматичних та інших обмежень. Існує велика кількість шляхів, якими ліки надходять в поверхневі води. Основними з них є: стічні води фармацевтичних заводів, міські очисні споруди, лікарні і звалища.

На сьогоднішній день найкраще вивчено процес надходження ліків в навколишнє середовище через муніципальні очисні споруди. Вперше фахівці Touro University (США) [27] встановили, що не тільки туалет, але і ванна, і пральна машинка служать джерелом забруднення озер, річок і океанів за рахунок змивання в каналізацію залишкових речовин лікарських кремів, лосьйонів, мазей і гелів. Так звані активні фармацевтичні інгредієнти потрапляють в водостоки і потенційно забруднюють воду і грунт. До таких речовин відносяться стероїди (наприклад, кортизон і тестостерон), засоби від акне та інші препарати. Також відзначено, що, на відміну від внутрішнього застосування, зовнішні лікарські засоби, змиті з водою, містять ліки, що не метаболізуються у своїй повній формі.

Фармоіндустрія по обороту знаходиться в перших рядах бізнесу, оборот світового фармацевтичного ринку становить 850 900 млрд доларів на рік і з кожним роком зростає на 3%. Загальна кількість лікарських засобів та їх комбінацій в світі вже перевищує 200 тис. За один рік людство приймає мільйони тон різних ліків. Велика кількість ліків населення не використовує і воно потрапляє в сміттєві контейнери. Йде накопичення ліків, і це становить загрозу. Потрібно починати думати про життєвий цикл ліків так, як ми думаємо про життєвий цикл машин або одягу.

Медичні відходи значно відрізняються від інших і вимагають до себе особливої уваги через постійної наявності в їх складі збудників різних інфекційних захворювань, токсичних, а нерідко і радіоактивних речовин, що створює небезпеку для людини.

Неправильна утилізація ліків призводить до появи невразливих вірусів-мутантів. Мікрочастинки навіть найновіших антибіотиків або противірусних препаратів через деякий час можна виявити у ґрунті, воді і навіть продуктах харчування. Звідти мікродози ліків неминуче потрапляють в наш організм і «тренують» бактерії і віруси. Сумний підсумок – поява невразливої супербактерії або вірусу-мутанта, що володіють абсолютною стійкістю до різних антибіотиків і антивірусних препаратів. У Бостонському центрі

адаптаційної генетики встановили, що концентрація антибіотиків в ґрунтових водах в тисячі разів перевищує той мінімальний рівень, з якого у бактерій починає розвиватися стійкість до ліків. Співробітники лабораторії німецького міста Вісбаден перевірили ґрунтові води Німеччини на наявність 60 найбільш поширених в Європі ліків. Підсумок досліджень жахає – в кожній (!) пробі води містилося понад 30 (!) з перевірених ліків в небезпечних для здоров'я концентраціях. Серед них снодійні, серцево-судинні, протизаплідні, протиепілептичні препарати. А коли хімічні речовини споживаються разом, відбувається посилений ефект, який відомий як синергізм. Крім цього, дослідники не знають, який вплив на організм здійснюють комбінації фармацевтичних препаратів.

Для аналізу стічних або питних вод на ідентифікацію ліків, присутніх в дуже низьких концентраціях, використовують дорогі методи, такі як високоефективна газорідинна хроматографія і мас-спектрометрія. Вартість визначення деяких ліків в воді становить кілька тисяч доларів. Тут не обходиться без впливу великих фармацевтичних фірм, оскільки скандал змусив би їх почати цілу інвестиційну кампанію по перекладу всієї індустрії з об'ємом продажів 150 млрд доларів на нові рейки, розробці та впровадженню екологічно безпечних ліків.

Проблеми, пов'язані з якістю питної води, хвилюють мільйони людей в Україні і світі, незалежно від регіонів, в яких вони проживають. Сьогодні йде інтенсивне забруднення Землі медичними препаратами. В ході досліджень останніх років було знайдено велику кількість медичних і ветеринарних препаратів у багатьох екосистемах земної кулі і навіть в таких далеких місцевостях, як Арктика. На наш погляд, якщо не вживати серйозних заходів, то шкода від ліків може перевершити їх користь. Необхідно переходити на виробництво екологічно чистих ліків (екологічно безпечних) і удосконалювати методи і технології очищення вод.

З огляду на це, метою нашої роботи є аналіз наявності у воді України та світу залишкової кількості лікарських препаратів, а також, на підставі світового та власного досвіду, розробка методів очищення вод від ліків.

3.1. Аналіз вод України і зарубіжжя на наявність в них залишків лікарських препаратів

Для отримання повної інформації про масштаби забруднення води лікарськими препаратами було проведено аналіз наукових джерел та лабораторних звітів як українських, так і закордонних видань. Таким чином, теоретичною базою досліджень стали новітні наукові розробки (1999-2017 рр.), в яких відображено, які саме лікарські препарати і в яких дозах присутні в стічних водах, а також у питній воді, що постачається населенню.

Проведений нами інформаційний пошук показав, що кінець XX – початок XXI століття можна сміливо назвати «часом нових ліків»: більше 90% всіх медикаментів, що сьогодні лікарі призначають своїм пацієнтам, з'явилися в останні 30 років. Сучасні фармакологічні довідники містять до 10 тис. найменувань медичних препаратів. Вже не тільки в побуті, але і в медицині широко застосовуються штучно створені речовини, що не мають аналогів в природі. До кінця XX століття світова фармацевтична промисловість виробляла понад 200 тис. ліків. Статистичні дані свідчать, що сучасне людство за один рік приймає мільйони тонн різних ліків. У США, наприклад, населення приймає тільки аспірину 20-30 тон в день, тобто понад 10 млн. кг на рік. [27]. У ряді штатів США у водопровідній воді виявлено слід десятків ліків, що призводить до появи невідомих хвороб. Близько третини ліків, що продаються населенню в Вашингтоні, щороку залишаються невикористаними, що становить близько 33 млн контейнерів. Ліки, викинуті в сміттєвий контейнер, є хімічно активними. Вони можуть потрапити в навколишнє середовище, також можуть бути знайдені дітьми або домашніми тваринами. Ніхто раніше не звертав особливої уваги на той факт, що прийняті нами антибіотики, гормони й інші активні лікарські компоненти (АЛК), покинувши наш організм з сечею і фекаліями, в подальшому потрапляють на станції очистки вод, обладнання яких не здатне розкласти ці стійкі з'єднання на безпечні складові.

Число смертельних випадків від побічних ефектів ліків в США досягло 125 тис. на рік, причому ця причина смерті вийшла на 4-е місце після захворювань серця, онкології і інсультів [4]. Більше половини спожитих ліків залишають організм в біологічно активній формі. У 2008 році була оприлюднена по-справжньому шокуюча інформація: в малих дозах ті чи інші ліки (серед них антибіотики, аспірин, антидепресанти і засоби для зниження тиску) містяться у водопровідній воді практично у всіх населених пунктах США (http://e-news.com.ua/print/366317.html). І хоча вміст ліків виявилося мінімальним, жоден лікар не може точно сказати, як вплине на організм людини вживання такої води протягом багатьох років. Наркотики були виявлені у питній воді 24 міст штатів від Південної Каліфорнії до Північного Нью-Джерсі. У США і Канаді вода поблизу всіх великих міст сильно забруднена ліками.

У Берліні у водопровідній воді вчені виявили ортокислоту, що використовується при виробництві ліків, що знижують рівень холестерину. На очисних спорудах Гетеборга (Швеція) виявлено 14 препаратів в концентраціях, що варіювали від нанограмів до міліграмів на літр. Ібупрофен, що широко застосовується як протизапальний і болезаспокійливий засіб, було виявлено в найбільшої концентрації – 7 мг/дм^3. Більше 180 з 3 000 дозволених активних речовин вже виявлені в водах Німеччини, в тому числі антибіотики, психотропні та протизаплідні засоби, жіночі статеві гормони. Поверхневі води Німеччині містять близько 2 мг/л жіночого статевого гормону естрогену.

У Великобританії в питній воді виявлено бензоілекгонін – речовина, що знаходиться в сечі після вживання кокаїну. Крім бензоілекгоніна в воді також

було виявлено значну кількість кофеїну, ібупрофену і протиепілептичного лікарського засобу карбамазепіну.

Фармацевтичні заводи Індії мають велику кількість небезпечних хімічних відходів. Шведські дослідники виявили в 2007 році в Хайдарабаді (Індія) дуже високі концентрації антибіотиків та інших ліків в очищених стічних водах фармацевтичних підприємств.

В ізраїльській воді в прибережному районі Беер-Тувії виявлені гормони й антибіотики. Гормони потрапили в воду з коров'ячих екскрементів. Ці тварини отримують гормональні препарати для поліпшення якості молока.

Підземні питні джерела в курортах Альп отруєні тридцятьма видами найбільш поширених ліків.

У табл. 3.1 представлені деякі виявлені у воді лікарські речовини і їх фармакологічна дія.

Таблиця 3.1

Концентрація лікарських засобів у водоймах Росії

Лікарська речовина	Фармакологічна дія	Концентрація, мг/дм^3	Місце виявлення
N-бутил-бензолсульфамід	Протигрибкове, протипухлинне (лікування	0,026	Річка Москва
1,3,7-триметилксантин (кофеїн)	Психостимулююче, аналептичне	0,026	Річка Москва,
		0,027*	Іваньковське водосховище
13-докозенамид	Ранозагоювальне	0,006	Річка Москва,
		0,024	Іваньковське водосховище,
		0,012	Істринське водосховище
12-метатетрадеканова кислота	Протипухлинне	0,038	Іваньковське водосховище
Бутан-1,2,3,4-тетраол	Лікування гострих неврологічних розладів, нейропротектор	0,0022	Іваньковське водосховище,
		0,002	Істринське водосховище
Бета-сітостерол	Протизапальне, противірусне, лікування розладів простати	0,005	Учинське водосховище,
		0,234*	Іваньковське водосховище

Примітка. У випадку проби донних відкладень, концентрація в мкг/г*

Ліки діють на фоні інших ксенобіотиків (від грец. «чужий» і «життя»), які в свою чергу можуть чинити негативний вплив на людину і гідробіоту, а також бути синергистами ліків і їх метаболітів.

В рамках проекту BASE проводиться моніторинг річок Петербурга і Ленобласті на наявність в них ліків і пластика. Поки екологів цікавить наявність у воді двох препаратів – диклофенаку та естрадіолу. Результати насторожують: очисні споруди практично не затримують ліки. Значний вміст ліків виявлено в Ладозькому озері.

Зараз реалізується проект «Medical Waste» – «Екологічна утилізація небезпечних медичних відходів в транскордонному регіоні (Естонія-Латвія-Росія).

Як бачимо з короткого огляду, ліки в воді та ґрунті присутні у всіх країнах Азії, Європи і Америки.

Забруднення вод і ґрунтів ліками в Україні. Виступаючи на FM-радіо «Ера» 7 грудня 2017 року (18-00), виконуюча обов'язки Міністра охорони здоров'я сказала, що в Україні використовується 16 тис. ліків, з яких 76% виробляється в Україні. Уряд України спільно з Державним експортним центром Міністерства охорони здоров'я працює над створенням прозорого єдиного номенклатурного реєстру всіх лікарських препаратів. Дослідження, проведене Інститутом хімії води НАН України (http://www.vetom.com.ua/news/url/antibiotiki_v_vode) (2011 р), показало, що питна вода, яку поставляють українцям, містить безліч фармацевтичних препаратів, включаючи антибіотики, статеві гормони, заспокійливі і антидепресанти, знеболюючі, а також багато інших, які відпускаються за рецептом лікаря. Концентрація цих ліків в питній воді мізерно мала, однак вчених турбують можливі наслідки тривалого вживання нехай і незначних доз ліків. Майже 70% споживаних ліків виводиться природним шляхом і потрапляє в каналізацію. Стічні води, пройшовши необхідне очищення, знову потрапляють в річки, озера і ґрунт. Очисні споруди в Україні не здатні видалити з води ліки, а знезараження води хлором підсилює токсичність деяких ліків, що містяться в ній. Вчені вважають, що після десятків років негативний ефект від забрудненої таким чином води проявиться повною мірою.

Біолог А. Шпаков [29] стверджує, що ліки, що тоннами поглинаються в великих містах, потрапляють разом зі стоками у водні системи, накопичуються там і створюють значну небезпеку для здоров'я. Тривалий час було прийнято вважати, що після використання ліки повністю руйнуються. Тепер встановлено, що більше половини спожитих ліків залишають організм в біологічно активній формі, тобто практично не втрачають своїх властивостей. Вони у великій кількості потрапляють у стічні води, а звідти в джерела питної води.

Автори цієї книги виявили у водах р. Дніпро і водопровідній воді безліч ліків. Наші очисні споруди не пристосовані для визначення і розкладання лікарських засобів, відсутні нормативно-правові документи, що регламентують скидання в водні об'єкти органічних мікрозабруднювачів (ОМЗ). До

теперішнього часу в Україні проблема забруднення природних вод ОМЗ не розглядалася ні на офіційному, ні на академічному рівнях.

Отримані дані моніторингу якості води в різних країнах світу показали, що вона забруднена ліками в тій чи іншій мірі, але особливо вода забруднена поблизу всіх великих міст. Ситуація настільки погана, що хімічні стоки фармацевтики ставлять під загрозу майбутнє життя на нашій планеті. Сліди ліків призводять до появи невідомих хвороб. Всесвітня організація охорони здоров'я встановила, що наше здоров'я залежить: 50% – від способу життя, 20% – від спадковості, 23% – від екологічної обстановки і тільки 7% – від охорони здоров'я, тобто від медицини [30].

Вчені всіх країн виявили в річках, озерах і глибоких водоносних пластах різні групи ліків:

- антибіотики;
- протизапальні;
- стероїдні гормони;
- протизаплідні засоби;
- серцево-судинні;
- протиепілептичні;
- для зниження ваги і боротьби з ожирінням;
- високотоксичні протипухлинні препарати;
- продукти косметики і парфумерії;
- антидепресанти, психотропні, снодійні;
- контрастні речовини, які використовуються при рентгенодіагностиці;
- протигрибкові засоби.

У журналі «Токсикологія і хімія навколишнього середовища» мікробіолог Андрес Хартман з Швейцарського федерального інституту технології (Цюріх) повідомляє, що багато антибіотиків «на виході» з організму майже не змінюються і, зберігаючи свою забійну силу, потрапляють у водойми, з яких ми потім п'ємо воду, виявляються у м'ясі домашньої худоби, в овочах і фруктах [29]. Постійно співіснуючи в природі з мікробами, антибіотики роблять їх несприйнятливими до ліків і тому абсолютно невразливі для них. Автори цієї книги припускають, що антибіотики, потрапляючи на споруди біологічної очистки (аеротенки, біофільтри і біореактори), впливають на роботу активного мулу і біоплівки, знижуючи їх ефективність. Вчені різних країн світу попереджають, що ліки, що регулярно потрапляють у воду, змінюють екологію водойм, обумовлюючи у їхніх мешканців глибокі зміни на генетичному рівні [13]. Отже, необхідно прискорити розробку та впровадження екологічно безпечних ліків і методів доочищення стічних вод від ліків. Екологічно чисті ліки – це препарати, що після надання людині необхідної допомоги будуть швидко руйнуватися, перетворюючись в біологічно неактивні «уламки» ще до того моменту, як покинуть організм. В крайньому випадку це повинно відбуватися в дуже короткі терміни після їх потрапляння в природне середовище.

Ще років десять тому при лікуванні різних інфекційних захворювань можна було використовувати 15-20 антибіотиків. Зараз реально ефективні 5-6, а за прогнозами ВООЗ, ще через років 10-20 практично всі існуючі мікроорганізми отримають стійкість до антибіотиків. Сучасні бактерії починають ігнорувати ліки вже через 2-3 роки після їх появи.

У Бостонському центрі адаптаційної генетики встановили, що концентрація антибіотиків в ґрунтових водах в тисячі разів перевищує той мінімальний рівень, з якого у бактерій починає розвиватися стійкість до ліків.

У червні 2002 р Міністерство навколишнього середовища (Берлін) виявило, що поверхневі води Німеччині містять близько 2 мг/л жіночого статевого гормону естрогену. Цей гормон є основним компонентом протизаплідних таблеток. Вони засвоюються організмом жінки тільки на 10-15%, решта потрапляє в каналізацію. 2 мг/л жіночих гормонів в питній воді ... Багато це чи мало? 0,5 мг/л цієї речовини у воді через 6 місяців викликає у риб чоловічої статі переродження в жіночий і падіння розмноження на 90%.

Дослідники Рурського університету Бохума встановили пряму залежність між естрогенами в питній воді та тенденцією до зниження кількості сперматозоїдів у чоловіків, зниженням сексуального потягу, а також підвищенням захворювань раку статевих органів.

Встановлено, що комерційна бутильована вода в Іспанії містять більше 50 фармакологічно активних речовин, а також нікотин, що викликає звикання. Вміст нікотину в воді варіювався від 7 до 15 мг/л.

Національним інститутом громадського здоров'я Чеської Республіки були зібрані зразки з 92 джерел питної води для досліджень, в ході яких було виявлено високий вміст ібупрофену, карбамазепіну, напроксену і диклофенаку. Концентрація варіювалася від 0,5 до 20,7 нг/л.

Дослідники з Нідерландів виявили в джерелах води 12 ліків і 7 продуктів перетворення (метаболіти). Шведські дослідники між 2007 і 2009 роками протестували чотири водойми в Монреалі (Канада). Вони виявили, поряд з гербіцидами, значний вміст кофеїну і ряду ліків: карбамазепін, напроксен, гемфіброзил, триметоприм, а також естрон і естрадіол.

Результати перевірок якості питної води здивували навіть досвідчених британських інспекторів – в рідини були виявлені сліди кокаїну, точніше бензоілекгоніна – речовини, що знаходиться в сечі після вживання кокаїну. Крім того, було виявлено значні кількості кофеїну, болезаспокійливого ібупрофену і протиепілептичних ліків – карбамазепіну. Вплив навіть слідів наркотичних засобів у воді може мати негативний вплив на здоров'я найбільш уразливих верств населення, таких як діти. Єдиний спосіб вирішити проблему полягає в інвестуванні в краще очищення стічних вод від фармацевтичних засобів.

Вода в пластикових пляшках небезпечніше водопровідної. До такого висновку прийшли, коли виявили в воді бісфенол А, що схожий на жіночий гормон естроген. У людей, які вживають воду та інші напої з пластикових

пляшок, наявність гормонів призводить до розвитку серцево-судинних захворювань, діабету і навіть до ураження печінки.

Ліки в системі водопостачання можуть бути причиною розвитку аутизму у генетично вразливих людей. До такого висновку прийшли експерти з Університету штату Айдахо в Бойсі (США). Дослідження показало, що досить навіть дуже низьких рівнів ліків – антидепресантів у воді, щоб викликати цей розлад. Психотропні ліки широко використовуються в сучасній медицині. Не виключено, що при попаданні в систему водопостачання вони стають причиною порушень в психічному розвитку людей.

Згідно дослідженням Ґетеборзького університету в Швеції, клотримазол (ліки, що застосовуються для лікування грибкових інфекцій) забруднює екосистему океану. Для експерименту були використані спільноти природних мікроводоростей – перифітон. Їх піддавали різним концентраціям клотримазола протягом 4 днів. В результаті дослідження було виявлено, що клотримазол порушує метаболізм водоростей, які знаходяться в нижній частині харчового ланцюга океану. Справа в тому, що одноклітинні мікроводорості є фундаментальними основами їжі і потрапляння в них клотримазола може вплинути на всю екосистему океану.

Диклофенак – біологічно активна речовина, що входить до складу ряду широко поширених протизапальних і болезаспокійливих засобів. Встановлено, що диклофенак токсичний для риб, він порушує роботу їх нирок. Цей же ефект спостерігається і у людей як одне з побічних дій при тривалому прийомі препарату. Фахівці пропонують повністю заборонити його через збільшення (приблизно на 40%) ризику інфарктів та інших серцево-судинних захворювань.

3.2. Удосконалення діючих і створення нових ефективних методів і технологій для очистки вод від ліків

Ліки в питній воді – це, за словами сучасного еколога Томаса Терне (2016 г.), страшна загроза світового масштабу. Для вирішення цієї проблеми є два шляхи: перший – це створення екологічно чистих ліків; другий – вдосконалення діючих і створення нових ефективних методів і технологій для очищення вод від ліків.

Методи очищення вод діляться на механічні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні та комбіновані. Застосування того чи іншого методу в кожному конкретному випадку визначається характером забруднення, ступенем шкідливості домішок, ефективністю очищення і іншими показниками. Механічне очищення – це груба очистка, яка полягає головним чином в очищенні вод від завислих речовин, що не розчиняються у воді. Багато ліків – це розчинні у воді хімічні препарати і для них застосовуються хімічні, фізико-хімічні, деякі біологічні і комбіновані методи (рис. 3.1).

Хімічне очищення застосовують в тих випадках, коли виділення забруднень, в тому числі ліків, можливо тільки в результаті хімічної реакції між домішкою (ліками) і реагентом з утворенням нових речовин, що легко видалити з води. Для такого очищення використовують реакції окислення або відновлення, нейтралізації, переведення шкідливих домішок в нешкідливі, знешкодження методом озонування, хлорування та ін. Цей метод, поряд з фізико-хімічними і комбінованими, знаходить найбільш широке застосування в практиці очищення вод від лікарських препаратів.

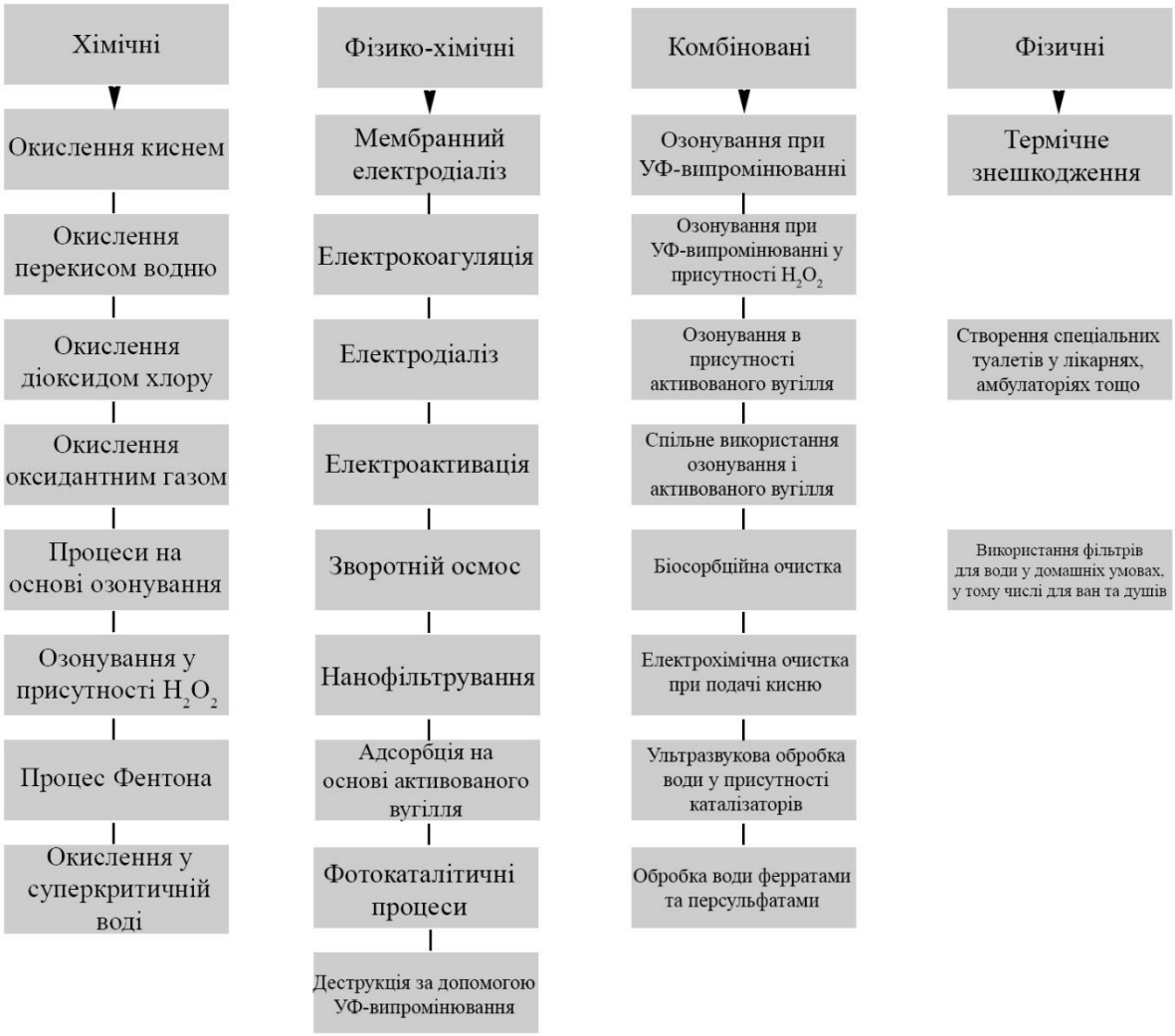


Рисунок 3.1 – Методи очистки вод від залишків лікарських засобів, що розроблені у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Зупинимося на традиційних біологічних методах очищення стічних вод. Вони мають ряд переваг перед багатьма фізико-хімічними методами, оскільки є екологічно чистішими, не вимагають складного апаратурного застосування, мають низькі експлуатаційні витрати. Поряд з безперечними перевагами традиційних методів, у них є серйозні недоліки. Вони непридатні для очищення стоків з дуже високим хімічним споживанням кисню (ХСК), а також стоків, що

містять токсичні сполуки або такі, що важко розкладаються, до яких відносяться багато ліків. Аналіз наукових джерел показав, що тільки в рідкісних випадках для очищення стічних вод від ліків були використані мембранні біореактори, метан-реактори і біофільтри, на завантаження яких були іммобілізовані активні ферменти.

Озонування. Окислювально-відновний потенціал озону вище, ніж у кисню і хлору, внаслідок чого він має вищу окислювальну і бактерицидну дію. Слід зазначити, що обробка води озоном або ультрафіолетовими променями практично повністю витіснила хлорування на станціях очистки води в багатьох країнах Західної Європи [21]. В Україні застосування цих екологічно ефективних технологій обмежено через високу вартість переобладнання і реконструкції водоочисних станцій, але це має бути зроблено. В останні роки з'явилися нові процеси на основі нових окислювальних технологій [31].

До озонуванню відносяться як процеси прямого окислення органічних сполук або знезараження розчиненим у воді озоном, так і окисні процеси, що протікають за участю гідроксильних радикалів, що утворюються в результаті хімічних трансформацій солей. Саме останні процеси розглядають в числі нових окислювальних технологій. При цьому якщо стандартний відновний потенціал озону дорівнює 2,07 В, то у гідроксильних радикалів цей показник досягає 2,8 В. Утворення гідроксильних радикалів в результаті трансформації озону у водному середовищі збільшується в присутності пероксиду водню, каталізаторів, активованого вугілля, при поєднанні озонування з ультрафіолетовим опроміненням і ультразвукової обробкою [31].

Озонування в присутності пероксиду водню (процес «Пероксон»). Концентрацію озону і H_2O_2 підбирають експериментально в залежності від типу забруднень (ліків) і їх вихідної концентрації. Процес «Пероксон» отримав достатнє поширення внаслідок його простоти, при цьому в цілому ряді випадків вийшов на рівень пілотних випробувань і промислової реалізації. Даний процес може бути проведений в звичайному реакторі для озонування [8], потрібно лише установка дозатора пероксиду водню. Його застосовують при очищенні питної води від хлорорганічних речовин, аліфатичних з'єднань, спиртів, при видаленні бактерій, вірусів, цист. Пероксид водню зазвичай додають після проведення озонування, причому більш ефективним є поетапне дозування.

Озонування при ультрафіолетовому опроміненні. В даному процесі деградація забруднюючих речовин відбувається в результаті прямого фотолізу, прямого озонування та взаємодії з гідроксильними радикалами. Останні утворюються при трансформації озону під впливом УФ-опромінення через проміжне утворення пероксиду водню.

Переваги процесу по відношенню до традиційного озонуванню виявлені в численних дослідженнях по деградації речовин з гормональною активністю, метилметакрилату, фталатів, фенантрену, нітробензолу, фенольних сполук (феноли, хлорфеноли, нітрофеноли, крезоли, ксиленоли, катехіни). У всіх випадках досягається максимальна мінералізація забруднюючих речовин, в тому числі і ліків.

Озонування при ультрафіолетовому опроміненні в присутності пероксиду водню. Це дуже ефективний метод деградації і мінералізації речовин в стічних водах з високим ступенем забруднення. Проведено дослідження застосування даного процесу для деградації фенолу, бензойної кислоти, нітротолуолів, резорцинола, мета- , орто- і паракрезола, 2,3, 2,5, 2,6-диметилфенолу, 5-метілрезоціна. Прикладів повномасштабної реалізації методу небагато.

Озонування в присутності каталізаторів. Використовуються гомогенні каталізатори у вигляді іонів металів (Mn (II), Fe (II), C_5 (III), Ag (I), Cu (II), Co (II), CD (II)) і гетерогенні каталізатори у вигляді різних нерозчинних форм ряду металів (оксиди та ін.). Недоліком процесу є присутність у водній фазі після обробки іонів важких металів. Використовується в промисловості для видалення хлорованих вуглеводів з підземних вод і фільтрату полігонів ТПВ.

Озонування в присутності активованого вугілля (процес «Карбозон»). Даний процес є порівняно новим, але дуже перспективним серед нових окислювальних процесів. Результати досяжні при pH вище 6. При очищенні вод від барвників і ароматичних сульфонієвих з'єднань були отримані задовільні результати деградації.

Спільне використання озонування та ультразвуку (процес «Сонозон»). Ультразвукові хвилі в рідкому середовищі викликають явища кавітації і мікротурбулентності, що сприяють деградації молекул озону і утворення гідроксильних радикалів. У присутності ультразвуку витрата озону може скорочуватися на 60-70%. Були отримані гарні результати при очищенні вод від органічних речовин, ароматичних сполук, текстильних барвників, фенолу, очищенні стічних вод лікеро-горілчаних заводів. Однак метод є досить економічно затратним, що перешкоджає його широкому застосуванню.

Процес Фентона. Цей процес заснований на використанні реагенту Фентона, тобто суміші солі Fe^{2+} (каталізатора) і пероксиду водню (окислювача). Процес Фентона прискорюється під впливом світла, що підвищує ступінь мінералізації органічних речовин і знижує експлуатаційні витрати.

Прикладів проведення експериментів різного масштабу по використанню процесу Фентона в схемах очищення води надзвичайно багато.

Так, в процесі Фентона при витраті Fe(II) 20 мг/л і молярному співвідношенні H_2O_2/Fe(II) 2,5 досягнута повна деструкція ліків в стічних водах: ацетамінофену, атенололу, атразину, карбамазепіну, метопрололу, дилантину, диклофенаку, пентоксифіліну, фенолу, кофеїну, флуоксетину, гемфиброзилу, ібупрофену, йопроміду, напроксену, пропранололу, сульфаметоксазолу, бісфенолу А і триметоприму. Зниження вмісту загального органічного вуглецю в цьому випадку становить 30%. Повна деструкція і 95-відсоткова мінералізація гербіциду мезотріону досягнута при pH 3,5. Цікаві результати отримані при відпрацюванні схеми доочищення (після біологічної очистки в системі з активним мулом) муніципальних стічних вод, що скидаються в Женевське озеро (Лозанна, Швейцарія). Тут на очисних спорудах вдалося досягти зниження вмісту 32 органічних мікрозабруднень (ліки, інгібітори корозії, пестициди) на 97-98% при використанні фотокаталітичної

системи Фентона з опроміненням ультрафіолетом (254 нм) практично в нейтральному середовищі. Крім цього, зважаючи на вміст в стічних водах заліза (1,5 мг/л), виявилося можливим виключити використання цього реагенту.

При використанні процесів електро-Фентон і фотоелектро-Фентон досягнуто 94-98% деструкції у воді наркотичного препарату ацетамінофен і в стічних водах протимікробного препарату флуімуцилу.

Оксидантний газ. На відміну від систем із застосуванням хлору, що використовуються в даний час в Україні, в системах OXI застосовується унікальна технологія отримання оксидантного газу – оптимальної суміші окислювальних газів (хлору, діоксиду хлору, перекису водню, атомарного кисню). Система працює за принципом електролітичного розкладання розчину кухонної солі (NaCl) з використанням іоноселективних мембранних технології. Мембрана від Dupont high-tech є ключем до успіху всього процесу отримання оксидантного газу. Система OXI – електролітична установка мембранного типу, що дозволяє отримувати оксидантний газ локально, дозовано направляти його в воду і контролювати процес знезараження і очищення води автоматично. Газогенеруюча установка з виробництва оксидантного газу OXI складається з двох полівінілхлоридних відділень, анодного і катодного, з'єднаних між собою. Анодне відділення містить титановий сітчастий електрод, а катодне відділення – сітчастий електрод з нержавіючої сталі. Між двома електродами встановлена перфорована мембрана, що здатна пропускати тільки позитивно заряджені іони. Оксидантний газ подається, у міру необхідності, безпосередньо в воду (без резервуара) для її обробки. Він ефективно діє в окислювальних процесах при очищенні вод.

Очищення води киснем – ефективний метод видалення шкідливих для здоров'я людини хімічних сполук, в тому числі ліків. Кисень – найдоступніший екологічний окислювач. Він подається в напірну водопровідну магістраль за допомогою аераційного ежектора або компресора для аерації води. Очищення води киснем може бути двох видів: безнапірна аерація і напірна аерація.

Окислення діоксидом хлору (ClO_2.) Особливістю цього методу є те, що діоксид хлору відштовхує всі електрони і ніколи ні з чим не комбінується. Він руйнується в процесі. Таким чином, це «чиста ліквідація»: і речовина, що знищена, і діоксид хлору не залишають ніяких нових хімічних сполук після себе.

Фізико-хімічні і комбіновані методи. Як зазначено вище, при озонуванні води використовувалися інші методи (УФ-опромінення, ультразвук, активоване вугілля та ін.) для підвищення ефективності та економічності процесів. В результаті застосування комбінованих схем можуть бути значно знижені експлуатаційні витрати при високій ефективності очищення води в порівнянні з індивідуальними методами. Вважаємо, що в міру розвитку науково-дослідних випробувань в даній області число промислових установок, що використовують комбіновані методи і схеми очищення стічних вод, буде рости.

Адсорбція. Один з найбільш ефективних методів глибокого очищення води від розчинених речовин і ліків. Перевагою методу є можливість поглинання

речовин багатокомпонентних сумішей, а також високий ступінь очищення, особливо слабко концентрованих стічних вод. В якості сорбентів застосовують різні штучні і природні пористі матеріали (активоване вугілля, цеоліти, золу, торф та ін.). Ефективність адсорбційного очищення досягає 80-95%.

Досліджено кінетичні закономірності адсорбції ліків стрептоциду ($C_6H_8N_2O_2S$), норсульфазолу ($C_9H_9N_3O_2S_2$), прокаїну ($C_{13}Y_{20}N_2O_2$), кофеїну ($C_8H_{10}N_4O_2$), левамізолу ($C_{11}H_{12}N_2S$) на активованому вугіллі різної пористої структури. В якості сорбентів використовували активоване вугілля КАВ (кісточкових), F400 (бітумінозний) і активований антрацит (АА). Концентрацію ліків визначали на спектрофотометрі Shimadzu UV-2450 з точністю до 0,2 мг/дм^3 по максимуму поглинання в УФ-області при довжині світла: 258 нм – для стрептоциду і норсульфазола, 272 нм – для кофеїну, 289 і 212 нм – відповідно для прокаїну і левамізолу. Швидкість адсорбції ліків зменшується в ряді стрептоцид-кофеінпрокаін-норсульфазол-левамізол і знижується зі збільшенням частки мікропор в структурі сорбентів. Використання 50% сорбційної ємності активного вугілля досягається за 10% часу, необхідного для встановлення адсорбційної рівноваги. Кінетика адсорбції деяких ліків (ацетамінофену, карбамазепіну, диклофенаку, гемфіброзила, ібупрофену, кетопрофену, сульфаметоксазолу, триметоприму) була вивчена на гранульованому мезопористому сорбенті SBA-15 (GMS), кофеїну та диклофенаку – на F400. Вивчено можливість застосування перспективного сорбенту на основі шкаралупи кокосового горіха PICACTIFTE.

Прокаїн – один із широко використовуваних місцевих анестетиків. При його гідролізі утворюється параамінобензойна кислота (ПАБК) і діетиламіноетанол. Для людського організму велика кількість ПАБК може викликати пошкодження печінки. Тому фактично повне його видалення з води є актуальним завданням.

При очищенні вод від поверхнево-активних речовин (ПАР), хлор і нітропохідних фенолів, барвників і фармацевтичних засобів використовують біосорбційні методи. Чималу роль при цьому відіграють мікроорганізми, що утворюють біоплівки на поверхні активного вугілля (АВ).

Обробка ферратами і персульфатами. Феррати є одними з найбільш сильних відомих окислювачів. У кислому середовищі відновний потенціал іонів FeO_4^{2-} (2,2 В) вище значення цього показника для озону (2,07 В). Під впливом феррата здатні деградувати багато токсичних речовин, в тому числі ліки, до малотоксичних продуктів. Феррати є досить дорогим реагентом, для їх отримання застосовують багатоступінчастий синтез. При доочищення стічних вод від ліків, засобів особистої гігієни були отримані хороші результати: ступінь очищення коливалась в межах 67-88%, а витрата феррату склала 2,5 мг/дм^3 у перерахунку на Fe. Іншим сильним реагентом з окислювальним потенціалом 2,1 є персульфати $S_2O_8^{2-}$.

Електрохімічні процеси (електродіаліз, електрокоагуляція, внутрішній мікроелектроліз і ін.). Характеризуються незначним впливом на навколишнє середовище, гнучкістю застосування, безпекою, більш високою

рентабельністю. Останнім часом проведені численні експерименти різного масштабу з очищення анодним окисленням синтетичних розчинів і стічних вод від ліків з використанням ДБАА, а також платинового і титанового (з покриттям з оксидів олова, рутенію і іридію) анодів [31]. ДБАА – це допірований бором алмазний анод. Електроди з цього матеріалу, наприклад, володіють високим перенапруженням виділення кисню і водню у водних електролітах. Дані електроди добре зарекомендували себе в нових областях застосування, таких як електрохімічне знезараження води, видалення хімічних з'єднань з гормональною активністю, стійких органічних речовин (фенольних сполук, барвників ПАР та ін.). У Німеччині проведено випробування з очищення промислових стічних вод з використанням анодів ДБАА.

Як бачимо з аналізу досліджень останніх років, багато екосистем земної кулі забруднені великою кількістю медичних і ветеринарних препаратів.

Ліки, що випускаються фармацевтичною промисловістю, засвоюються людським і тваринним організмом на 10-20%, а решта йде у відходи. Крім цього, ліки розробляються з високою біологічною активністю, вони мають високу стійкість у навколишньому середовищі.

Особливо забруднена вода ліками поблизу великих міст.

Дослідження показали, що вода, що постачається в Україні, містить безліч фармацевтичних препаратів, включаючи антибіотики, статеві гормони, заспокійливі і протисудомні препарати, знеболюючі, а також багато інших. Концентрація цих ліків різна, але в цілому невелика, проте вчених всерйоз турбують можливі наслідки тривалого вживання нехай і незначних доз ліків з питною водою.

Найбільша небезпека від наявності ліків в воді полягає в тому, що всі ці хімічні речовини споживаються разом. Дослідники не знають, який вплив на організм надають комбінації фармацевтичних препаратів.

З дослідних методів очищення води від ліків найбільш перспективними є: хімічні, деякі фізико-хімічні і комбіновані. Обробка води новими методами озонування або УФ-променями практично повністю витіснила хлорування на станціях очистки вод у багатьох країнах. В Україні застосування цих екологічно ефективних технологій обмежено через високу вартість переобладнання і реконструкції водоочисних станцій.

В останні роки з'явилися нові процеси на основі окисних технологій: процес «Пероксон», озонування при УФ-опроміненні, озонування при УФ-опроміненні в присутності пероксиду водню, процес «Карбозон», процес «Сонозон», окислення оксидантним газом, процес Фентона, окислення в суперкритичній воді, фотокаталітичні процеси та ін. З фізико-хімічних і комбінованих методів очистки вод від ліків можуть бути рекомендовані наступні:

- електрохімічні (мембранний електродіаліз, електроактивація, електрохімічне очищення при подачі кисню);
- адсорбція на основі активованого вугілля;
- мембранні (нанофільтрація + зворотний осмос та ін.);

- ультразвукова обробка в присутності каталізаторів;
- обробка вод ферментами і персульфатами.

Крім того, для усунення забруднення води фармацевтичними препаратами необхідно переходити на виробництво екологічно безпечних ліків.

Когда Всевышний создал первого человека, Он поместил его перед всеми деревьями райского сада и сказал: «Посмотри, как милы и прекрасны Мои творенья. Все, что Я создал, Я создал для тебя. Заботься об этом, не порть и не разоряй Мой мир. Ибо если ты испортишь или разоришь его, нету никого, кто исправил бы его после тебя»

Екклесиаст

ГЛАВА 4.

Реконструкція споруд водоочистки з метою видалення пластику

Пластмаса на сьогоднішній день є найбільш поширеним матеріалом в світі [33]. Вона являє собою матеріал на основі природних або синтетичних полімерів, що можуть набувати заданої форми при нагріванні і під тиском, а також зберігати її після охолодження.

Пластик складається зі структурних ланок під назвою мономери, що повторюються. Вони пов'язані в довгі ланцюжки – полімери. Хімічні речовини з вмістом пластику більш 50% класифікують як небезпечні [34]. Щорічно виробляється і викидається близько 300 млн. тон пластику [36]. Середньостатистична людина в Північній Америці і Західній Європі за рік використовує 100 кг пластику, в основному у вигляді упаковки. Щорічно в океани потрапляє від 10 до 20 млн. тон пластику. Згідно з оціночними даними, поверхня всіх океанів на Землі містить 245 тис. тон пластика [36].

Близько 80% мікропластику в стічних водах – це синтетичні волокна, що потрапляють у стоки після прання одягу. У 2013 році було вироблено близько 55 млн. тон одягу і текстильних виробів з синтетичного волокна. Деякі частинки мікропластику (ймовірно, і нанопластику, хоча ніякі дослідження не були проведені) потрапляють в річки і океани, минаючи очисні споруди [36]. У той же час частинки, що були затримані, в кінцевому рахунку потрапляють на суходіл, але вже в якості шламу.

У Північній Америці на сільськогосподарські поля щорічно потрапляє від 44 до 300 тис. тон мікропластику. В Європі ця цифра становить від 63 до 430 тис. тон. Якщо споживання пластику залишиться на тому ж рівні, то до 2050 р. його на планеті утвориться ще 33 млрд. тон [36].

Згідно зі статистичними даними, в Україні продукується в середньому 300 млн. тон відходів на рік, близько 10-15% з них припадає на пластик [32]. Відходи (промислові та сміття) займають 7% території України (2017 р.). І якщо в розвинених країнах, таких як Німеччина і Швейцарія, переробляють до 97% всього виробленого пластикового сміття, то в Україні ця цифра коливається від 4 до 10%, в залежності від регіону.

Більш того, фахівці з університету Міннесоти нещодавно поділилися результатами досліджень, в яких прийшли до висновку, що мікрочастинки пластику можна знайти у воді практично в будь-якій точці світу [32]. Вони провели ретельний аналіз 159 зразків води з різних регіонів Землі, включаючи США, Європу, Індонезію, Уганду, Бейрут, Індію та Еквадор. У 83% досліджених проб знайшли пластик; жодна країна не може похвалитися тим, що її водойми повністю чисті.

Якість питної води є світовою проблемою, важливою для всіх людей незалежно від регіонів, в яких вони проживають. Сьогодні йде інтенсивне забруднення Землі пластмасою. В ході досліджень останніх років було знайдено велику кількість пластику в багатьох екосистемах земної кулі, Світового океану і навіть в таких далеких місцевостях, як Антарктида і Арктика. На наш погляд, якщо не вживати серйозних заходів, то шкода від пластику може нівелювати його користь. Необхідно припинити випуск пластику, що не розкладається, як це зробили в Сінгапурі, Бангладеш і на о. Тайвань, заборонивши використання пластикових пакетів. Потрібно переходити на випуск біорозкладного пластика, проводити сортування відходів, їх переробку, утилізацію і т. д.

З огляду на все це, метою нашої роботи є: аналіз наявності пластику у воді України та світу, його кількості і розмірів; впливу його на навколишнє середовище, здоров'я людей, земних і морських тварин, риб, а також пропозиції щодо впровадження розроблених нами методів очищення питних і стічних вод від пластику.

4.1. Аналіз вод України та світу на наявність у них пластику

Для отримання повної інформації про масштаби забруднення води пластиком був проведений аналіз наукових джерел та лабораторних звітів як українських, так і закордонних видань. Таким чином, теоретичною базою досліджень стали новітні наукові розробки (1989-2018 рр.), в яких описано, який пластик, в якій формі і кількості присутній у питній та бутильованій воді, а також у стічних водах.

Проблеми бутильованої води. Вживаючи бутильовану воду, люди, нехай і не навмисне, самі ж забруднюють воду, яку вони п'ють.

Українці за останні 10 років почали пити в 5 разів більше бутильованої води, це майже 42 літри на рік на одну людину. Один європеєць в середньому випиває 103 літри бутильованої води на рік. Наскільки цей тренд безпечний для здоров'я, навколишнього середовища, ми спробуємо розібратися в цій роботі.

З 2016 року середній американець використав 167 одноразових пляшок з водою, з яких було перероблено 38 шт. При цьому середній росіянин

використовує 120 одноразових пляшок в рік, а переробляє з них тільки 5 шт. [1, 37].

Співробітники з Університету штату Нью-Йорк провели дослідження бутильованої води на її якість, що відповідає терміну «безпечна» [1, 37]. Перевірили і результати їх приголомшили. Заміри показали, що на кожен літр того, що потрапляє в організм людини з пластикових пляшок, припадає 325 частинок мікропластику. Розміри частинок від 6,5 до 100 мікрометрів (1 мікрометр = 10^{-6} м, нанометр = 0,001 мкм), що приблизно відповідає товщині людського волосся. Ця група вчених показала, що водопровідна вода містить в 2 рази менше домішок. Під час експерименту хіміки проаналізували склад вмісту 259 окремих пляшок з 27 різних партій 11 найвідоміших світових брендів. Зразки для тестування закуповували у 9 країнах Європи, Америки, Африки та Азії. Воду перевіряли за допомогою спектроскопічного аналізу FTIR.

Результати показали, що з усіх перевірених пляшок (259 шт.) лише 17 не містили слідів мікропластику. У відсотковому співвідношенні це виглядає ще більш страхітливо – всього 7% бутильованої води. Решта (93%) містила 325 часток пластику на кожен літр [38].

Велика частина мікропластику (54%) виявилась поліпропіленом (PP), 11% – полістиролом (PS), 16% – нейлоном (NYLON), 10% – поліетиленом (PE), 6% – суміш поліефіру і поліетилентерефталату (PEST), 3% – інші включення (азлон, поліакрилати й кополімери) [32].

Проведений авторами даної роботи аналіз водопровідної води міст Придніпров'я показав, що вона містить до 4 часток пластику (іноді і менше), а бутильована вода відомих українських брендів містить понад 10 мікрочастинок пластика.

Забруднення Світового океану пластиком. Ступінь забруднення Світового океану поступово зростає [32]. Здатність води до самоочищення часто виявляється недостатньою, щоб впоратися з відходами, що скидаються і кількість яких постійно збільшується.

Роль Світового океану в житті людини значна. Він виконує середовищеутворюючу, промислову, сировинну, транспортну та інші функції. З огляду на необмежені багатства Світової океану, вчені називають його сьомою економікою світу відразу після США, Китаю, Японії, Німеччини, Франції та Великобританії. Загальну вартість його ресурсів оцінюють в 24 млрд доларів. Але 2/3 океанської економіки залежить від стану самого океану.

З багатством Світового океану людство поводиться недбало і марнотратно. Щорічно в нього скидається понад 30 тис. різних хімічних сполук, загальна маса яких становить 1,2 млрд. тон. Але забруднення його вод пластиковим сміттям набуває катастрофічного характеру.

Пластмаса є найбільш поширеним елементом, що знаходиться в океані. Це шкідливо для навколишнього середовища, оскільки пластмасу морські тварини розглядають як їжу.

Відомо, що на відміну від інших забруднювачів, пластик не тоне і майже не розкладається, його легко захоплюють води найпотужніших течій Землі. Внаслідок цього в околицях таких течій виникають своєрідні пластикові смітники – «острови», найбільшим з яких є Велика сміттєва пляма в північній частині Тихого океану. За різними оцінками, загальна площа цієї плями становить від 700 тис. до 1,5 млн. км^2, в якій зосереджено понад 100 млн. тон сміття.

Юний винахідник з м Кропивницький (Україна) Руслан Коптєв розробив і сконструював роботизовану систему для збору пластикового сміття з водойм. Фактично робот був створений з підручних матеріалів і оснащений сонячною батареєю, GPS і камерою з датчиком. Проведені пілотні випробування установки показали її високу ефективність. За один день роботи роботизована система може зібрати до 20 кг пластикового сміття з поверхні водойми. Зараз розробник і його команда намагаються знайти кошти для налагодження серійного випуску свого винаходу [32].

На думку вчених, видалення мікропластику зі Світового океану не є можливим. Наявність в океані величезної маси мікропластику – це нова, маловідома загроза для морських екосистем і людського організму. У процесі розкладання пластику утворюється свого роду суспензія. Багато морських тварин і птахів споживають пластик як частину їжі. Люди легко заражаються, споживаючи забруднені морепродукти, що можуть викликати серйозні проблеми зі здоров'ям – від ушкодження імунної системи до раку. Тому найефективнішим рішенням даної проблеми є скорочення пластикових відходів.

Різні країни вирішують проблему забруднення води пластиком по-своєму. Наприклад, в Сінгапурі, Бангладеш, на о. Тайвань заборонили використання пластикових пакетів. Євросоюз передбачає до 2030 р заборонити одноразові пластикові упаковки. Уряди багатьох країн вводять податки, мотивуючи своє населення відмовлятися від виробництва і використання пластику. В Україні до теперішнього часу проблему забруднення природних вод пластиком не розглядали ні на офіційному, ні на академічному рівнях.

Незважаючи на всі зусилля законодавців, неурядових організацій, в океан як і раніше потрапляють тисячі пластмасових відходів [32, 35].

4.2. Вплив пластику на здоров’я сучасних споживачів

З появою одноразового пластикового посуду люди стали його активними користувачами. Проведені в останні роки дослідження показали, що деякі види пластику є небезпечними, мають безпосередній згубний вплив на здоров'я споживачів. Перш ніж купити пластиковий посуд, необхідно ретельно вивчити значення зашифрованих символів і знаків на його маркуванні.

Пластик – полімерний матеріал. Найпоширеніші полімерні матеріали, з яких виробляють як технічний, так і харчовий пластик, – полівінілхлорид (ПВХ), поліпропілен, поліетилен, полістирол, поліетилентерефталат, полікарбонат. Пластик, що використовується для виготовлення виробів, що контактують з їжею, в першу чергу дитячого асортименту, в обов'язковому порядку досліджують на відповідність санітарно-гігієнічним нормам і сертифікують. Виробник зобов'язаний маркувати свою продукцію.

Маркування пластикового посуду і розшифровка маркерів. Значок «чарка-вилка» – найголовніший маркер, що свідчить про придатність пластикового посуду до контакту з харчовими продуктами. Якщо такий значок перекреслений або відсутній, пластикові вироби не призначені для зберігання, використання та вживання з них продуктів харчування. Трикутник з трьох стрілок – знак вторинної переробки сировини, що символізує замкнутий цикл: створення → застосування → утилізація. Посуд або упаковка, маркована даним знаком, придатна для подальшої переробки.

Цифри всередині трикутника говорять про тип переробленого матеріалу: 1-19 – пластик, 20-39 – папір і картон, 40-49 – метал, 50-59 – деревина, 60-69 – тканини і текстиль, 70-79 – скло [32 , 40].

Виділяють наступні групи пластиків (табл. 4.1):

1. **PET або PETE (ПЕТ)** – поліетилентерефталат. Його використовують для виготовлення упаковок (пляшок, коробок, банок) для розливу прохолодних напоїв, соків, води. Також цей матеріал зустрічається на упаковках для порошків, сипучих харчових продуктів.

2. **HDPE (ПНД)** – поліетилен високої щільності низького тиску. Його застосовують для виготовлення виробів, що контактують з харчовими продуктами, іграшок. Цей матеріал є безпечним для харчового використання і зберігання їжі.

3. **PVC (ПВХ)** – полівінілхлорид. Використовують для труб, трубок, садових меблів, в підлогових покриттях, для віконних профілів, жалюзі, пляшок миючих засобів та клейонки. Матеріал є потенційно небезпечним для харчового застосування, так як може містити діоксини, бісфенол А, ртуть, кадмій та інші.

4. **LDPE (ПВД)** – поліетилен низької щільності високого тиску. З нього виробляють поліетиленові пакети, гнучкі пластикові упаковки, вироби для пакування і закупорювання лікарських засобів.

5. **PP (ПП)** – поліпропілен. Його застосовують в автомобільній промисловості (обладнання, бампери), при виготовленні іграшок, в харчовій промисловості, в основному при виробництві упаковок. Поліпропілен витримує високі температури, тому посуд можна використовувати для гарячої їжі і напоїв. Контакт з алкоголем можливий, але небажаний. Пластикові одноразові стаканчики, що роблять з поліпропілену, до гарячих рідин «байдужі», тому шкідливих речовин при нагріванні не виділяють. Але вони мають інший властивістю: при контакті з алкоголем або газованими напоями (з будь-якими складними хімічними сполуками) можуть виділяти формальдегід або фенол. З

цього випливає, що воду пити з такого склянки можна, а от горілку – не варто. Формальдегід має яскраво виражені мутагенні властивості, володіє алергенною і подразнюючою дією. Контакт людського організму з середовищем, що містить цю речовину, може привести до появи раку дихальних шляхів і багатьох інших важких захворювань аж до лейкозу. До ознак, характерних для отруєння формальдегідом через його вдихання, відносять кон'юнктивіт і прогресуючий набряк легень. Потрапляння даної речовини в організм через шлунково-кишковий тракт може стати причиною його хімічного опіку, ерозії, виразки.

6. **PS (ПС)** – полістирол. Використовують при виготовленні плит теплоізоляції будівель, харчових упаковок, столових приладів і чашок, іншого одноразового посуду, коробок CD, піноматеріалів, іграшок, ручок. Посуд з полістиролу придатна виключно для холодних харчових продуктів і прохолодних напоїв, так як при нагріванні або контакті з гарячим виділяє стирол – високотоксичну речовину, що відноситься до III класу небезпеки. Стирол служить основою для виготовлення полімеризаційних пластиків (полістиролів), склопластиків, синтетичних каучуків, поліефірних смол. Посуд не можна застосовувати для гарячих продуктів, для розігріву їжі в мікрохвильовій печі, а також в якості ємностей для алкогольних напоїв. Наприклад, якщо налити в стаканчик гарячий напій або покласти гаряче блюдо в таку пластиковий посуд, їх вже не можна називати безпечними. Тарілки з полістиролу часто використовують в літніх кафе під шашлик, гарячий суп та інші продукти. Практично всі реакції, яким піддаються стирол і його гомологи, несуть потенційну загрозу здоров'ю і життю людей. Вдихання його парів загрожує численними гострими і хронічними захворюваннями. Тривале потрапляння стиролу в організм людини може призводити до ураження дихальних шляхів, подразнення шкіри і слизових оболонок, ураження печінки, нирок, кровоносної і нервової систем.

7. **OTHER або O** – інші. До цієї групи відносять будь-який інший пластик без літерного коду, що не може бути включений в попередні групи. Служить як багатошарова упаковка або комбінований пластик. Наприклад, полікарбонат, який не є токсичним для навколишнього середовища.

Посуд з меламіну може містити азбест, що заборонений навіть у будівництві.

Згідно з деякими дослідженнями останніх років, багаторазове використання пластикового посуду або пляшок сприяє розвитку серцево-судинних захворювань. Це перш за все стосується полікарбонату. Діетілгексілфталат і бісфенол А, знайдені в пластикових пляшках і каністрах, можуть бути поглинені з їжею і викликати алергічні захворювання, бронхіальну астму, безпліддя, рак молочних залоз, передміхурової залози, захворювання серцево-судинної системи, порушення обміну речовин.

Одноразову упаковку потрібно використовувати тільки один раз. Немає відомостей про те, як реагує пластик на інгредієнти, для яких він не призначений. Це відноситься до жирів і кислот. Вважають, що продукти з

великим вмістом цукру і жири не можна готувати в пластиковому посуді. Вони нагріваються до температури плавлення і деформування пластмаси. Потрібно готувати їх в спеціальному посуді, що витримує нагрівання до 140, 180 і більше градусів. При повторному використанні одноразового пластикового посуду пошкоджується його зовнішній захисний шар і починають виділятися канцерогенні речовини – формальдегід, фенол, кадмій, свинець. Не варто пити з одноразових пластикових склянок спиртне. У будь-якому пластику містяться токсичні речовини, що в звичайних холодних напоях не розчиняються, але не витримують хімічної атаки алкоголю. У домашніх умовах доцільно відразу знімати з продуктів пакувальну плівку, зрізати верхній шар з продуктів, що зберігалися в пластиковій упаковці. Неприпустимо використовувати одноразову упаковку для зберігання продуктів, потрібно тримати їжу в скляному і керамічному посуді, купувати дитяче харчування тільки в скляній або картонній упаковці. Важливо не використовувати для дитячого харчування пластиковий посуд. Не слід розігрівати в мікрохвильовій печі їжу в пластиковому посуді і тримати довго воду в фільтрах-глечиках. Помутнілий пластиковий глечик для води необхідно викидати. Також одноразова упаковка не призначена для миття, так як результат може бути непередбачуваним. Замість пластикового посуду доцільно використовувати посуд з паперу, що є екологічно безпечним і нешкідливим для організму.

Пластикові пляшки та іншу тару створюють за заданими параметрами і для певних ситуацій при використанні (рис. 4.1). Наприклад, в пляшку з-під молока краще не заливати соки, тим більше спиртні напої. Велику роль у виробництві пластику грає порядність його виробника, який може економити на якості і екологічності, а також на температурному режимі.

При нагріванні і контакті з водою пластик виділяє різні шкідливі токсичні сполуки, що, потрапляючи в організм людини, підточують його здоров'я, накопичуються і викликають різні захворювання.

Дослідження показали, що 80% шкідливих речовин пластику в організмі людини потрапляють:

- з будівельних і оздоблювальних матеріалів (гідроізоляції, шпалер, утеплювачів, предметів побуту та ін.);
- з пластикових вікон, меблів, побутової техніки;
- з пластикового посуду – найбільше.

Особливо шкідливим є використання модних зараз пластикових контейнерів, так як в них часто зберігають і розігрівають їжу в мікрохвильових печах. Саме при такому використанні – нагріванні і контакті з водою і їжею – йде утворення і виділення токсичних речовин і отрут, що потрапляють в організм.

Технічний і харчовий пластик виробляють з полівінілхлориду (ПВХ), поліпропілену, поліетилену, полістиролу і полікарбонату. Всі пластмасові вироби з часом старіють (змінюються), виділяючи продукти руйнування.

Наприклад, ПВХ з часом починає виділяти шкідливу канцерогенну речовину – вінілхлорид.

Шкідлива речовина з ПВХ починає виділятися через тиждень після того, як в пластиковий посуд залили вміст. Через місяць в мінеральній воді накопичується кілька міліграмів вінілхлориду (онкологи вважають, що це дуже багато).

Рисунок 4.1 – Маркування біорозкладних пластиків

Австралійські вчені провели експеримент і виявили бісфенол А у 95% обстежуваних добровольців. Причому серед піддослідних були діти і вагітні жінки. Потрапила дана речовина в сечу, швидше за все, саме з бутильованої води. При нагріванні навіть трохи вище кімнатної температури починається активне переміщення токсичних молекул з пластикової пляшки в рідину, якою вона наповнена. Зрозуміло, що в спеку понад 30 °С така вода стає отруєної, в тому числі і бісфенолом А. Цей компонент негативно впливає на щитовидну залозу, ЦНС, провокує нездатність мати дітей, гіпертонію, ожиріння і діабет [38].

У нашій країні є ще одна суттєва небезпека – повторне використання баклажок. З PVC-пляшок виділяється токсичний хлорвініл. Експерти вважають, що пляшковий пластик зберігає нейтральність тільки за відсутності кисню, поки вода зберігає свій первісний хімічний склад. Як тільки пляшку відкривають, вода і пластик швидко змінюють свої властивості.

Користуватися посудом з меламіну (формальдегіду) вкрай небезпечно. Для міцності посуду в неї додають азбест, що заборонений навіть у будівництві, не

те що у виготовленні посуду. Формальдегід і азбест дуже шкідливі і можуть викликати рак. Малюнок на такій тарілці теж шкідливий. На меламін не можна нанести нешкідливий барвник – триматися не буде. Тому використовують фарби, що містять важкі метали, наприклад, свинець. Всього кілька разів розігрівши в такому посуді супчик, можна заробити ракову пухлину [38].

Виробники продуктів швидкого приготування також часто користуються полістирольної упаковкою (стаканчик, пакетик, миска). Лотки з замороженими готовими стравами, в яких їх можна розігрівати, можуть втратити необхідну термостійкість після того, як їх піддали глибокому охолодженню.

У пластмасових ємностях можна зберігати кислі продукти, капусту, солити огірки та інші овочі. Мити їх гарячою водою – теж.

Політика в галузі управління пластиковими відходами застаріла і загрожує здоров'ю людей і живій природі, як повідомляють експерти Челсі М. Рокман, Марк Ентоні Брауні та ін. [34].

Велика частина пластика небезпечна сама по собі в хімічному контексті – вона може бути токсичною в певних умовах або сама адсорбувати шкідливі речовини. Але в США, Європі, Австрії, Японії, а також в Україні пластикові відходи все ще класифікують як ТПВ, і тому з ними поводяться, як з харчовими відходами або, наприклад, як зі скошеною травою.

Ми віримо: якщо країни класифікують пластикові відходи як небезпечні, агентства з охорони навколишнього середовища зуміють відновити ареали проживання і запобігти накопиченю небезпечних відходів [32]. В кінцевому підсумку, подібний крок може підштовхнути дослідження в області нових полімерів і замінити пластик більш безпечними матеріалами.

З забрудненням навколишнього середовища, зокрема води, борються по-різному. Деякі вводять заборону на продаж бутильованої води на законодавчому рівні, наприклад, у м. Банденун (Австралія) або м. Конкорд (США) [37].

Швейцарія відправляє на повторну переробку практично 100% відходів [19]. Система сортування сміття тут доведена до абсолюту, а декому може здатися, що навіть до абсурду. При цьому така система не знає винятків – всі зобов'язані розкладати сміття по різних контейнерах. Хто не згоден – платить штраф. У Швейцарії існує так звана екологічна поліція, яка за допомогою сучасних технологій відстежує і штрафує порушників.

В Україні теж прийнята система сортування сміття, але для цього не створені умови: немає контейнерів для різних відходів, ніхто не веде моніторинг сортування відходів; не переробляються відходи, а якщо і переробляються, то не більше 4-10% в залежності від регіону і т. д.

Середньостатистичний дорослий чоловік використовує дев'ять продуктів в день, що містять 126 різних хімічних речовин [36]. Миття рук, купання, душ, прання, миття посуду, використання туалету – незалежно від того, з якою метою ми використовуємо воду, вона несе забруднюючі речовини у злив. Якщо ця вода надходить в муніципальну систему очищення стічних вод, вона в

кінцевому підсумку виявляється у водоймі (річці, озері і т. д.), що, як правило, є джерелом питної води.

«Це закон життя: практично завжди вода, що стікає в каналізацію, містить забруднюючі речовини (в тому числі і пластик), що врешті-решт потрапляють в чиюсь питну воду», – каже Пітер С. Картрайт [35] . Він є володарем двох нагород, в тому числі від Асоціації якості води США, технічним консультантом Канадської асоціації якості води. Що можна запропонувати? «Індивідуальна практика. Очевидно, що всі ми можемо (і повинні) стати персональними управлінцями нашого навколишнього середовища», – говорить далі Пітер Картрайт [35]. Це приділення великої уваги тому, що ми кидаємо в каналізацію, а також нашому спільному використанню води. Є свідчення того, що люди стають більш обізнаними щодо відходів в цілому і більш уважними, наприклад, в питанні утилізації пластику і фармацевтичних продуктів. Все більше споживачів викидають їх на сміття, а не в туалет. І цей процес набирає обертів, хоча і дуже повільно. У виробничій і сільськогосподарській галузях відбувається поступова зміна парадигми: тенденції до економії води, а також до відновлення і повторного використання стічних вод.

«Для пиття і приготування їжі ми, насправді, споживаємо тільки один відсоток того, що входить в наш будинок. Якщо етикетки виробників бутильованої води підтверджують, що продукт пройшов зворотньоосмотичне або дистиляційне очищення, цей продукт повинен бути прийнятним. Але не забувайте, що використання при виробництві тари для бутильованої води БФА- і БФС-пластику створює проблеми», – продовжує Пітер Картрайт [35].

4.3 Реконструкція діючих і створення нових ефективних методів і технологій для очистки вод від пластику

У роботі узагальнено наявні і представлено нові методи і технології очищення води від пластику, такі як: проціджування на різних спорудах (механічні методи), флотаційні, мембранні і зворотньоосмотичні системи, мембранні біореактори (фізико-хімічні та комбіновані методи). Як другий шлях зниження кількості пластику в воді запропоновано заборона його виготовлення або створення біорозкладного пластику.

Для вирішення проблеми – очищення води від пластику – є багато шляхів, але вони зводяться в основному до двох: перший – це створення нових видів пластмас і матеріалів, що розкладаються в природі і нешкідливі для всього живого; другий – вдосконалення діючих і створення нових ефективних методів і технологій для очищення води від пластику.

На телеканалах України стали часто обговорювати питання, пов'язані з забороною на випуск пластикових пакетів. Для Європи і США останнім часом більш характерний громадянський тренд – добровільна відмова покупців від

бутильованої води і перехід на фільтровану воду в своїх пляшках багаторазового використання. Фільтрована водопровідна вода (доочищена) з розвитком технологій перестала поступатися бутильованій, очищеній на виробництві, в якості, але має більш низьку вартість. Грошовий фактор, як зазвичай, вирішує багато [35].

Для очищення води від пластику ми пропонуємо механічні та фізико-хімічні методи, а також їх комбінації (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Методи очистки води від пластику, що розроблені в Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

<table>
<tr><th>Механічні методи очистки</th><th>Фізико-хімічні методи очистки</th><th>Інші рекомендації</th></tr>
<tr><td>Проціджування на гратах з прозорами 16 мм</td><td>Флотаційні технології</td><td rowspan="2">У домашніх умовах використання різноманітних систем доочистки води, наприклад, системи зворотнього осмосу, ультрафільтрації і т.і.</td></tr>
<tr><td>Проціджування на вібраційних грохотах із щілинними ситами з отворами 0,25 – 0,1 мм</td><td>Зворотноосмотичні системи</td></tr>
<tr><td>Проціджування на вібраційних грохотах (двох або багатоступеневе)</td><td rowspan="3">Мембранні технології:
– гіперфільтрація
– ультрафільтрація
– нанофільтрація</td><td rowspan="3">Зберігання бутильованої води в домашніх умовах у скляній тарі</td></tr>
<tr><td>Нерухомі дугові сита з розмірами отворів 0,07 мм</td></tr>
<tr><td>Фільтрація через шар спеціального зернистого матеріалу</td></tr>
</table>

Фізичний метод дистиляції можливий для невеликих витрат води. Проціджування на каналізаційних станціях України та інших країн здійснюють на решітках з прозором не більше 16 мм (згідно ДБН) зі стрижнями прямокутної або іншої форми. Такий прозор на решітках не дозволяє вловлювати пластик розміром з людський волос, тому ми перейшли на більш дрібну величину прозора – 10 мм і менше.

Для уловлювання тонких часток пластику ми пропонуємо здійснювати проціджування на вібраційних грохотах, на яких встановлюють щілиновидні сита (рис. 4.2) з розмірами отворів 0,1-0,25 мм. Такі грохоти широко застосовують в гірничорудній і вугільній промисловості для зневоднення

концентрату на збагачувальних фабриках. Для підвищення ефективності вилучення пластику можна встановлювати багатоступінчате проціджування (2 і більше ступені) на грохотах. Це дозволить вловлювати частинки пластику з розмірами від 0,1 мм до 30 мкм і менше. Фільтрування, але вже як доочищення, може бути здійснено через шар розробленого нами спеціального зернистого матеріалу. Він дозволяє затримувати забруднення у воді, в тому числі і пластик з розмірами менше 30-40 мкм.

Зворотний осмос стає можливим при використанні напівпроникних мембран, що вільно пропускають воду, і в той же час затримують 90-99% всіх розчинених неорганічних сполук, 95-99% органічних речовин і 100% дрібних колоїдних і пластикових домішок, бактерій, вірусів і т. д.

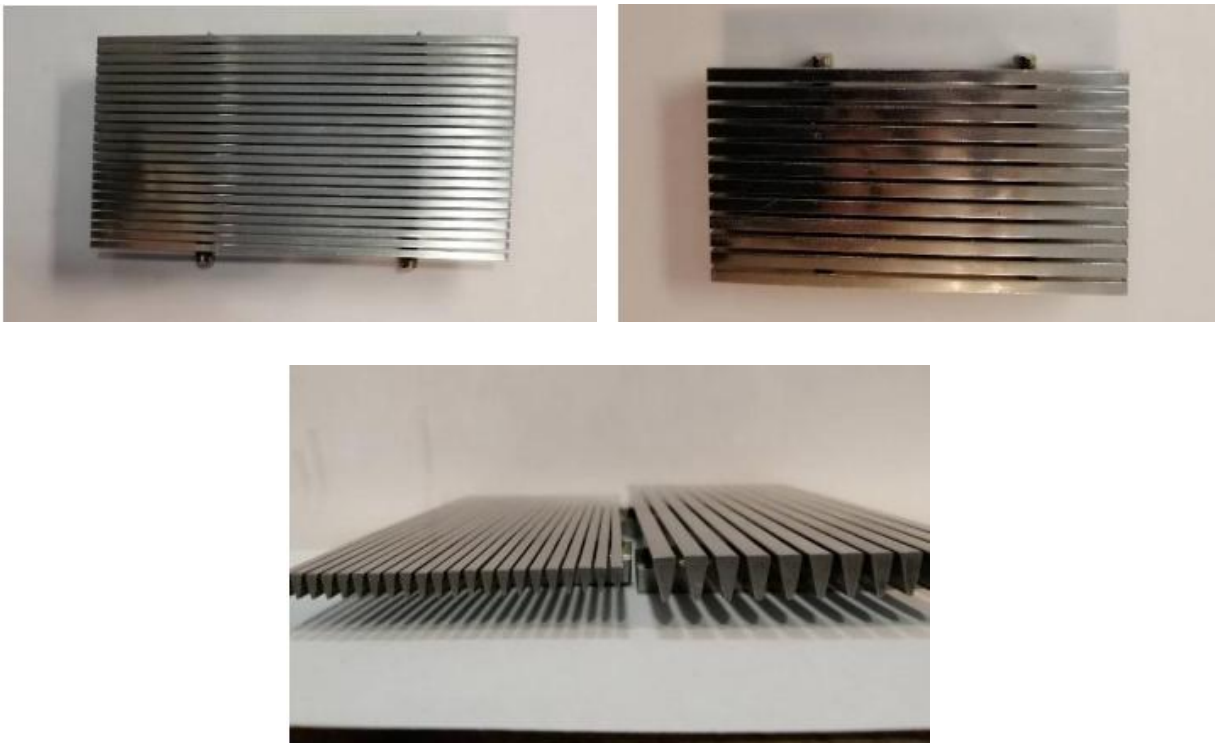


Рисунок 4.2 – Щілиновидні сита

Нанофільтрація – це баромембранний процес поділу речовин (робочий тиск – 1-2 МПа) з молекулярною масою до 300-500 Да. Нанофільтраційні мембрани мають отвори нанометричного діаметру (1-3 нм). Вони затримують електроліти (NaCl на 40-60%) і практично повністю (98-99,9%) органічні сполуки (спирти, цукор, пестициди, пластик та ін.). Мікрофільтрація – це баромембранний процес, що застосовують для виділення з розчину завислих і колоїдних частинок розміром 0,1-10 мкм, в тому числі і пластмасових часток (робочий тиск 0,01-0,05 МПа).

Ультрафільтрація – це процес баромембранного поділу, а також концентрування і фракціонування розчинів високомолекулярних сполук (робочий тиск 0,05-0,5 МПа). Цей процес, на відміну від зворотного осмосу, застосовують для поділу систем, в яких молекулярна маса розчинених компонентів набагато більше, ніж молекулярна маса розчинника (води). На

практиці ультрафільтрацію використовують тоді, коли хоча б один з компонентів розчину має молекулярну масу понад 500 Да (пластик та ін.).

Флотація ґрунтується на різному ступені змочування водою різних речовин. Суть процесу полягає в тому, що частинки пластику прилипають до бульбашок повітря (газу), що виносить їх на поверхню апарату, де вони утворюють піну. Оптимальні розміри частинок піни – 10^{-5}-10^{-3} м.

Як бачимо з аналізу досліджень останніх років, багато екосистем земної кулі забруднені великою кількістю пластмасових виробів.

Для зменшення забруднення вод і навколишнього середовища в Україні потрібні комплексні рішення:

- припинення випуску нерозкладного пластику;
- перехід на біорозкладний пластик;
- сортування твердих побутових відходів та їх переробка;
- скорочення пластмасових відходів;
- перехід на нові методи утилізації пластику;
- введення податку на пластик, як це роблять уряди багатьох країн, мотивуючи своє населення відмовлятися від виробництва і використання пластику.

Резюмуючі висновки по водному господарству України:

- необхідна економія води;
- реконструкція підприємств з виробництва питної води з використанням методів очищення від пластику і нових методів знезараження (озонування, УФ-знезараження та ін.);
- перехід на багаторазову скляну тару для питної води;
- збільшення обсягу використовуваної води з альтернативних джерел – шахт, морів та ін.;
- реконструкція станцій очищення стічних вод;
- відновлення і повторне використання стічних вод;
- використання дощових і стічних вод для нехарчових домішок;
- застосування локальних систем всюди, де це можливо, як для доочистки, так і для підготовки води.

Свідомо не згадуємо два найбільш радикальні і правильні, але в той же час утопічні шляхи – вдосконалення технології централізованої водопідготовки і відновлення водопровідних мереж; пошук фінансування і вітчизняних, іноземних інвесторів для реконструкції та вдосконалення підприємств водного господарства.

ГЛАВА 5.

Реконструкція аеротенків з метою видалення біогенних елементів

Погіршення якості води в поверхневих джерелах відбувається, головним чином, через їх постійне забруднення речовинами антропогенного походження: нафтопродуктами, поверхнево-активними речовинами (ПАР), органічними і біогенними елементами та ін., що пов'язано з недостатньою глибиною очищення стічних вод. Це говорить про те, що технологія і споруди, запроектовані в 60-70-х роках минулого століття, не справляються із сучасним антропогенним навантаженням. У зв'язку з розвитком промисловості, зокрема миючих засобів, кількість найменувань яких важко порахувати, а також різке збільшення використання пральних машин-автоматів в побуті, призвело до зміни складу господарсько-побутових стічних вод. З кожним днем все більше збільшується вміст біогенних елементів (азоту і фосфору), так як розробляються нові склади миючих засобів, що захищають нагрівальні елементи миючих, пральних машин від накипу, поліпшують прання брудної білизни та ін. Вміст поліфосфатів в складі миючих засобів може досягати 30-50%. Наводимо приблизний склад миючого засобу, що широко застосовується в Україні в побутових пральних машинах: фосфати – 15-30%; аніонактивні ПАР – 5-15%; катіонактивні та неіоногенні ПАР <5%; ЕДТА; полікарбонати; мило; цеоліти; ензими; ароматизатори.

Видалення біогенних елементів із стічних вод потрібно у зв'язку з тим, що з'єднання азоту і фосфору викликають процес евтрофікації водойм. Евтрофікація – процес росту біологічної рослинності водойм, що відбувається внаслідок перевищення балансу поживних речовин. Він супроводжується надмірним розвитком водоростей, особливо зелених, синьо-зелених і діатомових, переважанням небажаних видів планктону, порушенням життєдіяльності риб. Продукти метаболізму водоростей дають воді неприємний запах, можуть викликати шкірні алергічні реакції і шлунково-кишкові захворювання у людей і тварин. При своєму розкладанні водорості виділяють у воду поліпептиди, аміак і проміжні продукти білкового розпаду. У воді відзначається вміст фенолів (канцерогенів), в 3-4 рази перевищують ГДК. У всіх створах Дніпра спостерігається перевищення нормативів ГДК для водойм рибо-господарського призначення в 1,5-6,9 рази для фосфору (до 0,58 мг/дм^3).

Видалення біогенних елементів потрібно також при створенні оборотних і замкнутих систем водопостачання промислових підприємств, що використовують біологічно очищені міські стічні води. Наявність сполук фосфору і азоту викликає біологічне обростання трубопроводів, колекторів та іншого каналізаційного обладнання, а присутність амонійного азоту, нітритів і нітратів призводить до розвитку корозійних процесів.

Традиційна біологічна очистка стічних вод не забезпечує достатньої глибини видалення біогенних елементів. Так, при механічному очищенні вміст азоту і фосфору знижується на 8-10%, а при біологічному – на 35-50%. Навіть при значній робочої дозі активного мулу 6 г/дм^3 для біологічного процесу очищення стічних вод в аеротенках ефективність видалення фосфору може підвищитися тільки на 50-55%.

Відповідно до сучасних поглядів, головна роль в евтрофікації водойм належить фосфору, тому для стримування процесів евтрофікації необхідно, в першу чергу, видаляти сполуки фосфору.

Зазначені проблеми досить ефективно вирішені і продовжують розроблятися в Європейському Союзі (Данія, Фінляндія, Швеція та ін.), в США, а в Україні і Росії ще перебувають в початковому стані.

5.1. Особливості стічних вод, що містять біогенні елементи. Джерела утворення вод

До біогенних елементів відносяться вуглець, азот, фосфор і калій. При очищенні стічних вод найбільша увага приділяється видаленню азоту і фосфору, що пов'язано з евтрофікацією водойм. Уповільнення і навіть припинення процесу евтрофікації принципово можна досягти шляхом припинення доступу в водойми біогенних елементів. CO_2 поглинається водою з повітря, тому обмежити концентрацію вуглецю у воді порівняно важко. На загальну продуктивність водойм впливає кількість і характер сполук азоту та фосфору. При сприятливих умовах 1 мг азоту продукує 20-25 мг водоростей, 1 мг фосфору – 40-250мг [1].

Грамотну технологічну оцінку і підбір способів очищення стічних вод для конкретних умов водогосподарських об'єктів слід проводити на базі знань про кінетику процесів очищення, а також гідродинаміку споруд.

Азот міститься в стічних водах у вигляді органічних і неорганічних сполук [2]. У міських стічних водах головну частину органічних азотних сполук складають речовини білкової природи – фекалії і харчові відходи. Неорганічні сполуки азоту представлені відновленими NH_4^+ і NH_3 і окисленими NO_2^- і NO_3^- формами. Велика частина амонійного азоту утворюється при гідролізі сечі, яка є кінцевим продуктом азотного обміну людини. Утворення сполук амонію відбувається також в процесі амоніфікації білкових сполук. У неочищених міських стічних водах концентрація амонійного азоту становить 8,8-70 мг/дм^3, нітритів – 0,08-0,6 мг/дм^3 і нітратів – 0,6-3 мг/дм^3.

Для отримання уявлення про баланс азотовмісних речовин в стічних водах визначають загальний азот (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Концентрація різних форм азоту в міських стічних водах Лівобережної станції аерації м. Дніпро за квітень 2010р.

Місце відбору проб	Азот амонійний мг/дм^3			Нітрити, мг/дм^3			Нітрати мг/дм^3		
	max	min	mid.	max	min	mid.	max	min	mid.
Стічна вода до очистки	34,0	19,4	26,0	055	0,08	0,28	2,91	0,67	1,3
Стічна вода після очистки	3,7	1,61	2,43	1,45	0,29	0,94	30,7	15,2	21,0
ГДС, мг/дм^3	2,0			3,3			45,0		

Екологічна небезпека неорганічних сполук азоту надзвичайно відрізняється: найбільш токсичними є нітрити, найбільш безпечними – нітрати, середнє положення займає амоній, що відображає ГДК для скидання цих азотовмісних сполук в природні водойми [3]. Концентрація різних форм азоту в стічних водах не постійна, вона змінюється як в мережах водовідведення, так і на різних етапах очистки.

Трансформація азотовмісних сполук починається вже в процесі транспортування стічних вод на міські очисні споруди. Зокрема, органічна сполука карбамід (сечовина), в результаті мікробної деструкції, розпадається з утворенням амоній-іона (процес амоніфікації). Концентрація азоту нітритів і нітратів у стоках, що транспортуються, знижується за рахунок спонтанної денітрифікації.

В даний час нормативними документами, що регулюють якість поверхневих і стічних вод в Україні, контролюється 3 форми азоту: амонійний, нітритів і нітратів. А в країнах ЄС контролюється четверта форма азоту – азот органічний, або азот загальний (сума $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$, $N_{орг}$), або азот Кьельдаля (сума $N\text{-}NH_4$ і $N_{орг}$).

Таблиця 5.2

Вміст азоту в стічних водах

Стічні води	Концентрація, N, мг/дм^3			
	$N_{орг}$	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-
Металообробні підприємства	9,0-12,0	2,3-9,8	0-0,14	0-0,5
Молочні підприємства	56,0-121,0	10,6-22,0	0-0,28	0-0,4
Що надходять на очисні споруди	35,0	26,3	0,1	0,4
Очищені	7,5	1,9	1,0	10,5

З табл. 5.2 можна зробити наступні висновки.

Концентрація $N_{орг}$ в СВ, що надходять на обстежені очисні споруди, становить близько 44% від загального N. Найбільш високий вміст $N_{орг}$ встановлено в стічних водах молочних підприємств. Загальне навантаження на біоспоруди по азоту (сума NH_4^+ і $N_{орг}$) в 3-6 разів перевищує гранично-допустиму для даних споруд, розраховану по азоту амонійному. Тому залишкова концентрація $N_{орг}$ (в окремих пробах азоту амонійного) в очищених СВ досить висока.

Обсяг стічних вод цукрового заводу середньої потужності, на якому переробляється до 3 тис. тон буряка на добу, становить від 700 до 1200 $м^3$/добу., або 200-250 тис. $м^3$/рік. [4] Стоки заводу характеризуються високим вмістом органічної речовини (ХСК>2852 мг/$дм^3$), фосфору (14,2 мг/$дм^3$) і калію (69 мг/$дм^3$).

Стічні води маслосиркомбінатів формуються з 30% виробничих і 70% господарсько-побутових. Вміст біогенних елементів наступне, мг/$дм^3$: 9,7-37,8 азоту; 5,7-44,2 фосфору; 22,9- 42,7 калію.

Механічні пральні при залізничних станціях України характеризуються стічними водами, що мають такі показники: pH – 7,2-9,8; t>30º, вміст загального азоту – 100-130 мг/$дм^3$, амонійного азоту – 15 мг/$дм^3$; фосфатів по P_2O_5 – 140-150 мг/$дм^3$; $БПК_п$ = 490-520 мг/$дм^3$; ХСК мг O_2/$дм^3$ = 1000-1100 мг/$дм^3$.

Заводи з виробництва аміачної селітри, азотної кислоти і хімічних реактивів характеризуються підвищеним вмістом азотовмісних сполук: азот амонійний – 50(min)-1000(max) мг/$дм^3$; азот нітритів – 50(min)-1000(max) мг/$дм^3$; азот нітратів – 130(min)-250(max) мг/$дм^3$; фосфати – 1(min)-3(max) мг/$дм^3$.

Стічні води рибоконсервних заводів мають наступну характеристику по біогенних елементах: азот загальний – 30-40 мг/$дм^3$; азот амонійний – 30-35 мг/$дм^3$; фосфор (у перерахунку на P_2O_5) – 8-10 мг/$дм^3$.

У стічних водах м'ясокомбінатів загального азоту може бути від 80 до 160 мг/$дм^3$, а амонійного – 50-80 мг/$дм^3$.

Стічні води, що надходять на очисні споруди Великого Новгорода першої черги, містять азотні забруднення від одного з найбільших в Європі виробників мінеральних добрив ВАТ «Акрон» (азот сумарний до 4 т/доб., концентрація до 200 мг/$дм^3$) [5]. Вміст азоту амонійного на вході на очистку знаходиться в межах 70-120 мг/$дм^3$, а азоту нітратного – 13,3-18 мг/$дм^3$, азоту нітритного – 6,2-6,46 мг/$дм^3$, а БПКп – 158-343,4 мг/$дм^3$.

У процесі біологічного очищення стічних вод амонійний азот частково переходить в білковий азот біомаси мікроорганізмів і в певних умовах може окислюватися до нітритного і нітратного, що свідчить про високу ефективність біологічного процесу, оскільки нітрифікація амонійного азоту починається лише після глибокого вилучення органічних забруднень. У свою чергу, в результаті процесів біохімічної денітрифікації, нітритний і нітратний азот може відновлюватися до молекулярного, що йде в атмосферу.

Нітрифікація – процес окислення киснем повітря амонійного азоту до нітритів і нітратів, що здійснюється нітрифікуючими мікроорганізмами. На першій стадії процесу нітрифікації амоній окислюється до нітритів, на другій стадії нітрити окислюються до нітратів:

$$2\ NH_3+3O_2 \rightarrow 2NO_2^- + 2H_2O + 2H^+$$
$$2NO_2^- + O_2 \rightarrow 2NO_3^-$$

Для процесу нітрифікації оптимальною величиною pH є 7-9; можлива нітрифікація і при pH=6-7. Денітрифікація – процес відновлення нітритів і нітратів до вільного азоту, який виділяється в атмосферу. Процес може бути реалізований при наявності у воді певної кількості органічного субстрату, що окислюється сапрофітними мікроорганізмами до CO_2 і H_2O за рахунок кисню азотовмісних сполук. При денітрифікації забезпечується очистка стічних вод одночасно від біологічно окислювальних органічних сполук і від сполук азоту (NO_2^- і NO_3^-). Найбільш ефективно процес денітрифікації протікає при pH=7-7,5; при pH <7 або >9 процес загальмовується. В якості органічного субстрату в процесі денітрифікації можуть бути використані будь-які біологічно окислювальні органічні сполуки (вуглеводи, спирти, органічні кислоти і т.д.), а також стічні води після первинних відстійників; виробничі стоки, що переважно не містять азот.

Необхідним є співвідношення величин $БПК_п:NO_3^- \approx 4:1$. Для процесів нітрифікації і денітрифікації можуть бути використані традиційні споруди біологічної очистки: аеротенки і біофільтри.

Фосфор входить до складу фосфатів, що інтенсивно використовуються в складі миючих засобів і пральних порошків. Фосфати знаходять широке застосування в харчовій промисловості і в процесах водопідготовки. До складу сільськогосподарських добрив входять фосфатні мінерали; фосфати також є наслідком розкладання залишків рослин і тварин. Фосфати можуть потрапляти у водойми самими різними шляхами, зокрема, з побутовими, промисловими стоками і, звичайно ж, вимиваючись з сільськогосподарських угідь. Аналіз вмісту фосфатів – важлива складова комплексного контролю складу природних і питних вод.

Фосфати широко застосовуються для обробки води бойлерів і котлів. Фосфати додаються до води теплоносія для зменшення відкладень на поверхнях теплообміну. Ось чому важливою частиною водопідготовки котельної води є безперервний контроль концентрації фосфатів, що забезпечує дотримання технологічних норм експлуатації [6].

Хороша розчинність фосфорорганічних сполук у воді обумовлює безсумнівну небезпеку для навколишнього середовища і людського організму. Це обумовлено здатністю фосфорорганічних сполук хімічно зв'язувати та інактивувати біологічні каталізатори різних реакцій в організмі [7]. Фосфорорганічні сполуки проявляють кумулятивні властивості в живих

організмах, що ще більше підсилює їх токсичний вплив на навколишнє середовище.

Фосфорорганічні сполуки входять до складу багатьох так званих системних інсектицидів. Фосфорорганічні сполуки різної будови є основою багатьох бойових отруйних речовин (БОР). У зв'язку з цим актуальною є розробка ефективних технологій, покликаних унеможливити наслідки терористичних актів з використанням отруйних речовин. Висока розчинність фосфорорганічних сполук у воді вимагає створення надійних методів знешкодження, в першу чергу, води від цих сполук.

Багато дослідників аналізували шляхи надходження фосфору і його вміст в поверхневих водоймах [8]. Так, в Китаї загальне надходження в озера становила від 3,1 до 3,2 г/м^3 за один рік, при цьому 80% фосфору надійшло з каналізаційними стоками, а інша частина – з атмосферними опадами. У Німеччині з побутовими стічними водами у водойми надходить близько 38% сполук фосфору.

Лабораторією з охорони природи в Бристолі (Великобританія) визначені і досліджені джерела надходження фосфатів в р. Темзу [8]. Концентрація фосфатів, що потрапляють в річку з сільськогосподарських полів, варіювалась в межах 0,08-0,46 мг/дм^3.

Істотним джерелом надходження біогенних речовин в поверхневі водойми можуть бути тваринницькі комплекси. В одній тонні гною міститься близько 5 кг азоту; 2,5 кг P_2O_5 і 6 кг K_2O.

Таким чином, значна кількість фосфору надходить в ґрунт з гноєм, а інша частина його вимивається поверхневим стоком з водозбору в водойму.

Потужним джерелом надходження фосфору в поверхневі водойми є також підприємства сільськогосподарського виробництва. Встановлено [8], що найбільша кількість фосфору (80-90%) виноситься стічними водами з оброблюваного ґрунту сільгоспугідь, особливо восени з розораних під зяб полів.

Концентрація фосфатів (P_2O_{43-}) в деяких водоймах близько м. Києва:

– р. Нивка – 0,1-2,29 мг/дм^3;

– р. Ірпінь – 0,26 мг/дм^3;

– р. Дніпро вище м. Києва – 0,2 мг/дм^3;

– скидний канал води зі станції аерації Бортничі – 4,5 мг/дм^3.

У всіх створах р. Дніпро відмічається перевищення нормативів ГДК для водойм рибогосподарського водокористування в 1,5-6,9 рази по фосфатам (до 0,58 мг/дм^3). Необхідно відзначити, що неорганічні сполуки фосфору становлять не більше 10% від загальної кількості фосфору, що міститься у воді поверхневих водойм, а основна частина його запасів знаходиться в органічній формі і осідає на дно.

Система Криворізьких станцій аерації була створена в 1960-х роках (як і більшість станцій в Україні), існує більше 40 років, але проблема дефосфатизації виникла практично тільки останнім часом. Це пояснюється двома головними причинами:

- нормативи ГДС для фосфатів на рівні 3,5 мг/дм^3 були встановлені порівняно недавно;

- концентрація фосфатів у стічних водах, що надходили на очистку в минулі роки, була меншою або порівняно рідко перевищувала 3,5 мг/дм^3, що дозволяло витримувати нормативні показники в оборотних водах з використанням на криворізьких станціях технологій. Зараз вміст фосфатів в господарсько-побутових стоках, що надходять на очистку, значно зросли і становлять 10-12 мг/дм^3. Це обумовлено, головним чином, збільшенням використання населенням сучасних миючих засобів.

Таблиця 5.3

Концентрація фосфатів у стічних водах м. Кривий Ріг за 2004 р.

Стічні води	Вміст фосфатів у СВ на різних станціях аерації мг/дм^3		
	Центральна	Північна	Південна
До очистки	8,0	8,8	7,6
Після біологічної очистки	6,0	6,0	5,2
ГДС	3,5	3,5	1,5

У 2006 році інститутом «Кривбаспроект» розроблено робочу проектну документацію 3-го пускового комплексу реконструкції центральної станції аерації, що затверджена державної санітарно-екологічною експертизою. Однак на стадії цього комплексу, вартість якого складає близько 30 млн. гривень, проблема дефосфатизації залишається невирішеною. У пояснювальній записці проекту 3-го пускового комплексу 7-03071-ТХ.ПЗ (стор.46), зокрема, йдеться: «Технології по дефосфатизації біологічно очищених стічних вод проектом реконструкції на стадії 3-го пускового комплексу не передбачено через відсутність проектних нормативів і практики використання у вітчизняних умовах. Тому концентрація фосфатів в біологічно очищеній воді буде становити 3,5 мг/дм^3 і вище».

На південній станції аерації (потужністю в 15 разів менше ЦСА) в складі робот по її реконструкції, що почалися в кінці 2006 року ПрАТ «Інститут Дніпрокомун-проект», пропонується перевірити два варіанти сучасних технологій дефосфатизації (перша – з використанням інертного завантаження, друга – з біореакторами, що працюють в аеробно-аноксидному режимі). Достатнього досвіду використання таких технологій ще немає. Після їх апробування, наміченого на найближчі три роки, буде визначено з питанням подальшого використання цих або інших технологій на станціях аерації міста Кривий Ріг.

Фахівцями КП «Кривбасводоканал» на протязі останніх років проводиться роботи по детальному вивченню стану проблеми на українських станціях аерації, а також дослідження у виробничих умовах на Криворізьких станціях аерації. З огляду на, що проблема дефосфатизації гостро стоїть в Україні, українські станції аерації на сьогодні не мають технічних і технологічних можливостей для їх вирішення, провідний харківської науково-дослідний інститут «УкркомунНДІпрогрес» займається вивченням умов нормування оброблених стічних вод за показником «фосфати». КП «Кривбасводоканал» зі свого боку дав науковцям необхідну інформацію, що була ними запрошена. Потужності станцій переробки стічних вод в м. Кривий Ріг, $м^3$/доб.:

ЦСА-455000; ПнСА-36000; ПдСА-37500; ЦнСА-24000.

Вміст фосфатів у міських стічних водах, що надходять на очистку, знаходиться в межах 5-40 мг/$дм^3$ (табл.5.3-5.4), а після очистки – 3-5 мг/$дм^3$; у виробничих може бути 200 мг/$дм^3$ і вище.

Таблиця 5.4

Концентрація фосфатів і АПАР у стічних водах Лівобережної станції аерації м. Дніпро за квітень 2010р.

Місце відбору проб	Вміст фосфатів, мг/$дм^3$				Вміст аніон активних ПАР, мг/$дм^3$			
	max	min	сер.	ГДС	max	min	сер.	ГДС
Стічна вода до очистки	13,2	9,17	11,3	3,5	0,53	0,38	0,45	0,1
Стічна вода піля очистки	2,96	0,19	1,61	3,5	0,050	0,027	0,036	
р. Самара 500м вище скиду СВ	0,22				0,020			
р. Самара нижче скиду СВ	0,33				0,023			

Фосфор у воді знаходиться у вигляді неорганічних, органічних і органо-мінеральних сполук, а також входить до складу клітин гідробіонтів. Його сполуки в класифікації домішок води по фазовому стану і дискретності, розробленої в інституті колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України академіком Л. А. Кульським [9], можуть бути в кожній з 4-х груп. Зокрема, до першої групи (суспензії, що містять фосфор) можна віднести гідробіонти або фрагменти їх деструкції мікроскопічного розміру, присутні в стічних і природних водах. До другої групи (домішки колоїдної дисперсності) відносяться нерозчинні у воді фосфати, а також віруси, високомолекулярні речовини, що зумовлюють кольоровість води. До третьої групи відносяться молекулярно-розчинні фосфати, що містяться, наприклад, в миючих засобах. До четвертої групи домішок належать фосфорна кислота, її солі та інші розчинні фосфорні сполуки, що дисоціюють у воді на іони.

У міських стічних водах фосфор знаходиться у вигляді кислих і нормальних ортофосфатів, поліфосфатів та органофосфатів у розчинній і нерозчинній формах. З фосфатів розчинними є тільки середні шари лужних металів і амоній, всі інші катіони утворюють практично нерозчинні солі. При цьому можливе існування подвійних і складних солей зі змінним складом. Крім того, фосфати активно сорбуються на поверхні багатьох речовина.

Основним джерелом ортофосфатів в міських стічних водах є синтетичні миючі засоби. Значна кількість пральних порошків містить тринатрій фосфат Na_3PO_4 в якості лужного агенту з великою буферною ємністю. Деякі поліфосфати (пірофосфат натрію – $Na_4P_2O_7$, трифосфат натрію $Na_5P_3O_{10}$; гексаметофосфат натрію – $Na_6P_6O_{12}$ й інші) застосовуються в промисловості та побуті в якості пом'якшувачів і можуть бути присутніми в стічних водах. Поліфосфати зазнають ступінчастого гідролізу, переходячи в ортофосфати. На швидкість гідролізу сильно впливає pH, температура і сольовий склад води. Присутність бактерій прискорює процес гідролізу [9].

Фосфор – найважливіший біологічний елемент, необхідний для життя, тому органофосфати є невід'ємною частиною будь-якого організму. Органофосфати легко гідролізуються, особливо під впливом ферментів, в результаті цього процесу також утворюються ортофосфати. Таким чином, велика частина фосфоровмісних сполук у водах гідролізуються і кінцевим продуктом цих процесів є кислі фосфати.

Вміст фосфору й азоту має особливе значення при біологічному очищенні стічних вод. При їх недостатніх кількостях очищення стічних вод може загальмовуватись, а при повній відсутності стає взагалі неможливим [2]. Відповідно до ДБН В.2.5-75:2013, співвідношення $БСК_п$:N:P має бути 100:5:1.

5.2. Нормування біогенних елементів

У Швеції, Фінляндії, Німеччини норми вмісту загального фосфору в водах, що скидаються у водойми, складають 0,5-1мг/дм^3 (по P), в Польщі, Румунії, Угорщини ГДК на вміст фосфатів у водоймах дорівнює 0,05-1мг/дм^3 в залежності від категорії водойми. У СНД концентрація фосфоровмісних сполук у стічних водах при скиданні їх у водойми встановлюється з умови неприпустимості евтрофікації і залежить від природи сполук фосфору, ступеня розбавлення стічних вод у водоймі, фонової концентрації фосфору в ній, наявності інших джерел фосфатів і зазвичай приймається рівними 0,01-0,1 мг/дм^3. ГДК фосфатів для деяких типів вод такі, мг/дм^3:

- вода питна – 3,5;
- вода водопровідна – 0,4;
- водойми проточні – 0,1;
- озера, ставки – 0,05;

- водооборотні системи– 0,03.

Кількість фосфатів, що надходять у міські стічні води в результаті діяльності людини, постійно зростає, і очікується, що вона складе до 7 г·чол/добу. Зараз по ДБН В.2.5-75:2013 – фосфати – 3,3 г·чол/добу, в тому числі від миючих речовин – в 1,6 г·чол/добу, ПАР – 2,5 г·чол/добу. В даний час органи охорони навколишнього середовища вимагають забезпечення встановлених ГДК амонію сольового, нітритів, нітратів і фосфатів в очищених стічних водах, що скидаються у водні об'єкти (табл. 5.5).

Таблиця 5.5

ГДК біогенних елементів для скиду в водойми різного призначення

Біогенні елементи	ГДК, мг/дм^3	
	Для водоймищ культурно-побутового водокористування	Для водоймищ рибогосподарського водокористування
Азот, аміак	2	0.05
Азот, амонійний (NH_4^+)	1	039
Азот нітритів	0.8	0.02
Азот нітратів (NO_3)	10.2	9.1
Фосфати (Р)	1.2	0.2

Ще одним заходом з обмеження скидання біогенних елементів у водойми є Гельсінська конвенція «Хелком», згідно якої для споруд, що обслуговують більше 100 тисяч чоловік, максимальна концентрація азоту в очищених стічних водах має бути не більше 10 мг/дм^3, мінімальний рівень видалення азоту – 70-80%, максимальна концентрація фосфору 1,5 мг/дм^3 [10, 11].

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, добова норма нітратів становить 5 мг $NaNO_3$ на 1 кг маси тіла людини або 300-325мг [12].

При розрахунках добової норми нітратів враховують споживання продуктів харчування і питної води.

За стандартом, в одному літрі питної води може міститися до 45мг нітратів.

Не відповідає стандартам питна вода в Херсонській, Кримській, Донецькій, Луганській та інших областях України [12]. Встановлено, що перенасичення питної води мінеральними солями сприяє розвитку гіпертонічної хвороби, виразки шлунку, дванадцятипалої кишки, захворювання нирок і печінки.

Від 59 до 86% добового споживання нітратів в організм людини надходить при споживанні овочів.

Самі нітрати не токсичні. Потенційна токсичність їх зумовлена тим, що в надмірних кількостях в організмі людини вони перетворюються в нітрити, що змінюють стан здоров'я. Перетворення нітратів у нітрити відбувається під дією ферментів мікроорганізмів щитовидної залози, шлунку і кишок, звідки вони

надходять в кров і тканини. Нітрити діють на гемоглобін крові, який потім перетворюється в метгемоглобін. Особливо небезпечні для організму людини – нітрозоаміни, що сприяють утворенню злоякісних пухлин, захворюванню печінки. Нітрозоаміни – це з'єднання нітратів і нітритів з амінокислотами, що утворюються в шлунку людей, а також знаходяться в повітрі і продуктах харчування. Небезпека збільшується від того, що ракові пухлини утворюються від постійного надходження в організм людини навіть дуже незначних кількостей нітратів і нітритів. Зі 100 апробованих на тваринах нітрозоамінів 80 здійснюють канцерогенну дію.

Токсична доза нітратів для дорослих становить 600 мг, для дітей раннього віку – 100 мг, для грудних дітей – 10 мг.

Чутливі до нітратів люди похилого віку, хворі на анемію, серцево-судинну і дихальну систему.

Встановлено, що при достатньому вмісті вітамінів С (аскорбінова кислота) і Е (токоферол), пектинових речовин, поліфенолів в продуктах харчування, вони діють як інгібітори утворення метгемоглобіну, таким чином можна запобігти розвитку злоякісних пухлин. Овочі, зібрані вранці і ввечері, містять нітратів менше ніж зібрані в інший час доби. Так, вміст нітратів в буряках, зібраних близько 8-ї години ранку, в 2 рази менше, ніж у зібраних близько 16-ї години.

Таким чином, в процесі традиційної біологічної очистки, максимально можливо вилучити 2-3,8 г азоту і 0,4-0,75 г фосфору в перерахунку на забруднення, що надходить від одного мешканця. В очищеній стічній воді при повній біологічній очистці залишиться 4,2-6 г азоту і 2,55-2,9 г фосфору на одного мешканця. При розрахунку концентрації зазначених забруднень в очищених стічних водах при нормі водоспоживання 250-300 л/чол·добу, сумарна концентрація сполук азоту і фосфору становить 15-20 і до 10 мг/дм^3 відповідно.

Таким чином, фактична концентрація сполук азоту і фосфору виявляється в 2-10 разів вище ГДК.

Глибоке видалення азоту і фосфору з міських стічних вод стає невід'ємним завданням на вже існуючих спорудах каналізації, тому що вони, запроектовані і побудованим в той час, коли забруднення води біогенними елементами ще не було таким інтенсивним, в даний час не справляються із завданням очищення стічних вод від цих речовин. Тому зараз у багатьох країнах розробляються методи по видаленню біогенних елементів на вже використовуваних спорудах. Реконструкція таких споруд, зокрема аеротенків, вигідно і в економічному плані, тому що вартість доочистки 1м^3 стічних вод на додаткових спорудах очистки в 1,5-2 рази вище, ніж саме очищення, а питомі витрати на видалення маси забруднень зростають в 20-50 разів. Тому першим кроком до виконання програми з видалення біогенних елементів з стоків є реконструкція аеротенків з обладнанням необхідних споруд.

Дослідження по розробці методів реконструкції та модернізації аеротенків, створення нових споруд і біореакторів по зниженню біогенних елементів в

міських і виробничих стічних водах проводяться різними організаціями як в нашій країні, так і за кордоном. У сучасній літературі можна знайти безліч прикладів таких розробок, а ця книга намагається зібрати їх воєдино, проаналізувати і дати узагальнюючі висновки і пропозиції для їх практичного застосування.

5.3 Коротка характеристика методів очистки стічних вод від фосфоровмісних речовин

Фосфати з стічних вод видаляються хімічними, фізико-хімічними та біологічними (за рахунок модифікації біологічного процесу включенням фосфору в клітинну речовину) методами.

При адсорбційному методі фосфор поглинається поверхнею сорбенту, який може бути виготовленим з гранульованого оксиду алюмінію активованим оксидом алюмінію і сульфатом алюмінію.

При обробці стічних вод магнітним полем фосфати зв'язують реагентом в нерозчинні сполуки, після чого вводять магнітний матеріал і впливають магнітним полем, в результаті чого виділяється фосфатовмісний осад.

При здійсненні електро-коагуляційно-флотаційного методу використовуються алюмінієві і металеві електроди.

Метод кристалізації заснований на вирощуванні кристалів фосфатів у стічних водах на центрах кристалізації з подальшим видаленням їх з системи. Кристалізація здійснюється на фільтрах або у завислому шарі.

При використанні хімічних методів обробки стічних вод іони реагенту взаємодіють з розчинними солями ортофосфорної кислоти, внаслідок чого відбувається утворення дрібнодисперсного колоїдного осаду фосфату. У той же час хімічний реагент реагує з лугами, що містяться у воді, утворюючи осад з великих пластівців. Цей осад викликає коагуляцію дрібнодисперсного колоїдного осаду фосфату і завислих речовин, а також адсорбує деяку частину органічних сполук, що містять фосфор, далі цей осад виводиться з системи.

Видалення фосфору хімічними та фізико-хімічними способами в даний час є обмеженим. Ці методи мають ряд недоліків: висока вартість реагентів, необхідних для реалізації цих методів; вторинні забруднення, що утворюються після застосування коагулянту.

На сучасному етапі найбільше поширення отримав біологічний метод видалення фосфору. Але в більшості випадків не вдається домогтися стабільного видалення фосфатів зі стічної рідини до нормативних вимог ГДК водойм рибогосподарського значення, так як не забезпечується правильне проведення процесу.

Основним методом біологічного вилучення фосфору є метод з анаеробної обробкою зворотного рециркулюючого активного мулу. Застосування такої

технології дозволяє витягувати фосфати з ефективністю приблизно 90%. У даній системі видалення фосфору відбувається з надлишковим мулом і мулової водою, що утворюються в споруді для анаеробної обробки мулу.

При використанні почергової аеробного і анаеробної обробки суміші стічної рідини і активного мулу ефект вилучення сполук фосфору досягає 70%.

Сьогодні на практиці застосовуються різні схеми, що поєднують біологічний процес і хімічне осадження. Таке поєднання процесів дозволяє досягти більш високої якості води, що очищується, ніж при застосуванні одного з них.

У світовій практиці, для глибокого видалення сполук фосфору застосовується хімічна обробка стічних вод в поєднанні з біологічним очищенням. Однак вдосконалення таких технологічних схем триває і в даний час. Основними напрямками виконуваних робіт є: пошук способів підвищення ефективності застосування реагентів; випробування нових і більш дешевих реагентів, в тому числі відходів промисловості; визначення впливу введення реагенту на біологічні процеси очищення стічних вод [17, 18].

Дослідження на лабораторних установках схем біохімічної очистки міських стічних вод з введенням реагенту [19] показали, що ефективність вилучення фосфатів обумовлена дозою реагенту, що вводиться, і його видом (рис. 5.1-5.3, табл. 5.6-5.8).

Якість очищення стічних вод за загальним фосфором, крім дози реагенту і його виду, залежить від вмісту завислих речовин в очищених стічних водах. Так, при введенні 25 мг/дм^3 Fe_2O_3 після вторинних відстійників досягається видалення загального фосфору 75-80% при залишковому вмісті завислих речовин 10-15 мг/дм^3.

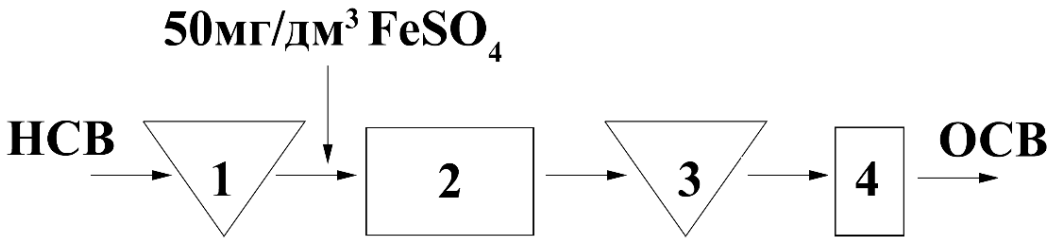


Рисунок 5.1 – Реагентне видалення сполук фосфору. Варіант 1:
1 – первинний відстійник; 2 – аеротенк; 3 – вторинний відстійник; 4 – піщаний фільтр; НСВ – неочищені стічні води; ОСВ – очищені стічні води

Таблиця 5.6

Показники якості стічних вод після очистки за варіантом 1

Параметри, мг/дм^3	Після вторинного відстійника	Після піщаного фільтру
БСК	10-15	3,3
Завислі речовини	10	2,0
Загальний фосфор	0,8	0,6

Ортофосфати-Р	0,1	0,1

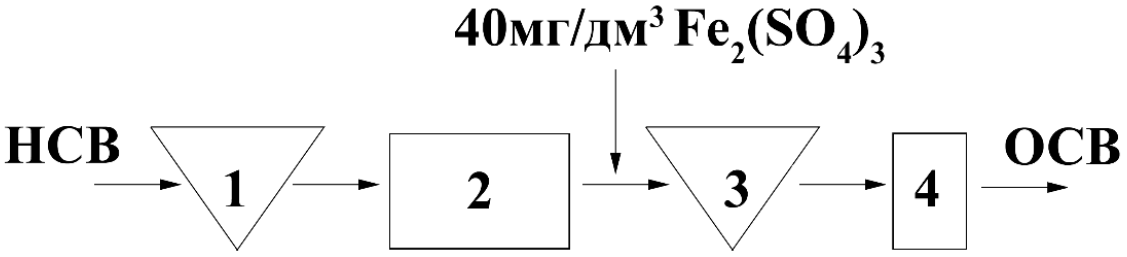


Рисунок 5.2 – Реагентне видалення сполук фосфору. Варіант 2:
1 – первинний відстійник; 2 – аеротенк; 3 – вторинний відстійник; 4 – піщаний фільтр; НСВ – неочищені стічні води; ОСВ – очищені стічні води

Таблиця 5.7

Показники якості стічних вод після очистки за варіантом 2

Параметри, мг/дм^3	Після вторинного відстійника	Після піщаного фільтру
БСК	10	2,5
Завислі речовини	10-20	2,0
Загальний фосфор	1,0	0,7
Ортофосфати-Р	0,3	0,3

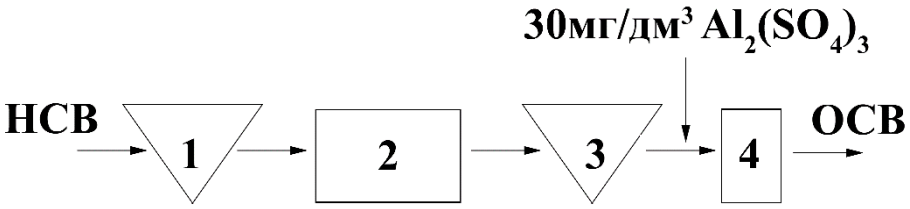


Рисунок 5.3 – Реагентне видалення сполук фосфору. Варіант 3:
1 – первинний відстійник; 2 – аеротенк; 3 – вторинний відстійник; 4 – піщаний фільтр; НСВ – неочищені стічні води; ОСВ – очищені стічні води

Таблиця 5.8

Показники якості стічних вод після очистки за варіантом 3

Параметри, мг/дм^3	Після вторинного відстійника	Після піщаного фільтру
БСК	10	1,0-1,5
Завислі речовини	10-15	10
Загальний фосфор	2,5-3,0	0,5
Ортофосфати-Р	2	0,2-0,3

Більш високі концентрації завислих речовин в очищеній воді (30-36 мг/дм^3) обумовлюють зниження ефективності видалення сполук фосфору до 55-

60% при тій же дозі реагенту. Фільтрування стічної води через піщані фільтри після вторинних відстійників призводить до підвищення ефективності видалення загального фосфору в цілому до 90% [19].

Такий вплив завислих речовин на ефективність видалення фосфатів з очищених стічних вод пов'язане зі значним вмістом фосфору у зважених речовинах (активному мулі).

Як видно з наведених вище варіантів введення реагенту, біохімічне очищення стічних вод спільно з реагентної обробкою є дуже ефективним, але має ряд недоліків при практичному застосуванні. Якщо впроваджувати такі технологічні схеми на очисних спорудах великої продуктивності, то для обробки такої кількості стічних вод будуть потрібні великі витрати реагентів, відповідно витрати на реагент, на будівництво реагентного господарства, додаткові енерговитрати.

Для видалення біогенних елементів спільно з реагентами також можливо використовувати флокулянти, що дозволяють в деякій мірі знизити витрату реагенту і поліпшити процес коагуляції забруднень. Експериментальні дослідження, що були проведені для вивчення процесу видалення зі стічних вод біогенних елементів, показали деякі позитивні результати. При концентрації флокулянта DASF 2-3 мг/л можна досягти ефекту очищення до 17% від солей амонію і до 48% – від фосфору по фосфатам. При використанні реагенту спільно з флокулянтом ефект очищення може досягати 80-90%.

Одним із способів інтенсифікації процесу очищення стічних вод за допомогою реагентів є магнітна активація розчину реагенту. При використанні активованого розчину реагенту при очищенні стічних вод зменшується витрата реагенту, відповідно зменшується площа реагентного господарства, зменшуються витрати, при цьому якість очищених вод залишається такою ж, як при використанні звичайного коагулянту.

Дослідження, виконані на стічній воді комплексу біологічного очищення «Диканівський» м. Харків, показали можливість інтенсифікації процесу видалення біогенних елементів при використанні активованого розчину коагулянту в 1,5-2 рази в порівнянні з використанням розчину звичайного коагулянту. При цьому можливе зниження витрати коагулянту не менше ніж на 25-30% без погіршення якості очищення стічних вод по біогенних елементах, що дозволяє скидати стічні води у водойми, а також використовувати такі стічні води в оборотних системах водопостачання для технічних потреб [17].

5.4 Реконструкція аеротенків з метою інтенсифікації видалення біогенних елементів зі стічних вод

Як вже зазначалося раніше, очищення стічних вод від біогенних елементів є дуже важливим і актуальним завданням, так як біогенні речовини – причина

багатьох небажаних явищ. І першим кроком до вирішення цієї проблеми є реконструкція вже діючих біологічних очисних споруд, зокрема аеротенків [21-32]. В останні роки намітився стійкий інтерес до реалізації проектів реконструкції існуючих споруд глибокого очищення стічних вод по біогенним речовин. Слід зазначити, що ще з 80-х років минулого століття вітчизняні організації почали займатися проблемами видалення біогенних елементів із стічних вод і зараз накопичено певний досвід.

Основою собівартості очищення стічних вод є витрати на енергоресурси, утилізацію мулу, підготовку та утримання кваліфікованого персоналу. Тому вимогами, висунутими до сучасних технологій, є:

1. Зниження капітальних вкладень за рахунок:

- інтенсифікації процесу;
- використання технологій без первинного відстійника;
- використання технологій з відсутністю приросту активного мулу.

2. Зниження експлуатаційних витрат за рахунок:

- мінімального використання енергоресурсів;
- мінімальних витрат на утилізацію осадів і мулу;
- простих процесів, що не потребують висококваліфікованого і численного обслуговуючого персоналу.

3. Підвищення ефективності очищення:

- по азоту;
- по фосфору.

4. Підвищення стійкості очищення за рахунок:

- підтримання низького мулового індексу;
- зниження впливу змін складу стоку і його параметрів.

Реконструкція аеротенків можлива наступними способами: встановлення перегородок з рециклом мулу, заміна традиційних аераторів – фільтрувальних пластин – на сучасні аераційні системи з мембранними аераторами, встановлення в аеротенках аеробних, анаеробних і аноксидних умов з рециркуляцією мулу.

У 1995 році була розроблена технологія видалення біогенних елементів, що є модифікацією процесу (рис. 5.4) [2, 21].

За закладеною в проект технологією в анаеробній секції аеротенку відбувається споживання летючих жирних кислот і легкоокислюваної органіки мікроорганізмами поліфосфатної групи, що в подальшому в аеробній зоні забезпечує процес біологічного видалення фосфору. Для забезпечення відсутності як вільного, так і зв'язаного кисню, мулова суміш подається в дану секцію з кінця денітрифікатора. Процес нітрифікації ґрунтується на карусельному принципі перемішування, що дозволяє не тільки заощадити до 40% електроенергії, а й організувати рецикл денітрифікації до 500% без додаткових енерговитрат. У запропонованій технологічній схемі для більш повного зниження концентрацій амонійного азоту (до 0,5 мг/л) в останньому коридорі, що працює в режимі витиснювача, проводиться додаткова нітрифікація.

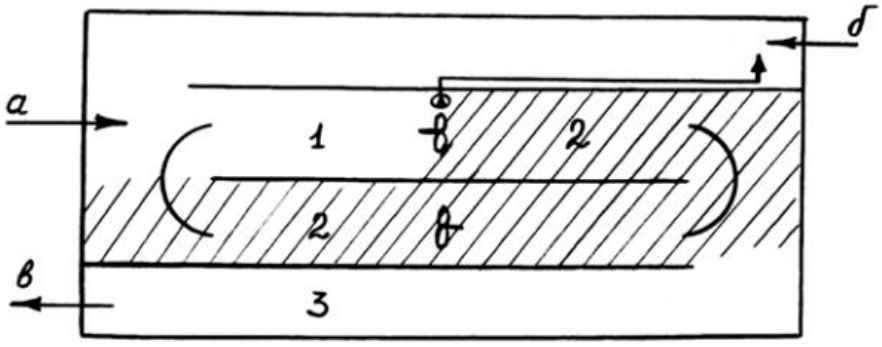


Рисунок 5.4 – Схема реконструкції аеротенках по модифікації процесу BARDENPHO: 1 – зона без аерації; 2 – зона змінної (регульованої) аерації; 3 – зона постійної аерації; а – зворотний мул; б – освітлена стічна вода; в – мулова суміш на вторинні відстійники

В результаті співпраці «Мосводоканал» і фірми «COWI» було розроблено технічний проект з реконструкції аеротенків (рис. 5.5), основною конструктивною відмінністю якого є встановлення перегородок в першому коридорі, що забезпечує достатню швидкість потоку (близько 0,3 м/с) в аноксидній зоні (в якій містяться органічні речовини, нітрити та нітрати і відсутній молекулярний кисень (розчинений кисень), а також полегшує перемішування в анаеробної зоні за принципом «каруселі». Два середні коридори аеротенку обладнуються під проведення процесів нитри-денітрифікації по карусельному типу. Очікувані концентрації на виході: $N_{заг}$<6 мг/л, $N\text{-}NH_4$<1 мг/л, $P_{заг}$<1 мг/л.

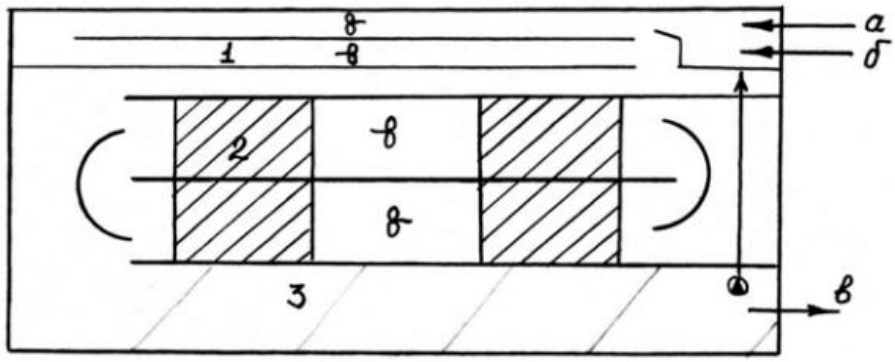


Рисунок 5.5 – Реконструкція аеротенку зі встановленням перегородок за проектом фірми «COWI» (Данія): 1 – зона без аерації; 2 – зона змінної аерації; 3 – зона постійної аерації; а – освітлена стічна вода; б – поворотний мул; в – мулова суміш на вторинні відстійники

Розроблено ще схеми реконструкції аеротенків для видалення азоту і фосфору фірмою «CPWI» і «SHW». Перша – з попередньо включеною денітрифікацією (рис. 5.6), Друга – концепція, що передбачає використання симультанної (одночасної) нітри-денітрифікації при концентрації розчиненого кисню 0,3-0,6мг/л (рис. 5.7)

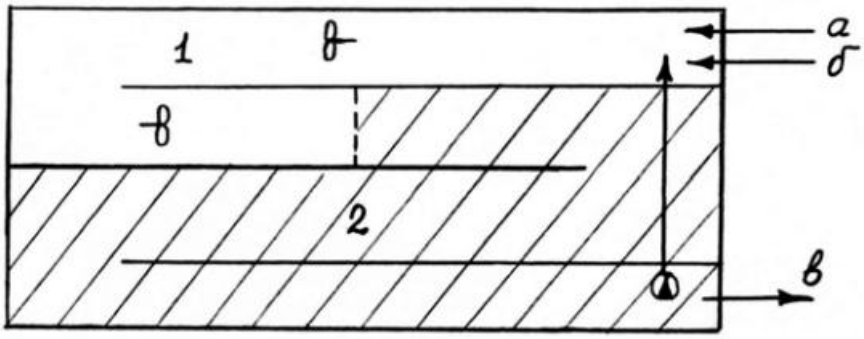


Рисунок 5.6 – Реконструкція аеротенку за технологією з попередньо включеною денітрифікацією: 1 – зона без аерації; 2 – зона постійної аерації; а - освітлена стічна вода; б – зворотний мул; в – мулова суміш на вторинні відстійники

Регулювання подачі кисню повинно виконуватися з урахуванням показань системи «Біо-Баланс», заснованої на принципі прямого виміру ферментативної активності мулу. Очікувані концентрації забруднень на виході: ХСК <40мг/л, $БСК_5$ <3 мг/л, $N\text{-}NH_4$ <8 мг/л, $P_{заг}$ <0,5 мг/л. Для гарантованого зниження фосфору передбачається реагентне осадження.

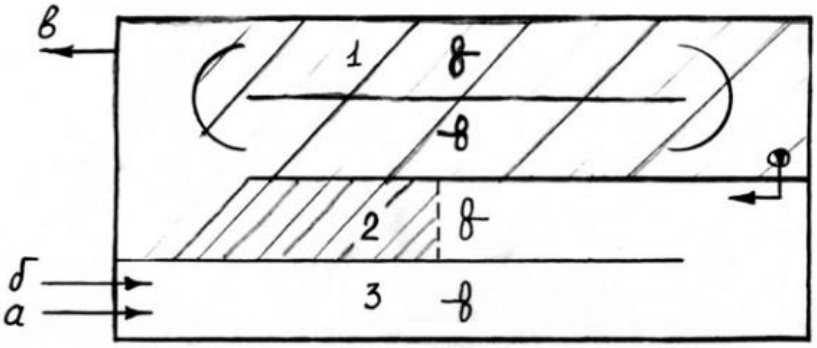


Рисунок 5.7 – Реконструкція аеротенку за технологією «Sim-Bio» (фірма «SHW», Німеччина): 1 – зона постійної (регульованої) аерації (концентрація O2 підтримується в межах 0,3-0,8 мг/л); 2 – зона змінної аерації ; 3 – зона без аерації; а – освітлена стічна вода; б – зворотний мул; в – мулова суміш на вторинні відстійники

Ці технологічні схеми, що використовуються для реконструкції, передбачають збереження існуючої продуктивності споруд. За рахунок сучасних аераційних систем з мембранними аераторами та інших чинників планується отримати економію електроенергії. В даний час створена модель, де використовується технологія, що відрізняється від вищеописаних відсутністю первинних відстійників і виділенням анаеробної зони в окремий зблокований біореактор. Для анаеробної зони (реактора) можна використовувати вже побудовані первинні відстійники.

Необхідність зниження експлуатаційних витрат на очищення стічних вод обумовлює важливість якнайшвидшого вирішення актуального завдання – впровадження енергозберігаючих аераційних систем. Традиційно на станціях аерації в якості аераторів застосовувалися керамічні фільтрувальні пластини. Однак невисокий коефіцієнт використання кисню повітря, а також практичне припинення випуску фільтрувальних пластин спонукають до пошуку нових технічних рішень. Піонером цього напрямку стала Кур'янівська станція аерації (Росія), на якій починаючи з 1995р. впроваджуються аераційні системи різних типів. Станом на липень 1998 р., на чотирьох аеротенках використані дискові аератори з пористими диспергаторами фірми «Грін Фрог» (Москва), на одному з аеротенків обладнано трубчасті аератори з жорстким синтетичним високопористим диспергуючим елементом фірми «Екополімер» (Білгород) та мембранними гумовими аераторами фірми «Патфіл» (Казань).

Обстеження роботи старих і переоснащених аераційних систем показало, що в умовах низької забрудненості стічних вод по БСК нижня межа зниження інтенсивності аерації визначається не стільки кисневим режимом аеротенку, скільки питомим поверхневим навантаженням по повітрю. Зроблено висновок, що повністю переваги енергоефективних аераційних систем можуть бути використані при реалізації функцій аерації і перемішування різними системами. Інший резерв економії електроенергії пов'язаний з низькою концентрацією БСК, що дозволяє аеротенкам працювати з високим ступенем нітрифікації. Використання денітрифікації дозволяє повернути значну частину кисню, витраченого на окислення амонійного азоту, і таким чином додатково скоротити необхідну кількість кисню, що подається.

Техніко-економічні розрахунки показали, що при сучасній вартості електроенергії вирішальне значення має величина відсотка використання кисню повітря. При цьому капіталовкладення в дорогі, але високоефективні аераційні системи окупаються значно швидше, ніж дешеві аератори середньої ефективності.

Економічну перевагу отримують аератори з використанням еластичної мембрани з комбінованими отворами. Іншою перевагою мембран аераторів в порівнянні з пористими волокнистими диспергаторами є їх здатність працювати в технологіях нітри-денітрифікації, заснованих на періодичній аерації, без ризику забивання диспергаторів. Для впровадження нової аераційної системи можна застосувати обладнання фірми «Flygt», тобто аераційну систему з використанням дрібнопухирцевих мембранних дифузорів Flygt-Sanitare, а також систему перемішування і рециркуляції для зон денітрифікації на основі занурених мішалок Flygt типу SR4660 і рециркуляційних насосів PP4660. Схема реконструкції аеротенків приведена на рис. 5.8. Необхідна витрата повітря після реконструкції скорочується в 2,3 рази завдяки застосуванню високоефективних аераторів мембранного типу, а також проведення процесу денітрифікації, що дозволяє використовувати кисень нітратів для окислювання органічних речовин.

Використання сучасних аераційних систем, що характеризуються високою однорідністю гідравлічних параметрів диспергаторів, дозволяє здійснювати регулювання концентрації розчиненого кисню в аеротенках за допомогою загальної засувки на повітроводі. Забезпечення необхідних потреб в кисні по довжині аеротенку досягається розташуванням аераторів з різною щільністю. Все це забезпечує швидку наладку таких систем і дозволяє істотно спростити експлуатацію аеротенків.

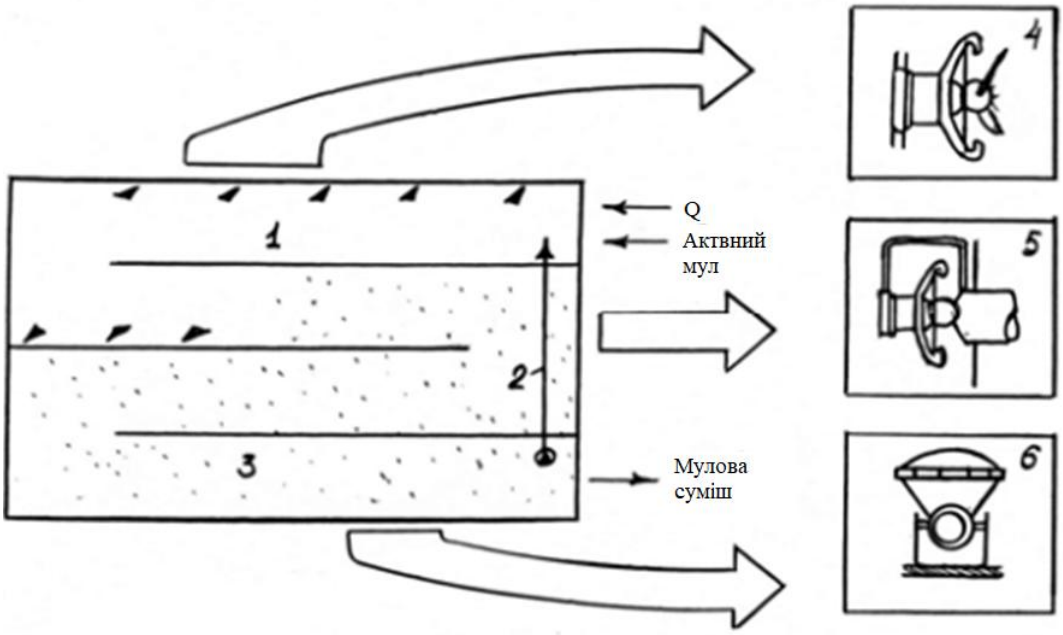


Рисунок 5.8 – Схема реконструкції аеротенку з використанням нової системи аераторів: 1 – зона денітрифікації; 2 – рециркуляційний трубопровід; 3 – зона аерації; 4 – мішалки; 5 – рециркуляційні насоси; 6 – мембранні аератори

Фірми-виробники аераційних систем вдосконалюють свою продукцію. Це відноситься не тільки до пошуку оптимальної конструкції самого аератора, але і до технічних рішень стосовно кріплення до днища аеротенка, об’єднання з повітророзподільної системою, що спрямовані на забезпечення гнучкості зміни конфігурації аераційної системи. Дані за якістю очищення і витрати повітря при реконструкції аеротенків (рис. 5.6) можна привести на прикладі аеротенків Люберецької станції аерації (табл. 5.6).

Ще одним прикладом реконструкції аеротенків служить Ново-Люберецька станція аерації [26]. Проектом реконструкції передбачено одномулова двоступенева схема нітри-денітрифікації в чотирикоридорних аеротенках. Для забезпечення необхідних умов в зонах денітрифікації, ширину денітрифікаційних коридорів зменшили в 2 рази в порівнянні з шириною коридорів нітрифікації, а для перемішування використовували повітря, що подається через звичайні дірчасті труби. Стічні води і зворотний мул подаються в аеротенки з відкритих прямокутних лотків. Подача зворотного мулу в повному обсязі (100% витрати стічної води) здійснюється в перший коридор; подача стічної води ступінчаста – в перший і третій коридори з можливою варіацією (регулюванням) витрат (рис. 5.9).

Таблиця 5.9

Технологічні показники роботи аеротенків Люберецької станції аерації

Показник	Аеротенк		ГДК
	До реконструкції	Після реконструкції.	
Вихідна освітлена вода			
Витрата води, $м^3$/добу	220000	220000	
$БСК_5$, мг/$дм^3$	60-100	60-100	
$N\text{-}NH_4$, мг/$дм^3$	15-23	15-23	
Очищена вода			
$БСК_5$, мг/$дм^3$	4,8	3,1	$БСК_п$=3
$N\text{-}NH_4$, мг/$дм^3$	9,1	0-0,1	0,4
$N\text{-}NO_2$, мг/$дм^3$	0,44	0,004-0,006	0,02
$N\text{-}NO_3$, мг/$дм^3$	7,71	8-8,5	9,1
Технологічні показники			
Доза мулу, г/$дм^3$	1,5	2-2,3	
Витрата повітря, тис. $м^3$/ч	18-20	8-9	
Питома витрата повітря, $м^3/м^3$	3,9-4,4	1,4-1,5	
Ефективність використання кисню повітря, %	7	18	

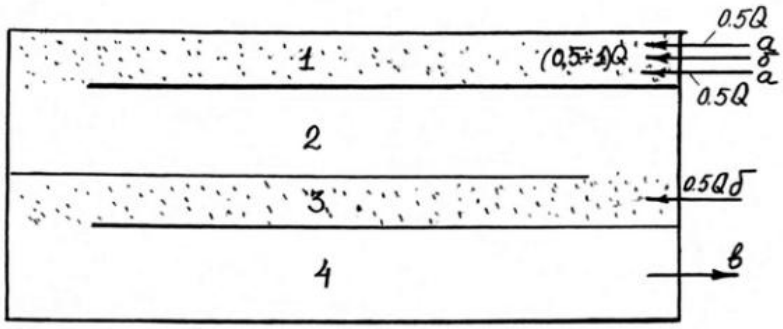


Рисунок 5.9 – Технологічна схема реконструкції аеротенку: 1,3 – зона денітрифікації; 2,4 – зона нітрифікації; а – поворотний мул; б – освітлена вода; в – мулова суміш.

Система аерації в нітрифікаторах пневматична через фільтрувальні пластин, укладені в залізобетонні канали вздовж стін, а денітрифікаційні коридори аеруються поздовжніми дірчастими трубами тільки для підтримки

мулової суміші в завислому стані. Усереднені технологічні характеристики роботи представлені в табл. 5.10.

Таблиця 5.10

Усереднені технологічні характеристики роботи

Технологічний показник	до очистки	після очистки
Кількість стічних вод, тис. $м^3$/добу	484	-
Період перебування у споруді, год	14,2	-
- у нітрифікаторах	11,8	-
- у денітрифікаторах	2,4	-
Питома витрата повітря, $м^3/м^3$	4,2	-
Рецикл активного мулу, %	80,2	-
Доза зворотного мулу, $г/дм^3$	7,2	-
Завислі речовини, $мг/дм^3$	105	6,8
$БСК_5$, $мг/дм^3$	87	2,6
$N\text{-}NH_4$, $мг/дм^3$	17,5	0,24
$N\text{-}NO_3$, $мг/дм^3$	-	9,51
$N_{заг}$, $мг/дм^3$	27,5	8,4
Фосфати (по Р), $мг/дм^3$	2,2	1,5
$Р_{заг}$, $мг/дм^3$	5,2	2,8
Час відстоювання, час.	3,1	-

Результати тривалої експлуатації НЛбСА в режимі глибокої біологічної очистки відкривають широкі можливості модернізації звичайних чотирикоридорних аеротенків із забезпеченням процесів нітри-денітрифікації та дефосфотаціі без механічних або гідравлічних перемешувачів анаеробних зон і без додаткового влаштування внутрішніх рециклів. Орієнтовно, основні технологічні параметри роботи споруд в такому режимі повинні бути наступними: концентрація (доза) зворотного активного мулу 5,5-7,5 г/л; доза активного мулу в кінці четвертого коридору аеротенку 2,5-3,5 г/л; вік активного мулу 20-25 діб; концентрація кисню в зонах денітрифікації не повинна перевищувати 1 мг/л в будь-якій точці, а в кінцях зон нітрифікації не повинна перевищувати 4 мг/л.

Фірмою «Комплект екологія» для біологічного видалення азотовмісних сполук і фосфору пропонується технологія [36] наведена на рис. 5.10. Сутність цієї технології полягає в тому, що стічні води послідовно очищаються в анаеробних, аноксидних і аеробних умовах. Відповідні процеси очищення – гідроліз розчиненої органіки, денітрифікація і нітрифікація. Активний мул з

вторинного відстійника повертається в анаеробну зону. Між нітрифікатором і денітрифікатором є рецикл.

Фірмою «Комплект екологія» також розроблена нова технологія, що відповідає вимогам, зазначеним на початку розділу, і яка може бути застосована до існуючих аеротенків.

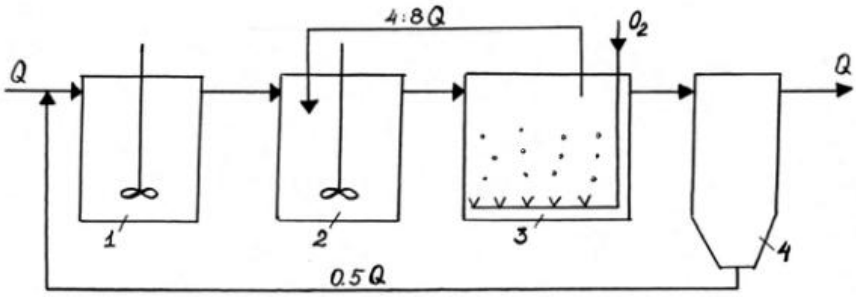


Рисунок 5.10 – Схема біологічного видалення азотовмісних сполук і фосфору: 1 – анаеробна зона; 2 – аноксидна зона; 3 – аеробна зона; 4 – вторинний відстійник.

Стічні води без попереднього відстоювання послідовно очищаються:

1) в анаеробних умовах (гідроліз);
2) в умовах сорбції забруднень (сорбція);
3) в аеробно-анаеробних умовах (нітри-денітрифікація);
4) в аеробних умовах (постаерація).

Регенерація мулу проходить в оркремому відділенні аеротенку (відновлення окисної здатності мулу і асиміляція завислого мулу). Розглянемо чотири схеми реконструкції аеротенків, що розроблені фірмою «Комплект екологія». Схема №1 з використанням іммобілізованого і завислого мулу представлена на рис. 5.11. Гідроліз основної частини розчиненої органіки протікає за участю екзоферментів облігатних і факультативних анаеробів, іммобілізованих на носії. Продуктами гідролізу є мономери нижчих кислот і спиртів. Встановленого часу гідравлічної затримки достатньо для максимально повної ферментації органіки, але недостатньо для розвитку ацетогенних бактерій. Оскільки час гідравлічної затримки невеликий, а об’ємне навантаження на біоценоз за органічними речовинами дуже високе, то умови процесу наближені до умов чистої ферментації. Тому тільки незначна частина органіки асимілюється гідролітичними бактеріями з метою забезпечення життєдіяльності та синтезу клітини. Для запобігання «проскакування» гідролізер робиться багатокамерним. Перемішування – механічне.

З вторинного відстійника в біосорбер подається активний мул. Час гідравлічної затримки встановлюється достатнім для високого об’ємного навантаження і максимальної сорбції продуктів гідролізу. Такий прийом запобігає виникненню умов для розвитку нитчастих форм бактерій. Це, в свою чергу, дозволяє істотно збільшити дозу мулу і відповідно знизити навантаження на мул. Для забезпечення максимальної швидкості і повноти вилучення використовується мікротурбулізація потоку за рахунок механічного перемішування з використанням спеціальної конструкції носія. У свою чергу,

завдяки біоценозу, іммобілізованому на носії, біосорбер одночасно виконує роль другого ступеня гідролізера, що забезпечує більш повну ферментацію розчиненої органіки. Наявність розчиненого кисню, привнесеного в гідролізер-біосорбер рециклом активного мулу з вторинного відстійника, не знижує ферментативну активність факультативних анаеробів, завдяки специфіці умов, що виникають в товщі біоплівки. Для запобігання «проскакування» гідролізер робиться багатокамерним. Перемішування – механічне.

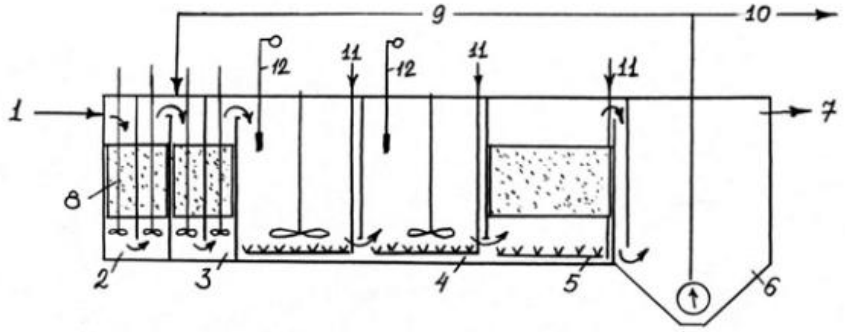


Рисунок 5.11 – Схема з використанням іммобілізованого і завислого мулу: 1 – подача вихідної води; 2 – анаеробна зона; 3 – сорбційна зона; 4 – зона нітри-денітрифікації; 5 – аеробна зона; 6 – відстійник; 7 – очищена вода; 8 – завислий мул; 9 – зворотний мул; 10 – надлишковий активний мул; 11 – подача повітря; 12 – керування аерацією.

Для глибокої біологічної очистки стічних вод необхідним є ряд послідовних реакцій. Один з факторів, від якого залежать ці реакції в живильному середовищі, є окисно-відновний потенціал, що виражає кількісну характеристику ступеня аеробності. Він стає мінімальним при насиченні середовища воднем і максимальним при насиченні середовища киснем. М. Кларк запропонував величину окисно-відновного потенціалу позначати: rH_2 – негативний логарифм парціального тиску газоподібного водню. Діапазон rH_2 від 0 до 42,0 характеризує всі ступені насичення водного розчину воднем і киснем.

Мікроорганізми, які здійснюють глибоке очищення стічних вод, за типом дихання поділяються на облігатні аероби, мікроаерофіли, факультативні анаероби, облігатні анаероби. Аероби ростуть в межах rH_2 14-30, факультативні анаероби – 0-20, анаероби – 0-12.

Сучасні уявлення про технології глибокої нітрифікації, денітрифікації та асиміляції фосфору показують можливість одночасного протікання зазначених процесів. Умовою такого процесу очищення є оптимальний окисно-відновний потенціал. Величина оптимального потенціалу rH_2 є характерною для кожного стоку і умов очищення. Підтримку оптимального значення rH_2 здійснює аерація. Кількість розчиненого кисню зазвичай знаходиться в межах 0,1-0,5 мг/л. Інтенсивність аерації при таких значеннях є недостатньою для ефективного перемішування, тому використовується механічне. Такі умови сприятливі для розвитку в основному факультативних аеробів і анаеробів.

Нітрифікація здійснюється в основному гетеротрофними мікроорганізмами та хемоавтотрофними. Денітрифікація здійснюється мікроорганізмами, які асимілюють фосфор. Таким чином, за рахунок регуляції подачі повітря зі зворотним зв'язком, створюються умови для одночасної нітри-денітрифікації, біологічної асиміляції фосфору і підтримки бактерій активного мулу в стаціонарній фазі росту. Обмежуючи доступ до кисню, бактерії біоценозу мікроорганізмів підтримуються в стаціонарній фазі росту, коли процес розмноження врівноважується процесом загибелі клітин. Інтенсивність обмінних процесів в стаціонарній фазі росту (поглинання кисню, синтез білка та ін.) знижується. Однак ферментативна активність і синтез ферментів не знижується завдяки участі в транспорті електронів, поряд з киснем, альтернативних акцепторів (NO_3^-, NO_2^-, Fe_3^+, SO_4^{2-} та ін.). Мікроорганізми в стаціонарній фазі росту характеризуються значно більшою стійкістю до зміни таких параметрів стоку, як pH, температура, зміна концентрації і його збалансованість. Це відбувається тому, що значна частина мулу мінералізована. Екзо- і ендоферменти мінералізованих клітин ще тривалий час зберігають високу активність. Тому процес очищення в більшій мірі носить ферментативний характер, ніж сорбційно-окисний.

Багаторазове зниження кількості споживаної електроенергії відбувається, виходячи з таких факторів:

1. Споживання кисню на синтез клітин мінімальне, тому що бактерії завислого біоценозу мулу підтримуються в основному в стаціонарній фазі росту, відбувається лише невелике лінійне зростання.

2. Споживання кисню на нітрифікацію відсутня у зв’язку з тим, що процес нітри-денітрифікації відбувається одночасно.

3. Споживання кисню на ендогенне дихання мікроорганізмів в стаціонарній фазі росту знижується за рахунок переходу на альтернативні шляхи дихання з використанням різних акцепторів електронів (NO_3^-, NO_2^-, Fe_3^+, SO_4^{2-} та ін.).

4. Підтримка мулу в завислому стані відбувається в основному за рахунок механічного перемішування, що за капітальними витратами і собівартістю багаторазово дешевше аераційного перемішування.

Зона нітри-денітрифікації обладнується донними ежекторними аераторами-мішалками. Подача повітря здійснюється автоматично – електромагнітними клапанами, керованими блоком автоматики залежно від заданих значень редокспотенціалу rH_2.

Інтенсивна аерація забезпечує дегазацію флокул мулу, а також запобігає виникненню дефіциту кисню у відстійниках, таким чином, запобігається біофлотація і відновні процеси. Аерація повинна забезпечити кількість розчиненого кисню, достатню для розвитку і підтримки найпростіших в іммобілізованому мулі. Як відомо, іммобілізовані біоценози містять у багато разів більше найпростіших, а також більш різноманітний видовий склад порівняно із завислим мулом. Біоплівка захоплює флокули мулу, таким чином забезпечуючи прикріплених найпростіших їжею. Біоплівка також є інкубатором

вільно плаваючих найпростіших, які суттєво покращують седиментацію мулу, освітлення води, видалення патогенних бактерій.

Зона постаераціі обладнується мембранними аераторами і спеціальним пластмасовим носієм.

Розглянемо схему №2 з використанням прикріпленого і завислого мулу (рис. 5.12). Особливістю цієї схеми є те, що нітрифікатор-денітрифікатор може бути додатково обладнаний носієм для іммобілізації мулу. У порівнянні з базовою схемою, це допоможе збільшити:

1) продуктивність;

2) ефективність;

3) знизити приріст мулу;

4) стійкість до змін pH, температури, концентрацій і незбалансованості стоку;

5) стійкість до токсичного впливу, ефективність роботи в умовах низьких температур стоку.

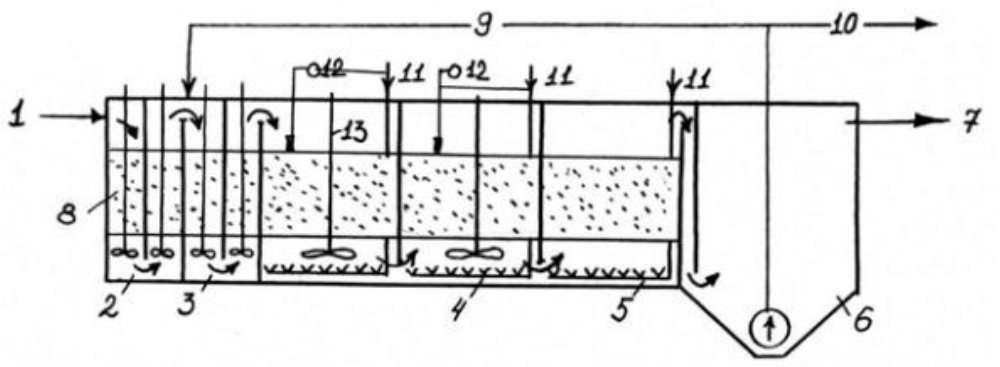


Рисунок 5.12 – Схема з використанням прикріпленого і завислого мулу: 1 – подача вихідної води; 2 – анаеробна зона; 3 – сорбційна зона; 4 - зона нітри-денітрифікації з носієм для іммобілізації мулу; 5 – аеробна зона; 6 – відстійник; 7 – очищена вода; 8 – завантаження мулу; 9 – зворотній мул; 10 – надлишковий активний мул; 11 – подача повітря; 12 – керування аерацією; 13 – механічне перемішування.

Зонування нітри-денітрифікації сприяє розвитку ступеневої трофічної системи, в якій, з переходом від нижчих до вищих рівнів харчування, біомаса організмів активного мулу, як зазвичай в харчових пірамідах, зберігається.

Встановлено, що прикріплені біоценози підтримують якість і кількість бактеріальної маси активного мулу в межах, що забезпечують максимально ефективну очистку стоку. Отже, характерною ознакою передбачуваного методу є саморегуляція з гранично мінімальним приростом мулу.

Іммобілізація біоцінозу на носії дозволяє підтримувати дуже високий вік мулу, який є головним лімітуючим фактором, що забезпечує високий ефект нітрифікації. Високий вік мулу і багатоступінчастість дозволяє проводити очищення стоків, що містять важко окислювальні сполуки. Завдяки

використанню в нітри-денітрифікаторі носія для іммобілізації мулу, а також поділу процесу на ступені:

- збільшується швидкість і ефективність очищення стоку по всіх параметрах у зв'язку зі збільшенням дози і віку мулу;
- виникає можливість ефективного очищення низькоконцентрованих, токсичних, важкоокислювальних стоків;
- збільшується стійкість до зміни параметрів стоку;
- відбувається багаторазове зниження приросту мулу за рахунок трофічної саморегуляції;
- виникає можливість очищення стоків з низькою температурою.

Розглянемо наступну схему №2а (рис. 5.13), що може бути використана без завислого мулу. Очищення стічної води здійснюється тільки за участю іммобілізованого мулу. Застосування цієї схеми можливо для стоків:

- низької концентрації;
- токсичних і важкоокислювальних;
- з високим гідравлічним навантаженням і низькою концентрацією.

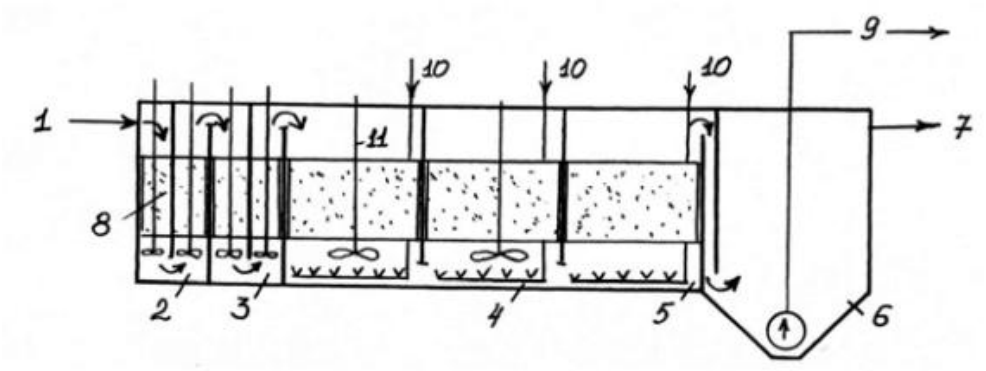


Рисунок 5.13 – Схема з використанням прикріпленого мулу: 1 – подача вихідної води; 2 – анаеробна зона; 3 – сорбційна зона; 4 – зона нітри-денітрифікації; 5 – аеробна зона; 6 – відстійник; 7 – очищена вода; 8 – завантаження мулу; 9 – зайвий мул; 10 – подача повітря; 11 – механічне перемішування.

Приєднаний біоценоз характерний тим, що в біологічній плівці останніх камер формується багатий і різноманітний видовий склад найпростіших. Найпростіші, а також багатоклітинні організми (нематоди, коловертки, малощетинкові черви), як відомо, є регуляторами приросту мулу. Таким чином, завдяки балансу між бактеріальним приростом мулу і цими мікроорганізмами, установка працює без зайвого мулу.

Невелика кількість завислих речовин (в межах, встановлених нормативами) в очищеному стоці, що скидається. складається з гідробіонтів другого і третього трофічного рівнів. При скиданні в природні водойми ці гідробіонти включаються в харчові ланцюги, не порушуючи природного балансу. Хижі коловертки, нематоди, малощетинкові черви і тихоходи – представники третього трофічного рівня – є відмінним кормом для риб. Інфузорії, бактероїдні нематоди і коловертки – представники другого

трофічного рівня – споживають бактерії планктону, перифітону, бентосу, тим самим покращуючи санітарний стан водойми.

Базова схема (рис. 5.10) може бути доповнена окремою регенерацією активного мулу (рис. 5.14, 5.15). Регенератор розділяється на кілька послідовних зон з аерацією. Регенератор може бути обладнаний носієм для іммобілізації мулу (найпростіших та ін.). Кількість носія визначається, виходячи з підтримки оптимальної кількості і якості завислого мулу. Обвідна лінія дозволяє керувати величиною асиміляції надлишкового мулу. Дана схема дозволяє скоротити приріст мулу в десятки разів.

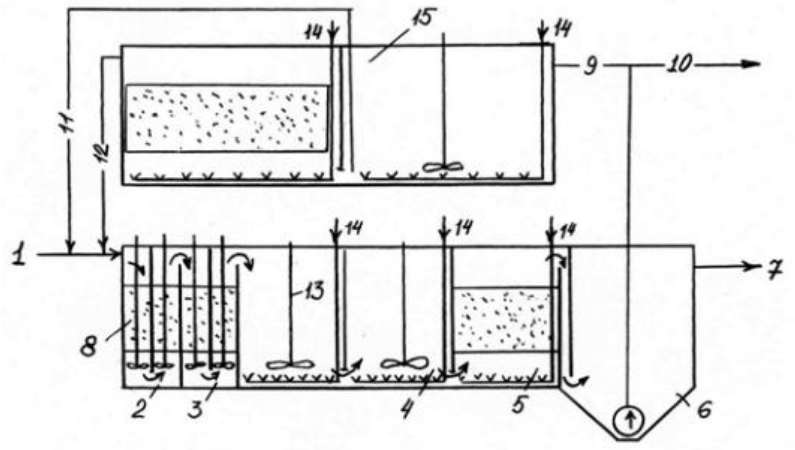


Рисунок 5.14 – Схема з використанням іммобілізованого і завислого мулу: 1 – подача стічної води; 2 – анаеробна зона; 3 – сорбційна зона; 4 – нітри-денітрифікації; 5 – аеробна зона; 6 – відстійник; 7 – очищена вода; 8 – завантаження мулу; 9 – активний мул; 10 – зайвий мул; 11 – регенерований мул; 12 – мулова вода; 13 – механічне перемішування; 14 – подача повітря; 15 – регенератор мулу.

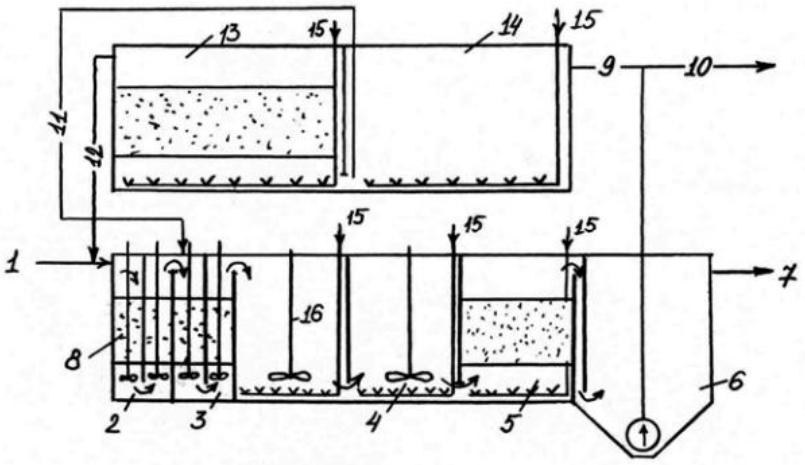


Рисунок 5.15 – Схема з використанням іммобілізованого і завислого мулу (з окремою регенерацією мулу): 1 – подача стічної води; 2 – анаеробна зона; 3 – сорбційна зона; 4 – зона нітри-денітрифікації; 5 – аеробна зона; 6 – відстійник; 7 – очищена вода; 8 – завантаження мулу; 9 – активний мул; 10 – зайвий мул; 11

– регенерований мул; 12 – мулова вода; 13 – регенератор, де відбувається асиміляція завислого мулу; 14 – регенератор, де відбувається відновлення окисної здатності мулу; 15 – подача повітря; 16 – механічне перемішування.

Також базова схема (рис. 5.10) може бути доповнена окремим мінералізатором мулу (рис. 5.16). Мінералізатор розділяється на кілька послідовних зон, що аеруються. Мінералізатор може бути обладнаний носієм для іммобілізації мулу. Кількість носія визначається, виходячи з навантаження по зайвому мулу і осаду первинних відстійників на мінералізатор. Дана схема дозволяє скоротити вихід мінералізованою мулу в десятки разів, забезпечити високу якість мінералізації і скоротити собівартість.

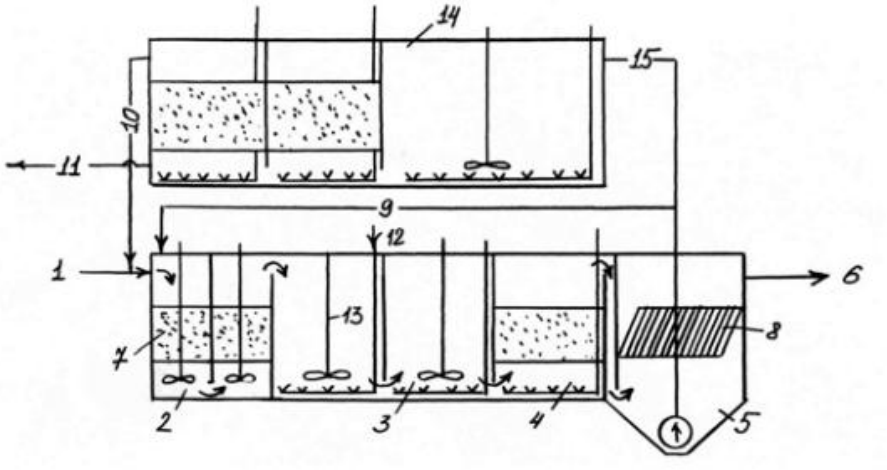


Рисунок 5.16 – Схема з використанням іммобілізованого і завислого мулу (з окремою мінералізацією): 1 – подача стічної води; 2 – гідролізер; 3 – зона нітри-денітрифікації; 4 – зона аерації; 5 – відстійник; 6 – очищена вода; 7 – завантаження мулу; 8 – тонкошаровий модуль; 9 – активний мул; 10 – мулова вода; 11 – мінералізований мул; 12 – подача повітря; 13 – механічне перемішування; 14 – мінералізатор мулу; 15 – зворотній мул.

У регенераторі відбувається відновлення окисних властивостей і значне зниження приросту мулу. Відновлений мул направляється в камеру сорбції гідролізера. Зайвий мул направляється в зону регенератора, обладнану пластмасовим носієм. Завдяки носію і умовам, що підтримуються в регенераторі, виникає значне зниження маси надлишкового активного мулу. Тривалі дослідження і практика показують, що біоплівка іммобілізованих мікроорганізмів містить в 2-3 рази більше найпростіших і багатоклітинних, ніж завислий мул. Таким чином, формується другий і третій трофічні рівні харчової піраміди.

Кількість і біомаса активного мулу від рівня до рівня зменшується в 7-10 разів. Біоплівка в режимі ендогенного дихання містить велику кількість екзополімерів, завдяки яким відбувається захоплення флокул мулу завислих речовин. Таким чином відбувається забезпечення найпростіших і багатоклітинних організмів їжею. Зона регенерації і асиміляції мулу обладнується мембранними аераторами.

Приклад технологічних і технічних параметрів наведено в табл. 5.11.

Таблиця 5.11

Технологічні і технічні параметри процесу біологічної очистки стічних вод

№ п/п	Назва	Од. вимір.	Параметри	
			До реконстр.	Після реконстр.
1	Об'єм аеротенка	$м^3$	31400	15200
2	Кількість аеротенків	од.	4	2
3	Витрата:			
	добова	$м^3$/добу	75000	75000
	годинна	$м^3$/год	3478	3478
4	Навантаження по $БСК_5$:			
	добове	мг/$дм^3$	18750	18750
	годинне	мг/$дм^3$	870	870
5	Муловий індекс		101	60-70
6	Доза мулу:	г/$дм^3$		
	- завислого, в аеротенку		3,4	7
	- завислого, в регенераторі		7	17-21
	- іммобілізованого, в гідролізері		-	7
7	Кількість активного мулу:			
	завислого	кг	115000	160000
	іммобілізованого	кг	-	18 500
8	Навантаження на мул:	г/г		
	завислий		0,2-0,23	0,1-0,12
	іммобілізований		-	0,6
9	Приріст активного мулу	кг/добу	42 000	відсутній
10	Встановлена потужність	кВт		440
11	Споживана потужність	кВт·год		
	загальна			350
	на 1 кг знятого $БСК_П$			0,44
	на 1 $м^3$ очищеного стоку		0,4-0,5	0,1

Відсутність приросту мулу, в цілому, відбувається завдяки наступним факторам:

- зниження навантаження на мул завдяки високонавантаженому процесу зняття БСК (до 40%) іммобілізованим біоценозом мікроорганізмів в гідролізері, а також підвищенню дози завислого мулу, завдяки зниженню мулового індексу;
- підтримка біоценозу завислого мулу в стаціонарній фазі росту;
- використання розвинених трофічних взаємовідносин мікроорганізмів, іммобілізованих на носії, на стадії постаерації і регенерації мулу.

Запропоновані технології відповідають висунутим вимогам:

1. Зниження капітальних витрат (переобладнання двох аеротенків; відпадає необхідність технічно переобладнання первинних відстійники і системи утилізації осаду і надлишкового мулу; значно скорочуються витрати на технічне переобладнання компресорної станції).
2. Зниження експлуатаційних витрат (економія електроенергії за рахунок відключення обладнання утилізації осаду і надлишкового мулу; багаторазова економія електроенергії за рахунок застосування анаеробних процесів на першій стадії очищення, управління процесом нітри-денітрифікації зі зворотним зв'язком, завдяки високій стійкості і саморегуляції системи очищення, значно знижуються витрати на обслуговування).
3. Підвищення ефективності очищення.
4. Підвищення стійкості очищення (зниження мулового індексу, запобігання розвитку нитчастих бактерій, зниження навантаження на мул, використання іммобілізованого біоценозу, автоматичне керування процесом зі зворотним зв'язком).

Різноманіття реалізованих в даний час технологічних схем по реконструкції існуючих очисних споруд, зокрема аеротенків, має на меті пошук найбільш економічно вигідної і технологічно надійної системи видалення біогенних речовин. Це дозволяє розраховувати на виконання одного з основних завдань – переклад всіх потужностей станції аерації на очистку стічних вод з видаленням біогенних елементів.

5.5. Розрахунок споруд для видалення біогенних елементів

5.5.1. Видалення зі стічних вод сполук азоту. Приклади розрахунку реконструйованого аеротенка

Процес глибокої нітрифікації стічних вод, що містили NH_4^+, незалежно від вихідної концентрації амонійного азоту, ефективно протікає в аеротенках-змішувачах при дотриманні строго певного віку активного мулу, який для різних умов може змінюватись від 5 до 70 і більше діб. При здійсненні процесу нітрифікації за відсутності або нестачі органічного субстрату, для побудови

біомаси нітрифікуючих мікроорганізмів потрібна штучна добавка джерел неорганічного вуглецю у вигляді HCO_3^- або CO_2 з розрахунку 2 мг·екв на 1 мг·екв окисленого амонійного азоту.

Оптимальна величина pH для нітрифікуючих мікроорганізмів становить 8,4, оптимальна температура 30 °С. При температурі менше 30 °С спостерігається зниження швидкості нітрифікації. Процес нітрифікації може здійснюватися як в присутності органічних речовин, так і в їх відсутності. Особливу увагу слід звернути на присутність в стічних водах речовин, що гальмують або повністю пригнічують нітрифікацію, зокрема вільного аміаку і важких металів.

Для видалення з води окислених форм азоту (NO_2^- і NO_3^-) здійснюють денітрифікацію, тобто відновлення нітритів і нітратів до молекулярного азоту. Цей процес може бути реалізований при наявності у воді певної кількості органічного субстрату, що окислюється сапрофітними мікроорганізмами до CO_2 і H_2O за рахунок кисню азотовмісних сполук. При денітрифікації забезпечується очистка стічних вод одночасно від органічних сполук за рахунок біологічного окиснення і від сполук азоту (NO_2^- і NO_3^-). Найбільш ефективно процес денітрифікації протікає при pH =7-7,5, при pH вище 9 і нижче 6 процес загальмовується. В якості органічного субстрату в процесі денітрифікації можуть бути використані будь-які органічні сполуки, що біологічно окислюються (вуглеводи, спирти, органічні кислоти, продукти розпаду білків, надлишковий активний мул і т.д.). Джерелом вуглецевого харчування при очищенні стічних вод методом денітрифікації можуть бути вихідні або стічні води після первинних відстійників, а також органовмісні виробничі стічні води, переважно що не містять амонійного, органічного і білкового азоту.

Необхідне співвідношення величини БСК в стічних водах до нітратного азоту орієнтовно дорівнює 4:1.

Для процесів нітрифікації і денітрифікації можуть бути використані звичайні споруди біологічної очистки: аеротенки і біофільтри.

При видаленні сполук азоту із стічних вод можуть застосовуватися різні схеми очищення: одностадійні, дво- або тристадійні. У кожній схемі процес денітрифікації може здійснюватися на початку, в середині або наприкінці споруди, зі штучною добавкою субстрату (наприклад, метанолу) або з використанням субстрату стічних вод, з проведенням процесу денітрифікації в аеробних або анаеробних умовах, з додатковою рециркуляцією мулової суміші в початок резервуара з його кінця або зі вторинного відстійника, а також з одного ступеня в інший. У всіх схемах на завершальній стадії влаштовують, як правило, аерацію мулової суміші тривалістю не менше 1-2 годин для видування газоподібного азоту і більш глибокого окислення амонійного азоту. Для видалення зі стічних вод сполук азоту можливе застосування спеціально розроблених для цих цілей споруд типу циркуляційних каналів, в яких створюються аеробні і анаеробні ділянки за рахунок розосередженого розташування поверхневих механічних аераторів. Можливе здійснення процесу

в аеротенках-змішувачі при поперемінному (циклічному) аеруванні та перемішуванні мулової суміші протягом короткого часу (1-1,5 год.) при дотриманні необхідного часу перебування стічної рідини у споруді. Для перемішування мулової суміші можуть бути використані лопатеві мішалки з горизонтальною або вертикальною віссю обертання, гідравлічне перемішування, а також перемішування повітрям з малою інтенсивністю, що подається дірчастими трубами або відкритими стояками.

При відсутності токсичних забруднень (особливо для нітрифікації) можуть застосовуватися секційні витискувачі з послідовно працюючими аеробними і анаеробними секціями та подачею в секції денітрифікації відповідної кількості органічного субстрату або вихідної стічної рідини. Аеротенки-нітрифікатори доцільно застосовувати при відсутності в стічних водах сторонніх органічних домішок, наприклад, дренажних вод рідин з накопичувачів виробничих відходів, що містять NH_4^+. Для підтримки стабільного очищення не допускається добова зміна концентрації $N\text{-}NH_4^+$ в рідині, що поступає, більше ± 5%. Процес нітрифікації слід здійснювати в аеротенках-змішувачах при невисокому ступені очищення води (2-4 мг $N\text{-}NH_4^+$/л очищеної води).

При розрахунку процесів нітрифікації стічних вод необхідно спочатку визначити мінімальний вік активного мулу, при якому забезпечується необхідна залишкова концентрація амонійного азоту.

Орієнтовно концентрацію нітрифікуючого мулу при необхідному його віці слід визначати по табл. 5.12, в якій представлені дані по кількості нітрифікуючих мікроорганізмів (a_{is}, г/л) при кількості окисленого амонійного азоту (ΔC_n) 20 мг $N\text{-}NH_4^+$/л за 24-годинний період обробки води при температурі 20 °С, а також дані по приросту мулу і питомій швидкості окислення амонійного азоту. При інших кількостях окисленого амонійного азоту ΔC_n і тривалості очищення t дозу нітрифікуючого мулу слід визначати за формулою:

$$a_{in}=1,2a_{is}\,\Delta C_n/t \qquad (5.1)$$

Таблиця 5.12

Концентрація нітрифікуючого мулу

Приріст мулу, мг/мг $N\text{-}NH_4$	Вік мулу, Т, діб	Концентрація мікроорганізмів, a_{is}, г/л	Питома швидкість окислення р, мг/(г·год)
0,17	5	0,017	49,0
0,17	10	0,034	24,5
0,16	15	0,048	17,4
0,138	20	0,055	15,2
0,09	25	0,048	17,4
0,055	30	0,033	25,2
0,03	35	0,021	39,7

0,02	40	0,016	52,1
0,048	50	0,048	17,4
0,044	60	0,053	15,7
0,018	70	0,025	33,3

Мінімальний час обробки в аеротенках-змішувачах стічних вод, що не містять органічних речовин, 10-12 год. Винос нітрифікуючого мулу зі вторинних відстійників повинен бути не більше 20 мг/л, тобто його приріст повинен бути не менше цієї величини, з метою збереження нітрифікуючого мулу в системі.

Для більш ефективного затримання нітрифікуючого мулу доцільним є розміщення тонкошарових блоків в кінці аеротенків.

Слід зазначити, що внаслідок дуже малої швидкості росту нітрифікуючих мікроорганізмів існує критична мінімально можлива сумарна концентрація амонійного і органічного азоту $C_{nen\ min}$ у воді, що надходить, нижче якої здійснення процесу нітрифікації в аеротенках з заданим ефектом стає практично неможливим через обмеження роботи вторинних відстійників при поверненні в нітрифікатор необхідної кількості нітрифікуючого мулу.

Мінімальна допустима концентрація $C_{nen\ min}$ при заданому віці мулу T в залежності від допустимого виносу нітрифікуючого мулу з вторинних відстійників a_i, мг/ л, визначається виразом:

$$C_{nen\ min} = 0{,}02 a_i \cdot T / a_{is}. \qquad (5.2)$$

Для забезпечення ефективної нітрифікації амонійного азоту при менших початкових його концентраціях доцільно вводити додаткову кількість неконсервативних легкоокислюваних органічних речовин, наприклад, метанолу або неочищеної побутової стічної рідини. Процес нітрифікації слід здійснювати при оптимальному значенні pH, що дорівнює 8,4. При інших значеннях pH і тій же температурі питомі швидкості знижуються.

Наведемо значення K_{pH} при різних величинах pH:

pH	...	6	6,5	7	7,5	8	8,4	9
K_{pH}	...	0,15	0,31	0,5	0,6	0,87	1	1,23

У загальному випадку, при розрахунку аеротенків з нітрифікацією стічних вод необхідно знати питому швидкість росту нітрифікуючих мікроорганізмів, що залежить від pH і температури рідини, концентрації розчиненого кисню в мулової суміші і амонійного азоту в очищеній рідині, а також від наявності токсичних для нітрифікації компонентів.

Питома швидкість росту нітрифікаторів μ_n, доб$^{-1}$ визначається за формулою:

$$\mu_n = K_{pH}\, K_T\, K_{oc} K_c\, \mu_{max} N/(K_n + \mathbf{N}), \qquad (5.3)$$

де K_{pH} – коефіцієнт, що враховує вплив pH;

K_T – коефіцієнт, що враховує вплив температури рідини;

ºC	...	10	15	20	25	30
K_T	…	0,32	0,56	1,0	1,79	3,2

K_{oc} — коефіцієнт, що враховує вплив концентрації розчиненого кисню, що визначається за формулою:

$$K_{oc} = C_O/(K_O + C_O) \tag{5.4}$$

K_c – коефіцієнт, що враховує вплив токсичних компонентів; (μ_{max} — максимальна швидкість росту нітрифікуючих мікроорганізмів, що дорівнює 1,77 доб$^{-1}$ при pH=8,4 і температурі 20°C; K_n – константа напівнасичення, мг N-NH_4/л; N – концентрація амонійного азоту в очищеній рідині.

C_O – концентрація розчиненого кисню в муловій суміші, мг/л; K_O — константа напівнасичення, що дорівнює 2 мгO_2/л. Коефіцієнт K_c визначається за формулою:

$$K_c=J/(J + C_i), \tag{5.5}$$

де C_i – концентрація інгібітору, мг/л; J – константа напівнасичення, мг інгібітору/л.

Мінімальний вік нітрифікуючого мулу θ визначається за формулою:

$$\theta = 1/\mu. \tag{5.6}$$

Питома швидкість окислення органічних речовин ρ, мг/(г·год) визначається за формулою:

$$\rho = K_e + 0{,}0417K_p/\theta, \tag{5.7}$$

де K_e — енергетичний фізіологічний коефіцієнт, мгБСК$_п$/(г·год); K_p – фізіологічний коефіцієнт росту мікроорганізмів активного мулу, мгБСК$_п$/рік; θ – вік мулу, діб. Для міських стічних вод:

$$K_e=3{,}7 \text{ мгБСК}_п/(\text{г·год}); \; K_p=864 \text{ мгБСК}_п/\text{рік}.$$

Концентрація беззольної частини активного мулу a_i визначається за формулою (В.9) ДБН В.2.5-75:2013, де для міських стічних вод ρ_{max}=70 мгБСК$_п$/(г·год); K_i=65 мгБСК$_п$/л, φ=0,14 л/г; K_O=0,625 мг/л.

Тривалість перебування стічних вод в аеротенку t_{atm} з нітрифікацією амонійного азоту визначається за формулою:

$$t_{atm}=(L_{en}-L_{ex})/a_i\rho. \quad (5.8)$$

Питомий приріст активного мулу K_g, мг/(мгБСК$_п$) визначається за формулою:

$$K_g=41{,}7at_{atm}/(L_{en}-L_{ex})\Theta, \quad (5.9)$$

де a – концентрація мулу по сухій речовині, г/л.

Добова кількість надлишкового мулу u, кг/доб, складає:

$$G=K_g(L_{en}-L_{ex})Q/1000. \quad (5.10)$$

Приклад розрахунку аеротенка-нітрифікатора

Вихідні дані: витрата стічних вод Q=12000 м^3/доб; вміст амонійного азоту у вихідній воді C_{nen}=150 мг/л, в очищеній воді C_{nex}=3 мг/л; температура 20 ºС; значення pH=8,4; концентрація розчиненого кисню дорівнює 4 мг/л. За формулою (5.3) визначається питома швидкість росту нітрифікаторів μ, сут$^{-1}$:

$$\mu = 1\cdot 1\cdot \frac{4}{2+4}\cdot 1\cdot 1{,}77\cdot \frac{3}{25+3} = 0{,}126\,доб^{-1}.$$

Мінімальний вік мулу знаходимо з рівняння (6):

θ=1/0,126=7,93 доби.

Приймається θ=8 діб. Далі визначається концентрація нітрифікуючого мулу a_{is}. При віці мулу θ=8 діб, a_{is}=0,03 г/л. Питома швидкість нітрифікації складає 34,5 мг/(г·год). За формулою (5.2) визначається мінімально допустима концентрація амонійного азоту в рідині, що надходить, $C_{nen\ min}$ при заданому виносі мулу зі вторинних відстійників C_t =20 мг/л:

$$C_{nen\ min} = 0{,}02\cdot 20\cdot 8/0{,}03=107 \text{ мг/л},$$

тобто менше вихідної величини, що дорівнює 150 мг/л. Загальну дозу мулу слід визначати виходячи з мінімального періоду аерації для аеротенків-змішувачів, що дорівнює 10 год. З рівняння (1), доза нітрифікуючого мулу:

$$a_i = \frac{1{,}2\cdot 0{,}03\cdot (150-3)}{10} = 0{,}53\ г/л.$$

Об’єм нітрифікаторів:

$$W_n = Qt/24 = 12000 \cdot 10/24 = 5000 \text{ м}^3.$$

Гідравлічне навантаження на вторинні відстійники визначається за формулою (20) ДБН В.2.5-75:2013.

Приклад розрахунку аеротенка-нітрифікатора при наявності біорозкладних органічних речовин

Вихідні дані: витрата стічних вод 48000 м^3/добу; БСК стічних вод L_{en}=150 мг/л; амонійний азот C_{nen}=50 мг/л; в очищеній воді: L_{ex}=8 мг/л, C_{nex}=2 мг/л; температура рідини 20°С; концентрація кисню в аеротенку – 2 мг/л; pH=7,8.

Характер органічних забруднень аналогічний міським стічним водам. Значення констант при окисленні органічних речовин і забезпеченні глибокої нітрифікації: ρ_{max}=70 мгБСК$_п$/г·год; K_l=65мг/л; φ=0,14л/ч; K_O=0,625 мг/л. За формулою (5.3) знаходимо μ:

$$\mu = 1 \cdot 0,78 \cdot \frac{2}{2+2} \cdot 1 \cdot 1,77 \cdot \frac{2}{25+2} = 0,051\, доб^{-1}.$$

Мінімальний вік мулу за формулою (5.6):

$$1/\mu = 1/0,051 = 19,6 \text{ діб.}$$

Питома швидкість окислення органічних речовин визначається за формулою (5.7):

$$\rho = 3,7 + (864 - 0,0417)/19,6 = 5,54 \text{ мгБПК}_п/(\text{г·год}).$$

За формулою (В.9) ДБН В.2.5-75:2013, знаючи ρ, знаходимо концентрацію беззольної частини активного мулу при L_{ex}=8 мг/л:

$$5,54 = 70 \cdot \frac{8 \cdot 2}{8 \cdot 2 + 65 \cdot 2 + 0,635 \cdot 8} \cdot \frac{1}{1 + 0,14 \cdot a_i};$$

$$5,54 + 5,54 \cdot 0,14 a_i = 7,41$$

$$a_i = \frac{7,41 - 5,54}{5,54 \cdot 0,14} = 2,42\ г/л.$$

Тривалість аерації стічних вод t_{atm},, год, в аеротенку-змішувачі з нітрифікацією амонійного азоту визначається за формулою (5.8):

$$t_{atm} = \frac{150-8}{2,42 \cdot 5,54} = 10,6\ год.$$

Концентрація нітрифікуючого мулу в муловій суміші при віці мулу 19,6 діб визначається за даними табл. 5.9 з використанням формули (5.1):

$$a_{in} = 1,2 \cdot 0,055 \frac{50-2}{10,6} = 0,3\ г/л.$$

Загальна концентрація беззольного мулу в муловій суміші аеротенків складає a_i+a_{in}=2,42+0,3=2,72г/л, з урахуванням 30% зольності доза мулу за сухою речовиною складатиме a=2,72/0,7=3,88 г/л.

Питомий приріст надлишкового мулу K_g визначається за формулою:

$$K_g = \frac{4,17 \cdot 3,88 \cdot 10,6}{(150-8)19,6} = 0,62\ мг/мгБСК_П.$$

Добова кількість надлишкового мулу за формулою (5.10):

$$G = \frac{0,62(150-8)48000}{1000} = 4226\ кг/доб.$$

Об’єм аеротенків-нітрифікаторів:

$$W = \frac{48000 \cdot 10,6}{24} = 21200\ м^3.$$

Витрата повітря, що подається, розраховується за формулою (В.21) ДБН В.2.5-75:2013.

Розрахунок денітрифікатора

В якості денітрифікаторів можуть використовуватись як змішувачі, так і витискувачі. Для здійснення процесу денітрифікації в якості джерела вуглецю у стічні води штучно додають біологічно неконсервативні органічні речовини (метанол, органічні кислоти і т. д.) або вихідні стічні води з розрахунку 3-6 мгБСК на 1 мг $N\text{-}NO_3^-$.

Розрахунок тривалості процесу в реакторі-змішувачі здійснюється за формулою (В.8) ДБН В.2.5-75:2013. Питома швидкість ρ^{dn}, мг/(г·год), денітрифікації розраховується за формулою:

$$\rho^{dn} = \rho^{dn}_{\max}\left(\frac{L^{dn}_{ex}}{L^{dn}_{ex} + K_{dn}}\right)\left(\frac{1}{1+\varphi_{dn}a^{dn}_{i}}\right). \qquad (5.11)$$

Тривалість перебування у змішувачі, год:

$$t_{atm} = \frac{L^{dn}_{en} - L^{dn}_{ex}}{a^{dn}_{i}(1-\alpha)\rho^{dn}}; \qquad (5.12)$$

у витискувачі, год:

$$t_{atm} = \left(L^{dn}_{en} - L^{dn}_{ex} + 2,3K_{dn}\lg\frac{L^{dn}_{en}}{L^{dn}_{ex}}\right)\frac{1+\varphi_{dn}a^{dn}_{i}}{\rho^{dn}_{\max}a^{dn}_{i}}. \qquad (5.13)$$

Значення кінетичних констант приймаються за даними табл. 5.10.

Таблиця 5.13

Значення кінетичних констант

Вид субстрату	$\rho^{dn}_{\max}$, мг N-NO_3/(г·год)	K_{dn}, мг N-NO_3/л	φ_{dn}, л/г
Метанол	58,8	40	0,19
Этанол	44,9	25	0,17

У всіх випадках після денітрифікації перед відстійниками необхідною є аерація мулової суміші протягом 0,5-1год для видування газоподібного азоту.

Приклад розрахунку денітрифікатора

Вихідні дані: витрата стічних вод q_w=48000 м^3/добу; концентрація нітратного азоту 20 мг/л; вуглецевий субстрат – метанол; концентрація азоту в очищеній воді – 9,1 мг/л; муловий індекс – 100 см^3/г, зольність мулу – 0,3.

Гранична доза денітрифікуючого мулу при J_i=100 см^3/г складає:

$$a^{dn}_{i\max} = 0,3\cdot 1000/100 = 3 \text{ г/л}.$$

Питома швидкість денітрифікації ρ^{dn}, мг/(г·год), у змішувачі за формулою (5.11):

$$\rho^{dn} = 58,8\frac{9,1}{40+9,1}\cdot\frac{1}{1+0,19\cdot 3} = 6,94.$$

Тривалість перебування у денітрифікаторі t_{atm}, год, за формулою (5.12):

$$t_{atm} = \frac{30-9,1}{3(1-0,3)6,94} = 1,43\,год.$$

Об'єм реактора:

$$W_{dn}=(48000-1,43)/24=2860\ м^3.$$

Для створення анаеробних умов перемішування мулової суміші у денітрифікаторі необхідно здійснювати механічними лопасними мішалками або гідравлічним способом.

Денітрифікатор з фіксованим завантаженням

В якості завантаження допускається використовувати кварцовий пісок, гравій, рулонну пластмасу, скловолокно, а також інші матеріали, що володіють високорозвиненою поверхнею та стійкістю до біологічної взаємодії.

При концентрації азоту нітратів у вихідній воді менше 50 мг/л, рекомендується встановлювати каркасно-засипні денітрифікатори; для діапазону концентрацій $50<N\text{-}NO_3^- <100$ – гравійні денітрифікатори. При вмісті азоту нітратів у вихідній воді більше 100 мг/л – плівкові и денітрифікатори із завантаженням зі скловолокна типу «йорж».

Розрахунок денітрифікаторів з фіксованим завантаженням, що працюють в затопленому режимі, виконується за формулою:

$$t_{bf}^{dn} = \left(C_{en}^{dn} - C_{ex}^{dn} + K_d K_{dn} \ln \frac{C_{en}^{dn}}{C_{ex}^{dn}} \right) \frac{1+\varphi_{dn} a_i^{dn}}{\rho_{\max}^{dn} a_i^{dn}}, \qquad (5.14)$$

де t_{bf}^{dn} – час контакту, год.; C_{en}^{dn} – концентрація азоту нітратів у вихідній воді, мг/л; C_{ex}^{dn} – концентрація азоту нітратів в очищеній воді, мг/л; K_d – експериментальний коефіцієнт, по табл. 5.14; K_{dn} — константа Міхаеліса-Ментен, мг/л; φ_{dn} – коефіцієнт інгібування процесу денітрифікаії продуктами метаболізму активного мулу, л/г; $\rho_{\max}^{dn}$ – максимальна питома швидкість відновлення азоту, нітратів, мг$N\text{-}NO_3^-$/(г·год) і a_i^{dn} – концентрація денітрифікуючого мулу, г/л.

Для денітрифікації з використанням в якості вуглецевого субстрату метанолу і етанолу значення кінетичних констант K_{dn}, φ_{dn}, $\rho_{\max}^{dn}$ – встановлено експериментально і визначаються за табл. 5.9 і 5.10.

Таблиця 5.14

Значення експериментальних коефіцієнтів

Конструкція денітрифікатора	Експериментальний коефіцієнт K_d	Конструкція денітрифікатора	Експериментальний коефіцієнт K_d
Каркасно-засипний	0,89	Гравійний Плівковий	0,83 0,81

Доза денітрифікуючого мулу в споруді залежить від концентрації азоту нітратів у вихідній воді і необхідного ступеню очистки. Для розрахунків приймаються середні значення a_i^{dn} у відповідності з даними табл. 5.12.

Таблиця 5.15

Середня концентрація денітрифікуючого мулу

Концентрація азоту нітратів у вихідній воді, мг/л	Середня концентрація денітрифікуючого мулу, г/л при концентрації азоту нітратів в очищеній воді, мг/л				
	10	20	30	40	50
50	1,0	2,0	2,5	3,5	_
100	1.5	2,5	3,5	5,0	7,6
200	2,0	3,5	5,5	7,5	10,0
300	2,5	4,0	6,0	9,0	14,0
400	3,0	5,0	7,0	14,0	20,0

Об’єм робочої частини споруди, що заповнена завантаженням, розраховується як добуток:

$$W_{bf}^{dn} = q_w t_{bf}^{dn}, \qquad (5.15)$$

де q_w – витрата нітратовмісних стічних вод, м^3/ч.

Регенерацію завантаження каркасно-засипного і гравійного денітрифікаторів слід здійснювати зворотнім током вихідної або очищеної води.

Приклад розрахунку денітрифікатора з фіксованим завантаженням

Вихідні дані: витрата стічних вод q_w=200 м^3/год; концентрація азоту нітратів у воді, що надходить – 300 мг/л; вуглецевий субстрат – етанол; концентрація азоту нітратів в очищеній воді – 10 мг/л; конструкція денітрифікатора – з завантаженням зі скловолокна.

Час контакту стічних вод t_{bf}^{dn}, год з завантаженням визначається за формулою (5.14):

$$t_{bf}^{dn} = \left(300 - 10 + 0,6 \cdot 25 \ln \frac{300}{10}\right) \frac{1 + 0,17 \cdot 2,5}{44,9 \cdot 2,5} = 4,4 .$$

Об'єм завантаження:

$$W_{bf}^{dn} = 200 \cdot 4,4 = 880 \ м^3 .$$

Приклад розрахунку реконструйованого аеротенку

Розрахувати обсяг аеротенках для очищення міських стічних вод з підвищеним вмістом азотовмісних сполук при наступних вихідних даних: Витрата стічних вод 50 000 м^3/добу; БСК$_п$ надходять вод L_{en}=200 мг/л; БСК$_п$ очищених стоків L_{ex}=15 мг/л; Середньорічна температура стічних вод 15ºС; кількість завислих речовин у воді, що надходить, C_{cdp}=150 мг/л.

Приймаємо до розрахунку аеротенк-витиснювач з регенератором з попередньо включеною денітрифікацією.

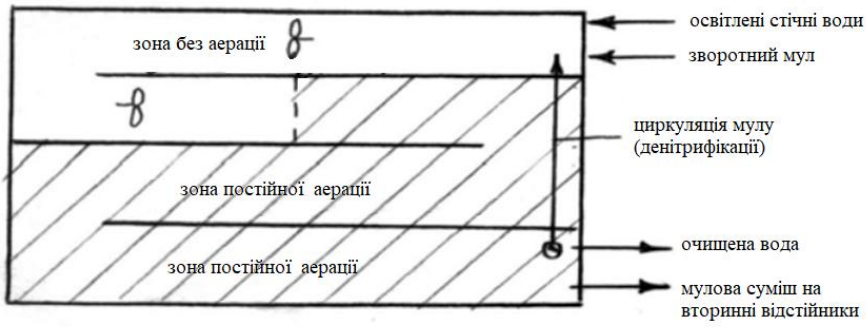


Рисунок 5.17 – Схема реконструйованого аеротенка з попередньо включеною денітрифікацією

Період аерації в аеротенках-витиснювачах:

$$t_{atv} = \frac{1 + \varphi a_i}{\rho_{\max} C_O a_i (1 - s)} \left[(C_O + K_O)(L_{mix} - L_{ex}) + K_l C_O \ln \frac{L_{en}}{L_{ex}} \right] K_p, \ год ,$$

де K_p – коефіцієнт, що враховує вплив поздовжнього перемішування: K_p=1,5 при біологічній очистці до L_{ex}=15;

L_{mix} – БСК$_п$, що визначається з урахуванням розбавлення рециркуляційною витратою:

$$L_{mix} = \frac{L_{en} + L_{ex}(R_i + R_d)}{1 + R_i + R_d}, \ мг/л ;$$

R_i – ступінь рециркуляції активного мулу:

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{I_i} - a_i};$$

R_d – ступінь циркуляції денітрифікації (згідно досліджень лабораторій, можна приймати до 0,5);

a_i – доза мулу в аеротенку: a_i=2г/л;

I_i –муловий індекс, см^3/г. Приймаємо I_i=100 см^3/г;

$$R_i = \frac{2}{\frac{1000}{100} - 2} = 0,25,$$

$$L_{mix} = \frac{200 + 15(0,25 + 0,3)}{1 + 0,25 + 0,3} = 134\ мг/л.$$

C_O – концентрація розчиненого кисню: C_O=3мг/л;

K_l – константа, що характеризує властивості органічних забруднюючих речовин (табл. В.4, ДБН): K_l=33 мгБСК$_п$/л;

K_O – константа, що характеризує вплив кисню (табл. В.4, ДБН): K_O=0,625 мгO_2/л;

φ – коефіцієнт інгібування продуктами розпаду активного мулу (табл. В.4 ДБН):

φ = 0,07;

ρ_{max} – максимальна швидкість окислення мг/г·год (табл. В.4 ДБН):

ρ_{max}=85 мгБПК$_п$/г·год;

$$t_{atv} = \frac{1 + 0,07 \cdot 2}{85 \cdot 3 \cdot 2(1 - 0,3)} \left[(3 + 0,625)(134 - 15) + 33 \cdot 3 \ln \frac{200}{15} \right] 1,5 = 3,3\ год$$

Тривалість окислення органічних забруднюючих речовин:

$$t_0 = \frac{L_{en} - L_{ex}}{(R_i + R_d) a_r (1 - S) \rho_r},\ год,$$

a_r – доза мулу в регенераторі: a_r=5г/л.

ρ_r – питома швидкість окислення при дозі мулу a_r:

$$\rho_r = \rho_{max} \frac{L_{ex} C_O}{L_{ex} C_O + K_l C_O + K_O L_{ex}} \frac{1}{1 + \varphi a_r} =$$

$$= 85 \frac{15 \cdot 3}{15 \cdot 3 + 33 \cdot 3 + 0,625 \cdot 3} \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 5} = 19,4\ мгБСК_П/г \cdot год,$$

$$t_0 = \frac{200-15}{(0,25+0,3)5(1-0,3)19,4} = 5\,год.$$

Тривалість обробки води в аеротенку:

$$t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \lg \frac{L_{en}}{L_{ex}} = \frac{2,5}{\sqrt{2}} \lg \frac{200}{15} = 2,5\,год.$$

Тривалість регенерації:

$$t_r = t_0 - t_{at} = 5 - 2,5 = 2,5\,год.$$

Місткість аеротенка:

$$W_{at} = t_{at}(1+R_i+R_d)q_w,\ м^3.$$

q_w – розрахункова витрата стічних вод, м^3/год.

$$W_{at} = 2,5(1+0,25+0,3)2083 = 8100\ м^3.$$

Приймаємо типовий аеротенк-витиснювач з наступними параметрами: ширина коридору 4,5м; робоча глибина аеротенка 3,2м; кількість коридорів 4 шт; довжина секцій 48м; робочий об'єм секцій 2465 м^3; кількість секцій 3 шт.

Схему аеротенку наведено на рис. 5.16.

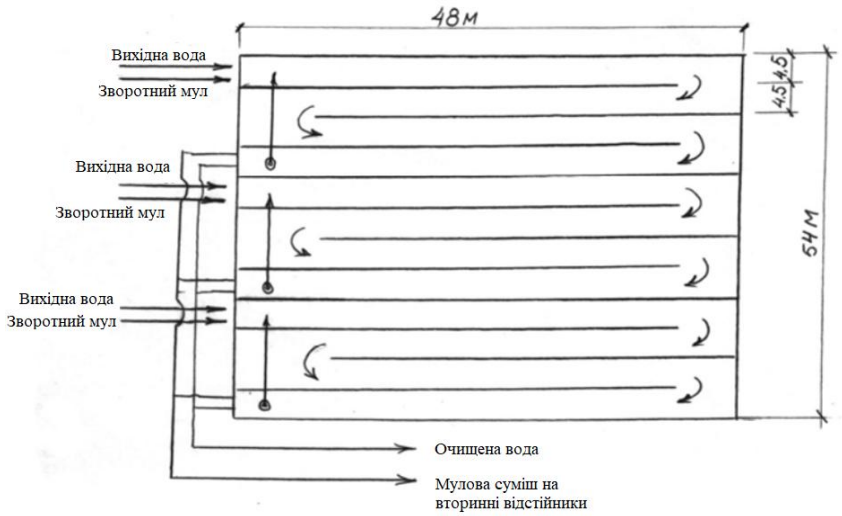


Рисунок 5.18 – Схема аеротенку

Місткість регенератора:

$$W_r = t_r R_i q_w = 2,5 \cdot 0,25 \cdot 2083 = 1300\ м^3.$$

Порівняємо приріст мулу в традиційній схемі та нашій прийнятій схемі. Приріст активного мулу в традиційній схемі:

$$P_i = 0,8C_{cdp} + K_g L_{en},\ мг/л.$$

K_g – коефіцієнт приросту: K_g=0,3 для міських стічних вод.

$$P_i = 0,8 \cdot 150 + 0,3 \cdot 200 = 180\ мг/л.$$

Приріст мулу за добу при витраті 50000 м^3 складатиме:

$$180\ мг/л \cdot 10^{-6} кг \cdot 50000000\ л/доб = 9000\ кг/доб.$$

За дослідами, що проведені в лабораторіях, було встановлено, що при використаній нами реконструкції аеротенку приріст мулу складає 0,6 кг/кг$БСК_П$ вихідної води, тобто для 50000 м^3/доб і $БСК_П$=200мг/л приріст мулу складає:

$$200\ мг/л \cdot 10^{-6} кг \cdot 50000000\ л/доб \cdot 0,6 кг = 6000\ кг/доб,$$

що на 33% менше, ніж в традиційній схемі.

Як видно з рис. 5.17, в аеротенку дві зони – зона без аерації та зона постійної аерації. В зоні без аерації перемішування води та мулу здійснюється механічними мішалками. Приймаємо для зони денітрифікації занурні мішалки фірми Flygt типу SR 4660 (3 шт.). В якості насосів для перекачування мулу з зони нітрифікації в зону денітрифікації приймаємо рециркуляційні насоси Flygt PP 4660. Питома витрата повітря при пневматичній аерації:

$$q_{air} = \frac{q_0(L_{en} - L_{ex})}{K_1 K_2 K_T K_3 (C_a - C_0)},\ м^3/м^3,$$

q_0 – питома витрата кисню повітря, приймається при очистці до $БСК_П$=15 мг/л: q_0=1,1мг/мг $БСК_П$;

K_1 – коефіцієнт, що враховує тип аератора: для дрібнопузирчастої аерації K_1=2,13 (табл. В.6, ДБН);

K_2 – коефіцієнт, що залежить від глибини занурення аераторів $h_а$ (табл. В.7, ДБН): K_2=2,08 (при h_a = 3м);

K_T – коефіцієнт, що враховує температуру стічних вод: K_T=1+0,02(T_w – 20);

T_w – середньомісячна температура води за літній період, ˚С;

$$K_T=1+0,02(24–20)=1,08;$$

K_3 – коефіцієнт якості води (табл. В.8. ДБН): K_3 = 0,88;

C_a – розчинність кисню повітря у воді:

$$C_a = (1 + \frac{h_a}{20,6})C_T, \; мг/л;$$

C_T – розчинність кисню у воді: C_T=9,95мг/л;

$$C_a = (1 + \frac{3}{20,6})9,95 = 11,4 \; мг/л;$$

$$q_{air} = \frac{1,1(200-15)}{2,13 \cdot 2,08 \cdot 1,08 \cdot 0,88(11,4-3)} = 5,8 \; м^3/м^3.$$

Інтенсивність аерації:

$$I_a = \frac{q_{air} H_{at}}{t_{at}}, \; м^3/м^2 \cdot год.$$

H_{at} – робоча глибина аеротенка: H_{at}=3,2м.

$$I_a = \frac{5,8 \cdot 3,2}{2,5} = 7,4 \; м^3/м^2 \cdot год.$$

Число аераторів:

$$N_{ma} = \frac{q_0(L_{en} - L_{ex})W_{at}}{1000 K_T K_3 \frac{C_a - C_0}{C_a} t_{at} q_{ma}}.$$

W_{at} – об’єм зони, що аерується: W_{at}=0,75 W=0,75·8100=6075м^3.
q_{ma} – продуктивність аератора по кисню: q_{ma}=1,2 кг/год.

$$N_{ma} = \frac{1,1(200-15)6075}{1000 \cdot 1,08 \cdot 0,88 \frac{11,4-3}{11,4} 2,5 \cdot 1,2} = 585 \; шт.$$

В зоні постійної аерації використовуємо аераційну систему з дрібнопухирцевими мембранними дифузорами Flygt-Sanitare.

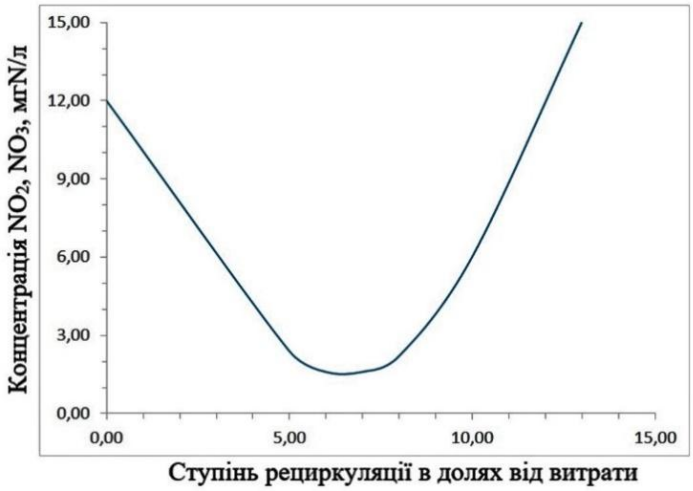


Рисунок 5.17 – Залежність ефективності видалення сполук азоту від ступеня рециркуляції

По наведеному на рис. 5.17 графіку визначаємо ефективність видалення сполук азоту в залежності від ступеня рециркуляції денітрифікації. При R_d=0,3 вона складає 6 мгN/л.

5.5.2. Видалення зі стічних вод сполук фосфору. Приклади розрахунку реконструйованого аеротенка

Одним із прийомів попередження евтрофікації водних об'єктів є видалення з очищених стічних вод фосфору. В процесі звичайної біологічної очистки сполуки фосфору не видаляються повністю. Завдяки бактеріального впливу поліфосфати перетворюються в ортофосфати. Якщо в неочищених вихідних міських стічних водах приблизно дві третини загального вмісту фосфору обумовлено присутністю поліфосфатів, а одна третина – ортофосфатів, в біологічно очищених стічних водах має місце зворотне співвідношення.

Для видалення із стічних вод сполук фосфору застосовують реагентну обробку, в процесі якої зниження вмісту ортофосфатів відбувається в результаті хімічної взаємодії реагенту, що вводиться, з іонами PO_4^{3-} з утворенням нерозчинних сполук, що випадають в осад, і в результаті сорбції сполук фосфору пластівцями гідроксидів металів.

В якості реагентів можуть бути використані традиційні мінеральні коагулянти, що застосовуються в практиці водопідготовки: сірчанокисле залізо Fe^{3+}, сірчанокислий алюміній, залізний купорос. Можна також використовувати відходи виробництв, що містять солі Fe^{2+}, Fe^{3+} і $A1^{3+}$, що не токсичні для біологічного процесу.

Іноді в якості реагенту застосовується вапно. Однак через необхідність підвищення величини pH води до 11 і подальшої нейтралізації очищених стічних вод, а також можливого утворення відкладень вуглекислого кальцію на поверхні трубопроводів, завантаженні фільтрів перевагу слід віддавати алюміній- або залізовмісним реагентам.

При введенні реагентів на етапі механічного очищення стічних вод, тобто при попередньому осадженні сполук фосфору, одночасно має місце значне зниження концентрації органічних та інших забруднюючих речовин. Тому попереднє осадження фосфатів доцільно застосовувати для очищення виробничих і суміші міських і виробничих стічних вод з величиною $БСК_п$ більше 400 мг/л, а також при перевантаженні очисних споруд.

На практиці для видалення із стічних вод сполук фосфору застосовується біолого-хімічне очищення. При біолого-хімічному очищенні традиційні схеми споруд біологічного очищення (з заключним фільтруванням стічних вод або без нього) доповнюються реагентним господарством, що включає розчинні і витратні баки для коагулянтів і приміщення для їх зберігання. Зазначене реагентне господарство розраховується відповідно до вимог ДБН. В.2.5-74:2013.

Доза реагенту при його введенні в стічні води на етапі біологічної очистки визначається за формулою:

$$C_{реаг}=KC_{Рзаб}, \qquad (5.16)$$

де K – коефіцієнт збільшення стехіометричного співвідношення, розрахований з врахуванням визначення за стандартними методиками вмісту загального фосфору (по PO_4^{3-}) та металів реагенту (по оксиду металу Me_2O_3), приймається за табл. 5.16; $C_{Рзаб}$ – концентрація загального фосфору у вихідній воді, мг/л. При відсутності даних про концентрацію у вихідній воді загального фосфору, орієнтовно може бути прийнято:

$$C_{P_{заб}} = (2-3)C_{PO_4^{3-}}$$

$C_{PO_4^{3-}}$ – концентрація фосфатів у вихідній воді мг PO_4^{3-}/л.

Таблиця 5.16

Значення коефіцієнту збільшення стехіометричного співвідношення

Ефективність видалення загального фосфору, %	Величина *K* при використанні		
	Сірчанокислого заліза II	Сірчанокислого заліза III	Сірчанокислого алюмінію
60	0,33	0,15	0,35
65	0,5	0,25	0,4
70	0,66	0,33	0,5
75	1	0,5	0,65
80	1,34	0,66	0,74
85	1,67	1	0,9

З огляду на можливе пригнічення мікроорганізмів активного мулу при введенні реагентів в суміш мулу, не рекомендується приймати дози сірчанокислого заліза (II) більше 25 мг/л по Fe_2O_3; сірчанокислого заліза (III) більше 15 мг/л по Fe_2O_3; сірчанокислого алюмінію понад 18 мг/л по $A1_2O_3$.

З метою ефективного використання реагенту і з урахуванням його впливу на активний мул, рекомендується введення сірчанокислого заліза (II) – у початок аеротенку або у флотаційну ємність, сірчанокислого заліза (III) – перед вторинним відстійником, сірчанокислого алюмінію – в кінець аеротенку.

При використанні в якості реагенту сірчанокислого алюмінію, для зменшення концентрації завислих речовин в очищеній воді слід додавати поліакриламід (ПАА). Орієнтовна доза ПАА 0,2-1 мг/л. Введення розчину ПАА здійснюється в суміш мулу перед вторинним відстійником.

При наявності в схемі очищення стічних вод на завершальному етапі фільтрів з підвищеною гряземісткістю (наприклад, гравійно-піщаних фільтрів з висхідним потоком води) застосування ПАА не обов'язково.

Введення реагенту на етапі біологічної очистки дозволяє знизити вміст у воді загального фосфору до 85%, розчинних фосфатів до 95%. Більш глибоке видалення загального фосфору (до 90-95%) досягається в процесі доочищення стічних вод фільтруванням.

Введення реагенту повинно враховуватися при визначенні обсягу аеротенку зміною зольності мулу (коефіцієнт β) і питомої швидкості окислення (коефіцієнт *m*). Тоді формула (В.8) ДБН В.2.5-75:2013 визначення тривалості аерації набуде вигляду:

$$t_{atm} = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i(1-\beta S)\rho m}, \qquad (5.17)$$

де a_i – доза мулу, приймається за табл. 5.17; S – зольність мулу; β – поправка за рахунок введення реагенту, приймається за табл. 5.18.

Питома швидкість окислення, мгБСК$_П$ на 1г беззольної речовини за 1 год визначається за формулою (В.9) ДБН.

Таблиця 5.17

Рекомендована доза мулу

Доза реагенту по Me_2O_3, мг/л	Рекомендована доза мулу a_i, мг/л залежно від БСК$_П$ води, що надходить в аеротенк, мг/л			
	100	150	200	300
10	3	4	5	5
15	4	5	6	6
20	5	6	6	7
25	6	6	7	7

Примітка. При використанні сірчанокислого алюмінію або сірчанокислого заліза (III) дозу мулу слід приймати не більше 5 г/л.

Таблиця 5.18

Значення поправки β

Реагент	β при дозах реагенту, мгMe_2O_3/л				
	5	10	15	20	25
При використанні сірчанокислого заліза II	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
При використанні других реагентів	1,07	1,15	1,2	1,22	1,22

Коефіцієнт, що враховує зміну швидкості окислення органічної речовини за рахунок введення реагенту по відношенню до швидкості окислення при біологічному очищенні, *m*, приймається по табл. 5.19 в залежності від навантаження по коагулянту $N_{коаг}$, мгMe_2O_3/г беззольної речовини мулу, розрахованої за формулою:

$$N_{коаг} = \frac{C_{реаг}}{a_i(1-\beta S)}. \qquad (5.18)$$

Таблиця 5.19

Значення коефіцієнту *m*

$N_{коаг}$	9	8	7	6	5	4	3	2
m	0,63	0,78	0,84	0,95	1	1,08	1,16	1,24

Питома витрата повітря, $м^3/м^3$, стічної води визначається за формулою (В.21) ДБН В.2.5-75:2013. При цьому в схемі з введенням залізного купоросу середня концентрація кисню в аеротенках приймається рівною 5 мг/л.

Рециркуляційна витрата активного мулу орієнтовно приймається в залежності від робочої дози мулу в аеротенках та дози зворотного мулу за даними табл. 5.20.

Перекачування зворотного мулу рекомендується здійснювати ерліфтами, що попереджає зайве дроблення пластівців мулу, створює велику аеробність системи і є більш економічним способом перекачування мулу в порівнянні з відцентровими насосами. Виконання цієї рекомендації є особливо важливим при використанні в якості реагенту сірчанокислого алюмінію. Реагент вводиться в аеротенк у вигляді розчину.

При застосуванні гравійно-піщаних фільтрів з висхідним потоком води в схемі біолого-хімічного очищення розрахунок фільтрів виконується:

- в схемі з введенням сірчанокислого закисного заліза перед аеротенком – за параметрами безреагентного фільтрування;

- в схемі з введенням сірчанокислого окисного заліза перед вторинним відстійником або сірчанокислого алюмінію в кінці аеротенку слід приймати швидкість фільтрування в робочому режимі 9-10 м/ч, при форсованому 11-12 м/ч.

Таблиця 5.20

Рециркуляційна витрата активного мулу

Робоча доза мулу в аеротенку, мг/л	Схема з введенням			
	залізного купоросу		сірчанокислого заліза (III) або алюмінію	
	доза, г/л	рециркуляція, %	доза, г/л	рециркуляція, %
3	10	45	6,5	85
4	11,5	50	8,5	90
5	11,5	60	10,0	100
6	14,0	75	–	–
7	14,0	100	–	–

Промивання слід передбачити 2-3 рази на добу.

При розрахунку споруд з обробки осаду необхідно враховувати збільшення маси сухої речовини активного мулу в зв'язку з утворенням додаткового хімічного осаду, кількість якого на 1 мг/л Me_2O_3 становить 1% приросту активного мулу, розрахованого по п. В.26 ДБН В.2.5-75:2013.

Однак, незважаючи на збільшення маси мулу, обсяг надлишкового мулу скорочується в 1,5 рази у зв'язку з кращою здатністю осідати. Активний мул володіє доброю здатністю віддавати воду, аналогічними властивостями осаду після аеробного стабілізації.

Введення реагенту на етапі біологічної очистки не впливає на перебіг процесів зброджування осадів у метантенках. При механічному зневодненні біолого-хімічних мулів із застосуванням реагентів, витрату останніх можна скоротити до 30%.

Приклад розрахунку аеротенка при біолого-хімічному очищення стічних вод з введенням в аеротенк сірчанокислого заліза

Вихідні дані: розрахункова витрата стічних вод q_w=4160 м^3/год; БСК$_п$ початкове і кінцеве L_{en}=200 мг/л і L_{ex}=15 мг/л; вміст завислих речовин C_{cdp} початковий і кінцевий 150 і 15 мг/л; вміст загального фосфору вихідної води 16 по PO_4^{3-}; необхідна доза реагенту $C_{реаг}$=1·16=16 мг/л; К=1 – за табл. 5.16. Необхідно видалити 75% загального фосфору.

При вихідному БСК$_п$=200 мг/л і необхідній дозі реагенту 16 мг/л відповідно табл. 5.17. біолого-хімічний процес доцільно вести при дозі активного мулу a_i=6 г/л. При цих параметрах збільшення зольного мулу приймаємо по табл. 5.18, β=1,3, тобто зольність мулу буде 0,3·1,3=0,39.

Навантаження по коагулянту визначаємо за формулою (5.18):

$$N_{коаг} = \frac{16}{6(1-1,3\cdot 0,3)} = 4,4\ {мг}/{г}\ .$$

За табл. 5.16 коефіцієнт зміни питомої швидкості окислення органічних забруднень при $N_{коаг}$=4,4 мг/г складе m=1,04.

Швидкість окислення органічної речовини при біологічному очищенні визначаємо за формулою (В.9) ДБН В.2.5-75:2013:

$$\rho=85\cdot15\cdot5/[(15\cdot5+33+0,625\cdot15)(1+0,07\cdot6)]=18 \text{ мг}\cdot\text{БСК}_{п}/(\text{г}\cdot\text{год}),$$

де ρ_{max}=85 мгБСК$_{п}$/(г·год); C_O=5 мг/л (використання залізного купоросу); K_t=33 мгБСК$_{п}$ /л; / K_o=0,625 мг/л; φ=0,07л/г.

Питома швидкість окислення органічних речовин при біолого-хімічному очищенні ρ_m=18·1,04=18,7 мгБСК$_{п}$/(г·год).

Розрахунок періоду аерації в аеротенках виконуємо за формулою (5.17):

$$t_{atm}=(200–15)/6(1–0,39)18,7=2,73 \text{ год.}$$

Рециркуляцію мулу приймаємо по табл. 5.16 – 75%. Тоді приріст мулу буде складати 1,16(0,8·150+0,4·15)=145 мг/л.

На завершення, визначимо кількість реагенту для розрахунку реагентного господарства при вмісті 52 % $FeSO_4$ в технічному залізному купоросі ($P_{реаг}$) за формулою:

$$Q_{реаг}=q_wC_{реаг}/P_{реаг}=4160\cdot16\cdot1,9\cdot100\cdot24/52\cdot1000\cdot1000=5,76 \text{ т/доб.}$$

ГЛАВА 6.

Реконструкція біофільтрів на прикладі реконструкції станції очистки стічних вод ТОВ «Хорольський завод дитячих продуктів харчування»

6.1. Аналіз роботи споруд станції очистки стічних вод ТОВ «Хорольський завод дитячих продуктів харчування» та висновки для реконструкції споруд

Очисні споруди Хорольського заводу дитячих продуктів харчування приймають стічні води самого підприємства, ветеринарно-санітарного заводу і загальноміські стічні води. Добовий обсяг стічних вод, що надходять на очисні споруди, становить 1000 м^3 [41].

Комплекс біологічних очисних споруд складається (рис. 6.1) з приймальної камери (камера гасіння), радіальних пісколовок з круговим рухом води, освітлювачів-перегнивачів (з природною аерацією), баштових біофільтрів, вторинних відстійників, хлораторної, контактних відстійників. Піскові і мулових майданчиків. Контроль за ефективністю роботи очисних споруд ведеться на підставі результатів хімічних аналізів лабораторії, розташованій на території станції.

Для очисних споруд Хорольського заводу дитячих продуктів харчування, що скидають очищені стічні води в болотисту місцевість річки Хорол, встановлені гранично-допустимі концентрації на скидання, представлені в табл. 6.1.

Очисні споруди не завжди забезпечують якість очищеної води, що задовольняють нормативним вимогам. Хімічною лабораторією, при очисних спорудах, періодично відзначаються невеликі перевищення концентрацій в очищеній воді по амонійному азоту, фосфатам, залізу і ХСК.

Проведені дослідження з вивчення складу стічних вод, що подаються на очисні споруди, показали, що найбільш висококонцентрованими є жировмісні стічні води ветсанзаводу, які надходять в приймальну камеру без попереднього очищення. Дані стічні води характеризуються високим вмістом амонійного азоту, фосфатів, ХСК та жирів. Крім того, стічні води ветеринарно-санітарного заводу дуже мінералізовані, по сухому залишку – 3180 мг/дм^3. При таких навантаженнях очисні споруди в нинішньому стані не завжди здатні забезпечити зниження концентрацій до нормативних вимог, що пред'являються до якості очищеної води, що скидається в водний об'єкт.

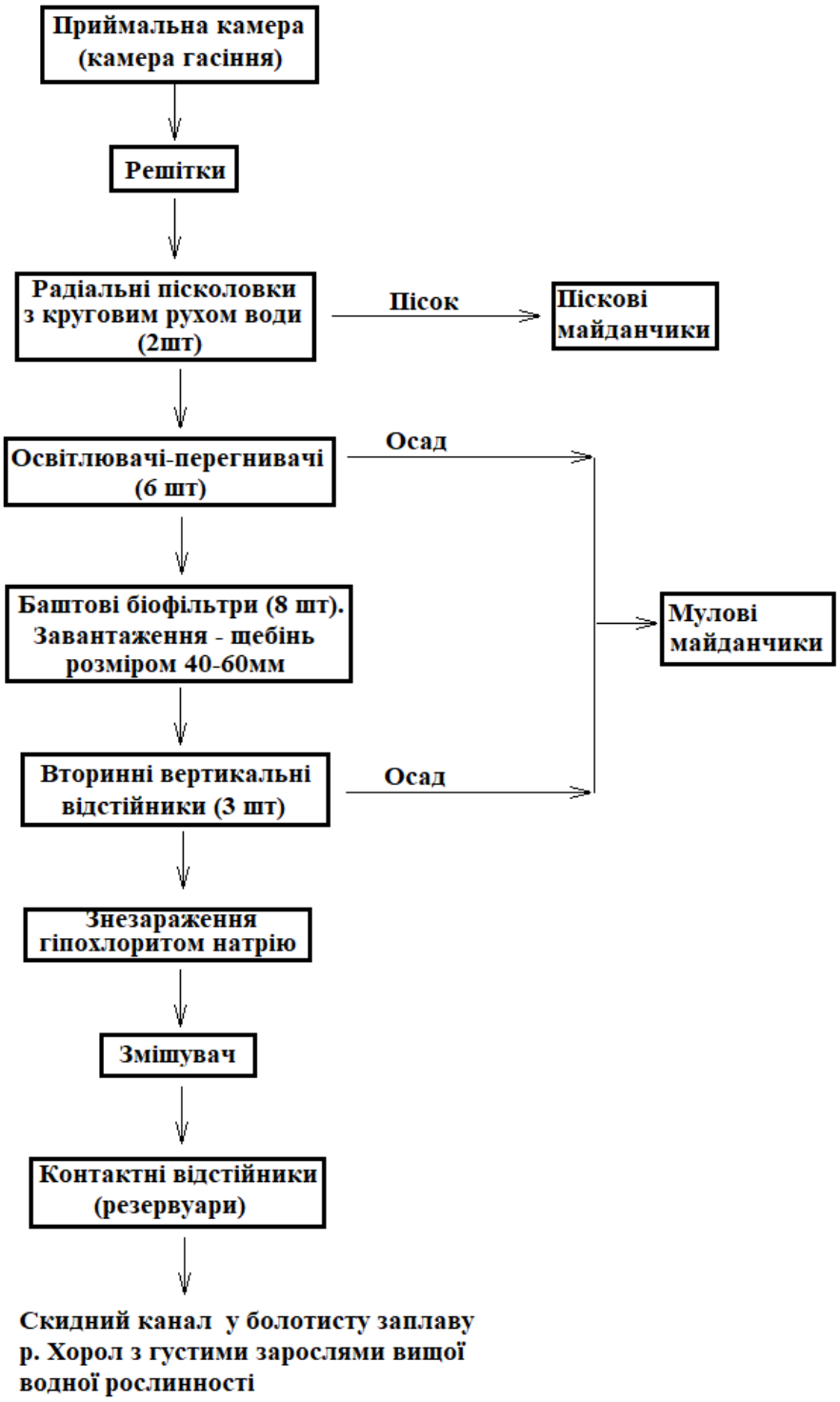


Рисунок 6.1 – Технологічна схема очистки стічних вод ХЗДПХ (до реконструкції)

Після гасіння в приймальній камері очисних споруд стічні води проходять попередню механічну очистку на решітках і пісколовках. На станції встановлено дві паралельно працюючі радіальні пісколовки з круговим рухом води. Далі через вимірювальний лоток «Вентурі» стічні води надходять в розподільну чашу, з якої подаються в освітлювачі-перегнивачі.

Таблиця 6.1

Гранично допустимий скид, встановлений для очисних споруд Хорольського заводу дитячих продуктів харчування

№	Показники складу	Одиниці	Концентрації забруднюючих
1	Завислі речовини	мг/дм^3	15
2	Азот амонійний	мг/дм^3	0,95
3	Нітрити	мг/дм^3	0,8
4	Нітрати	мг/дм^3	25
5	Фосфати	мг/дм^3	3,5
6	Залізо	мг/дм^3	0,54
7	Хлориди	мг/дм^3	831
8	Сульфати	мг/дм^3	160
9	Сухий залишок	мг/дм^3	2000
10	АПАР	мг/дм^3	0,5
11	ХПК	мг/дм^3	80
12	БПК$_П$	мг/дм^3	15
13	Нафтопродукти	мг/дм^3	0,05

Осад, що випав на дні освітлювача, подається насосом у верхню камеру перегнивача, де піддається зброджуванню. Освітлювачі-перегнивачі комбінуються у вузли з двох або чотирьох споруд. Природна аерація забезпечується різницею відміток в освітлювачі і розділюючій чаші, в результаті чого в воду засмоктується повітря з атмосфери. Потім вода послідовно надходить в камеру флокуляції та відстійну камеру, проходячи через завислий шар, що утворився.

На очисних спорудах Хорольського заводу дитячих продуктів харчування освітлювачі-перегнивачі встановлені відповідно до типового проекту 902-2-315 з розміром споруд d=12м, h=9,48м і розміром освітлювачів d=5м, h=7,75м, технологічний об’єм перегнивача – 540 м^3. На очисних спорудах встановлено два вузла освітлювачів-перегнивачів з кількістю споруд в вузлах 4 і 2 одиниці.

Освітлювач і перегнивач відокремлені один від іншого, це виключає можливість попадання зброджуваного осаду в зону освітлення і забезпечує зниження концентрацій зважених речовин в стічних водах на 70% і БСК$_п$ на 15%.

Для визначення ефективності роботи освітлювачів- перегнивачів були відібранні проби стічних вод до і після споруд. Результати хімічних аналізів представлені в табл. 6.2.

Рисунок 6.2 – Освітлювачі-перегнивачі Хорольського заводу дитячих продуктів харчування

Таблиця 6.2

Ефективність очищення стічних вод в освітлювачах-перегнивачах

Назва показника	Одиниці вимірювання	Стічна вода до освітлювачів-перегнивачів	Стічна вода після освітлювачів-	Ефективність очистки, %
Завислі речовини	мг/дм^3	330	180	46
ХСК кисню	мгО/ дм^3	730	310	58
БСК$_5$	мгО/ дм^3	200	120	40
Азот амонійний	мг/ дм^3	65,5	34	48
Хлориди	мг/ дм^3	536	326	39
Сульфати	мг/ дм^3	116	111	4
Сухий залишок	мг/ дм^3	1911	1800	6
Жири	мг/ дм^3	24	22	8
АПАР	мг/ дм^3	0,56	0,51	9

З результатів хімічних аналізів, представлених в табл. 6.2, видно, що вміст завислих речовин після споруди знизилося на 46%, в той час, як з літературних даних відомо, що споруди повинні забезпечувати зниження не нижче 70%, тобто освітлювачі працюють не досить ефективно з очищення від завислих речовин.

У 90-ті роки минулого століття з метою інтенсифікації роботи Хорольських очисних споруд була проведена їх реконструкція. З огляду на те, що спочатку в проекті очисних споруд не передбачалася примусова аерація і всі етапи очищення проходили в анаеробних умовах, було прийнято рішення про улаштування системи аерації. Так освітлювачі-перегнивачі були обладнані гідравлічною системою аерації. Аераційна система являє собою напірні труби, які підведені вертикально до дзеркала споруди (рис. 6.3). За допомогою циркуляційної насосної станції в труби подавалася очищена вода з резервуарів

після вторинних відстійників. Чотири гідравлічних аератора, встановлені на кожному освітлювачі-перегнивачі, під тиском періодично подавали потужні струмені води в спорудження. Разом з цим в об'єм споруди всмоктувалось повітря з атмосфери.

Рисунок 6.3 – Система аерації, що встановлена на освітлювачах-перегнивачах

Передбачалося, що подібне рішення дозволить насичувати стічну воду киснем і до того ж сприятиме змиву і перемішування осаду, що накопичується в застійних зонах споруд. Після удосконалення (рис. 6.4), згідно з новим проектом, освітлювачі-перегнивачі були перейменовані в аеротенки.

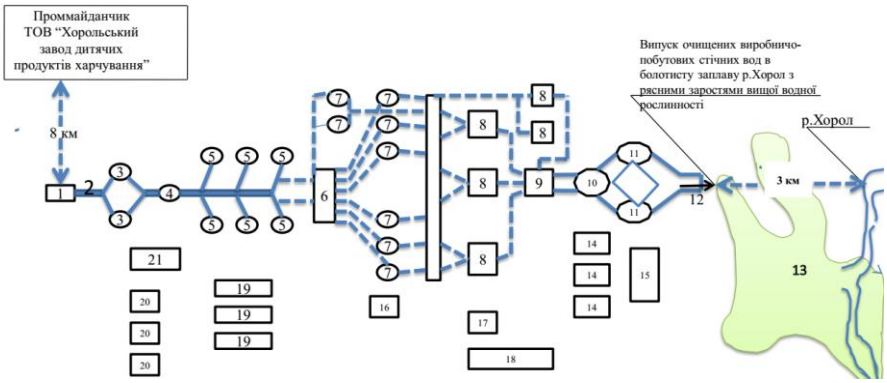


Рисунок 6.4 – Схема очисних споруд промислово-побутових стічних вод ТОВ «Хорольський завод дитячих продуктів харчування»: 1 – приймальний колодязь; 2 – вимірювальний лоток; 3 – пісковловлювач; 4 – розподільник; 5 – аеротенк; 6 – резервуар; 7 – біофільтри; 8 – вторинні відстійники; 9 – резервуар циркуляції з насосною станцією; 10 – йоржовий змішувач; 11 – контактні відстійники; 12 – скидний канал; 13 – болотиста заплава р. Хорол з рясними заростями вищої водної рослинності; 14 – мулові резервуари; 15 – циркуляційна станція; 16 – хлораторна; 17 – лабораторія; 18 – склад хлору; 19 – мулові майданчики; 20 – піскові майданчики

Після освітлювачів-перегнивачів стічна вода надходить у баштові біофільтри. На очисних спорудах ХЗДПХ встановлено 8 баштових біофільтрів з

використанням в якості завантаження щебеню з розміром 40-60мм. Висота біофільтрів – 16м, діаметр – 3м, висота завантаження – 15м (Рис. 6.5).

Рисунок 6.5 – Баштові біофільтри Хорольського заводу дитячих продуктів харчування

Хімічний аналіз проб стічної води до і після дозволив визначити ефективність роботи баштових біофільтрів. Результати наведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3

Ефективність роботи баштових біофільтрів

Назва показника	Одиниці вимірювання	Концентрації		Ефективність очистки, %
		до біофільтрів	після біофільтрів	
1	2	3	4	5
pH	од.pH	7,41	8,03	
Завислі речовини	мг/дм^3	180	235	збільшується
ХСК	мгО/дм^3	310	200	35
БСК$_5$	мгО/дм^3	120	140	збільшується
Азот амонійний	мг/дм^3	34	16,6	51
Нітрити	мг/дм^3	1,4	12,7	збільшується
Нітрати	мг/дм^3	0,8	99,4	збільшується
Фосфати	мг/дм^3	14,9	12,1	15
Сульфати	мг/дм^3	111	109	2
Сухий залишок	мг/дм^3	1800	1800	не змінилось
АПАР	мг/дм^3	0,51	0.16	69

Як видно з наведених результатів, концентрація завислих речовин після біофільтрів зростає до півтора разів. Разом з цим підвищується і значення БСК,

що свідчить про забивання завантаження біофільтра завислими речовинами. Змив і винос відмерлих мікроорганізмів в біофільтрах з об'ємним завантаженням один з найважливіших показників, що забезпечує стабільну роботу споруд. Однак, підвищене значення $БСК_5$ в стічній воді після біофільтрів говорить про те, що разом з відмерлою біоплівкою з споруд виносяться і живі мікроорганізми активного мулу, а це знижує окислювальну потужність споруд біологічної очистки.

Стічні води, що надходять на біофільтри, містять 180 мг/дм^3 завислих речовин, а з практики експлуатації подібних споруд рекомендований граничний вміст завислих речовин до 100 мг/дм^3 [41]. При перевищенні рекомендованих концентрацій замулення завантаження біофільтра неминуче. Очистка завантаження і роботи по відновленню споруди є дуже дорогим і трудомістким процесом, отже дуже часто вигідніше і зовсім замінити завантаження. Підвищений вміст завислих речовин в стічній воді, що надходить на біофільтри, свідчить про незадовільну роботу відстійних споруд, в даному випадку освітлювачів-перегнивачів.

Амонійний азот після біофільтрів знижується на 51%, одночасно з цим зростають концентрації нітритів і нітратів. Це говорить про протікання процесів нітрифікації, які характерні для біологічних очисних споруд, що працюють в безкисневих умовах. В якості біогенного елемента мікроорганізмами активного мулу використовується і фосфор, концентрація якого після баштових біофільтрів знижується на 15%. Також дані споруди забезпечують ефективну очистку від синтетичних поверхнево-активних речовин, концентрація яких знизилася на 69%. Концентрації сульфатів і хлоридів після біофільтрів не змінилася.

Важливим показником для стабільної роботи біофільтрів є активна реакція середовища. Так, наприклад, кислі стічні води підприємств молочної промисловості при скиданні на очисні споруди з біофільтрами можуть знизити pH до 4,5-5. Всі відібрані проби стічних вод, що надходять на очисні споруди (завод дитячого харчування, ветсанзавод, міські стічні води), мали нейтральні значення pH в межах - 6,5-8,5. Після усереднення в приймальній камері очисних споруд pH становило від 7,2 до 7,4. За час обстеження очисних споруд на біологічні фільтри стічна вода подавалася з активною реакцією середовища 8,2-8,3, що негативно на роботі біофільтрів не позначалося.

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити висновок, що біофільтри працюють на дуже низькому рівні майже за всіма показниками, а це вказує на те, що завантаження забите, немає повітропроникності і біоплівці фільтра не вистачає кисню повітря. Необхідно або почистити завантаження, або замінити його на площинне.

Після баштових біофільтрів стічна вода надходить у 3 вертикальні паралельно працюючі вторинні відстійники. Обсяг кожного відстійника складає 350 м^3. Споруда має конусоподібну конструкцію дна, що дає можливість відводити осад, що осів. Відкачування мулу з вторинних відстійників

здійснюється 2 рази на добу. Зміна якості стічних вод після відстійників представлена в табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Ефективність роботи вторинних відстійників

Назва показника	Одиниці вимірювання	Концентрації		Ефективність очистки, %
		перед вторинними відстійниками	після вторинних відстійників	
pH	од.pH	8,03	8,01	
Завислі речовини	мг/дм^3	235	153	35
ХПК	мгО/дм^3	200	154	23
БПК$_5$	мгО/дм^3	140	26	81
Азот амонійний	мг/дм^3	16,6	15,9	4
Нітрити	мг/дм^3	12,7	12,7	не змінилось
Нітрати	мг/дм^3	99,4	103,7	збільшилось
Фосфати	мг/дм^3	12,1	10,7	12
Сульфати	мг/дм^3	109	102	6
Сухий залишок	мг/дм^3	1800	1800	не змінилось
АПАР	мг/дм^3	0,16	0,15	6

Основне призначення вторинних відстійників полягає у відділенні стічної води від присутніх в ній біоплівки і нерозчинених завислих речовин. У більшості випадків ефект освітлення стічної води у відстійниках складає 40-60%. Вторинні відстійники заводу дитячого харчування забезпечують зниження завислих речовин на 35% і нижче. Це говорить про недостатньо ефективну роботу за цим показником. Крім того, огляд вторинних відстійників показав, що вони знаходяться в поганому будівельному стані – внутрішні стінки відстійників не гладкі, а штукатурка, що відвалилася, створює гідравлічний опір при відстоюванні завислих часток. За ДБН [42] необхідно один раз в 2-3 роки проводити огляд і приводити до ладу внутрішні стінки відстійника.

Відкачування осаду з вторинних відстійників здійснюється 2 рази на добу. При цьому на поверхні відстійників спостерігаються згустки спливаючого осаду. Необхідно відзначити, що утворення на поверхні відстійників спливаючій фракції – результат процесів бродіння і гниття осаду, що накопичився, а також поганої роботи баштових біофільтрів. Для поліпшення роботи відстійників рекомендується збільшити відкачування осаду з 2х до 3-4 разів на добу.

На ефективність роботи вторинного відстійника великий вплив має стан його внутрішньої поверхні, пошкодження якої погіршує осадження завислих домішок.

Площа внутрішньої поверхні двох вторинного відстійника складає 400 $м^2$.

Для відновлення внутрішньої поверхні вторинних відстійників використовується полімерцементна крупнозерниста ремонтна суміш Ceresit CD22, середня товщина шару розчинової суміші 5 мм (витрата – 2,0 $кг/м^2$ на 1 мм товщини шару).

Об'єм пошкоджених залізобетонних елементів конструкції вторинного відстійника складає 500 $дм^3$.

Для відновлення залізобетонних елементів конструкції вторинного відстійника використовується полімерцементна крупнозерниста ремонтна суміш Ceresit CD22 (2,0 $кг/дм^3$ заповнюваного об'єму).

Для інтенсифікації процесу осадження у вторинних відстійниках будуть встановлені тонкошарові модулі TUBEdek FS 41.84: 8 модулів розмірами 1х0,5х6м.

Після відстоювання стічні води знезаражуються гіпохлоритом натрію і відстоюються в контактних резервуарах. Очищені і знезаражені стічні води надходять в болотисту заплаву р. Хорол. У табл. 6.5 наведені результати хімічних аналізів стічних вод на виході з очисних споруд.

Таблиця 6.5

Ефективність роботи очисних споруд Хорольского заводу продуктів дитячого харчування

Назва показника	Одиниці вимірювання	Концентрації			Ефективність очистки, %
		надходять до ОС	виходять з ОС	ГДС для ОС	
pH	од.pH	7,41	8,03	не норм.	
Завислі речовини	$мг/дм^3$	330	96	15	71
ХПК	$мгО/дм^3$	730	77	80	90
$БПК_5$	$мгО/дм^3$	200	17	15	92
Азот амонійний	$мг/дм^3$	65	15,9	0,95	76
Нітрити	$мг/дм^3$	<0,03	12,4	2,0	збільшилось
Нітрати	$мг/дм^3$	1,38	81,2	25	збільшилось
Фосфати	$мг/дм^3$	12,4	10,6	3,5	15
Сульфати	$мг/дм^3$	116	102	300	12
Хлориди	$мг/дм^3$	536	800	830	збільшилось
Сухий залишок	$мг/дм^3$	1900	1720	2000	9
АПАР	$мг/дм^3$	0,56	0,15	0,5	73

З отриманих результатів видно, що комплекс біологічних очисних споруд забезпечує високу зниження органічних речовин по ГПК, БСК5, зважених речовинах, амонійного азоту і АПАР. Але навіть при такій ефективності зважені речовини перевищують ГДС в 6 разів, амонійний азот в 16 разів. Концентрації фосфатів в очищеній воді знижуються незначно в порівнянні з вступниками на очисні споруди. При цьому вміст фосфатів на виході з очисних споруд перевищує встановлений норматив в 3 рази. Для зниження фосфатів в очищеній воді, необхідно провести комплекс заходів, які описані в [3]. Утворилися в результаті процесу нітрифікації нітрити та нітрати також виходять за рамки ГДС, які складають по нітритам 2,0 і по нітратам 25 мг/дм^3.

Комплекс біологічних очисних споруд Хорольського заводу дитячих продуктів харчування сьогодні приймає обсяг стічних вод в три рази нижче своєї проектної потужності. Зниження гідравлічного навантаження з 3000 до 1000 м^3/добу. і зміна складу стічних вод, що надходять на споруди, призводить в першу чергу до неефективної роботи біологічних очисних споруд. Недостатнє очищення стічної води в освітлювачах-перегнивачах від завислих і органічних речовин також призводить до перевантаження баштових біофільтрів. Все це не завжди дозволяє забезпечити якість стічних вод на виході з споруд до пропонованих нормативів. Обстеження очисних споруд показало, що якість стічних вод перед випуском їх у водний об'єкт не відповідає встановленим нормативам по завислим речовинам, амонійному азоту, нітритам, нітратам, фосфатам, БСК$_5$.

6.2 Пропозиції по інтенсифікації роботи очисних споруд. Розподіл стічних вод по поверхні біофільтрів

Надійна робота біофільтра може бути досягнута тільки при рівномірному зрошенні водою його поверхні. Зрошення на Хорольському заводі дитячих продуктів харчування проводиться нерухомими розподільниками, що не забезпечує рівномірний розподіл води по поверхні біофільтра і вимагає значного напору. Авторами цієї роботи пропонуються реактивні зрошувачі з необхідним відносно невеликим напором (0,2-1 м), що є одним з переваг цього водорозподільника. Крім того, при реактивному зрошувачі відпадає необхідність в улаштуванні дозаторів. Діаметр отворів в радіально розташованих трубах приймається рівним 10-15мм, відстань між отворами збільшується від периферії до центру, що забезпечує більш рівномірне зрошення біофільтрів.

6.3. Особливості вентиляції біофільтрів на Хорольському заводі дитячих продуктів харчування

Для нормального функціонування біофільтрів необхідно забезпечити достатнє надходження кисню повітря. Кисень повітря, що потрапляє в тіло біофільтра, витрачається в основному на біологічне окислення частини забруднень, що не винесені з тіла біофільтра. Аналізуючи результати роботи баштових біофільтрів Хорольського заводу дитячих продуктів харчування, можна зробити висновок, що за час їх роботи, завантаження жодного разу не очищувалось і не промивалось. Так як цей процес дуже трудомісткий, повільний і дуже витратний, авторами пропонується замінити об'ємне завантаження (щебінь розміром 40-60 мм) на площинне завантаження (пластмасові блоки). Пластмасове завантаження коштує дорожче, ніж щебеневе і інші, але воно має свої переваги: менша замулюваність, кращий обмін повітря в них; висока швидкість руху стічної води в біофільтрі забезпечує постійний винос важкоокислювальних нерозчинених домішок і відмерлої біоплівки.

В даний час пластмасове завантаження для біофільтрів виготовляється як в Україні, та і за кордоном (Польща, Німеччина, Італія та ін. країни). Вони відрізняються не тільки за вартістю, але і за конструктивними особливостями, видами пластмас і т.д. Можна, вивчивши ринок пластмас, підібрати недороге і ефективне завантаження для біофільтрів (рис. 6.6).

а) б)

Рисунок 6.6 – завантаження для біофільтрів (BIODEK®):
а – плаваюче завантаження; б – площинне завантаження

6.4 Застосування технологічних прийомів для поліпшення роботи очисних споруд ТОВ «Хорольський завод дитячих продуктів харчування»

Для реконструкції станції очистки стічних вод ТОВ «Хорольський завод дитячих продуктів харчування» запропоновано поміняти об'ємне завантаження

біофільтра (щебінь крупністю 40-60 мм) на площинне (пластмасові блоки). В очікуванні фінансування реконструкції біофільтра, пропонується застосування технологічного прийому для поліпшення роботи очисних споруд, а саме – освітлювачів-перегнивачів і баштового біофільтра. Пропонується використовувати рециркуляцію очищених стічних вод з подачею їх на освітлювачі-перегнивачі і на баштовий біофільтр (рис. 6.7).

Подача (рециркуляція) стічних вод в кількості 10-20% (100-200 $м^3$/добу) на баштовий біофільтр сприятиме розбавленню очищених стічних вод, збільшить гідравлічне навантаження на біофільтр, одночасно, збільшить ефект очищення стічних вод. При рециркуляції набагато ефективніше працюють нижні шари біофільтра. Рециркуляцію очищених стічних вод, що містять біоплівку, можна подавати в освітлювачі-перегнивачі. Біоплівка буде не тільки сприяти очищенню вод, а й покращувати освітлення води.

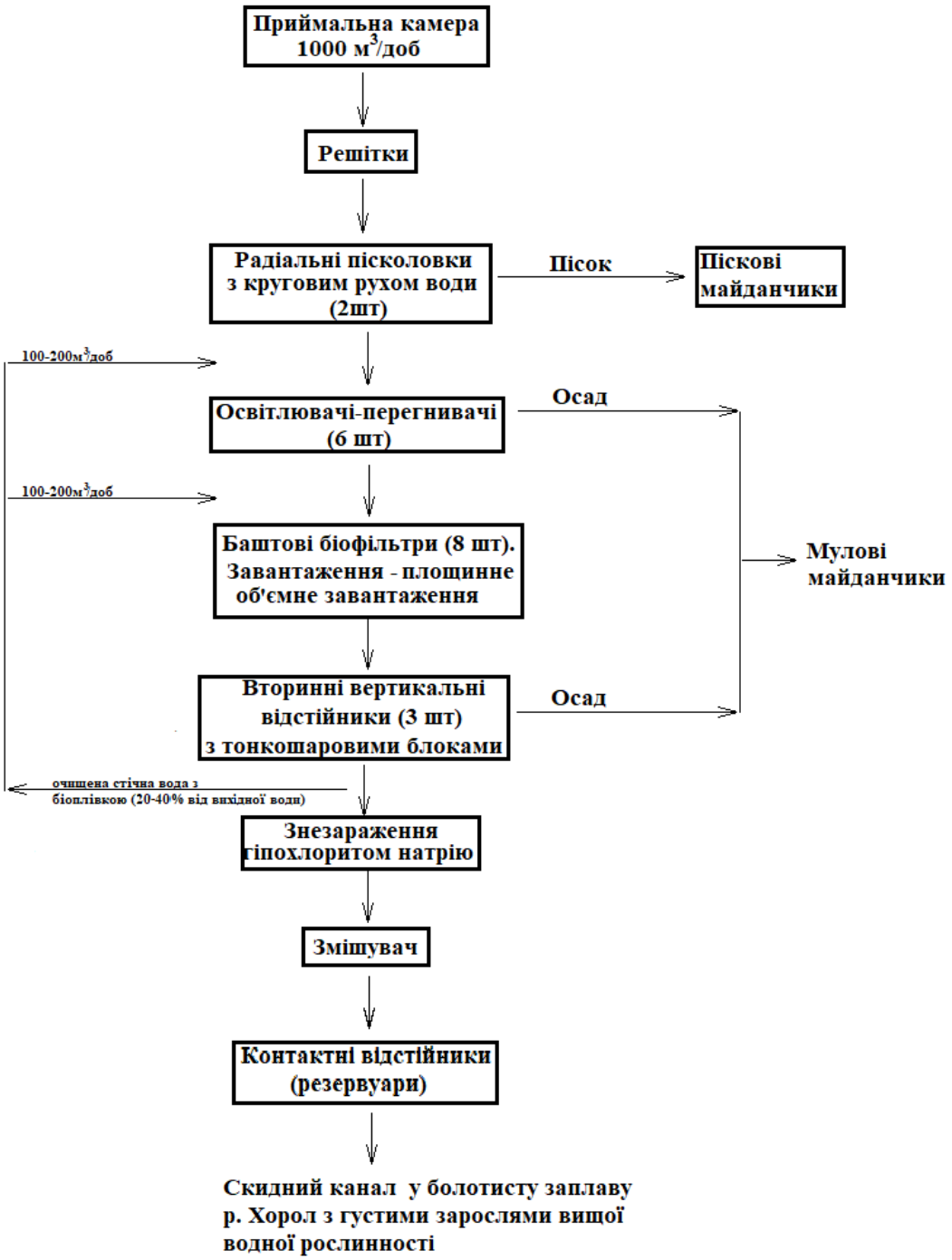


Рисунок 6.7 – Технологічна схема очищення стічних вод ТОВ «Хорольський завод дитячих продуктів харчування» (після реконструкції)

6.5. Реконструкція відстійників

Інтенсифікація роботи первинних відстійників може бути здійснена кількома способами:

1) вдосконаленням існуючих функцій відстійників в результаті модифікації водорозподільних та водозбірних пристроїв, що дозволяє поліпшити гідродинамічний режим роботи відстійників. За рахунок зниження струменевості потоку в робочій зоні продуктивність первинного відстійника збільшується в 1.5 рази;

2) обладнанням існуючих відстійників пластинчастими або трубчастими вставками для створення режиму тонкошарового (ламінарного) відстоювання. Такі вставки дозволяють збільшити пропускну здатність установки в 5-6 разів;

3) попередньої аерації стічних вод в поєднанні з біокоагуляцією;

4) інтенсифікацією процесу відстоювання шляхом застосування різних реагентів.

Дослідження гідравлічного режиму роботи горизонтального відстійника дозволило намітити основні шляхи зниження вихроутворення у придонній частини і скорочення довжини ділянки осадження, тобто збільшення пропускної здатності відстійника. З технічних прийомів особливо слід виділити розосереджений попутний відбір освітленої стічної рідини, який здійснюється системою розосередженого водозбору. При цьому додаткові водозливи встановлюють уздовж бічних стінок відстійника (приблизно на 60-70% його довжини).

Відведення деякої частини придонного потоку – близько 15% загальної витрати – з зони найбільшої концентрації забруднення дозволить підвищити роботу горизонтального відстійника приблизно на 30%.

Для більш ефективного видалення осаду в горизонтальних відстійниках старого типу рекомендується збільшити не менше ніж до 50 градусів кут нахилу стінок мулових приямків. У таких відстійниках, що не мають скребкових механізмів, можуть бути встановлені скребки на ланцюгах. Мул з відстійників можна видаляти за допомогою ерліфтного мулососу, встановленого на поперечній фермі, що рухається уздовж коридору.

У радіальних відстійниках за рахунок периферійного впуску стічної води ефект очищення збільшується на 20-30%. Пропускна здатність радіальних відстійників звичайної конструкції з центральним підведенням води при такому ж часу відстоювання збільшується на 30-60%. Розподільчим периферійним пристроєм радіального відстійника є кільцевої лоток з зубчастим водозливом або щілинними донними отворами. Периферійний водорозподільник спільно з напівзануреною перегородкою утворює з бортом відстійника кільцеву зону, де відбувається ефективне гасіння енергії вхідних потоків. Стічна рідина надходить в робочу зону відстійника через кільцевий простір, утворений нижньою кромкою напівзануреної перегородки і днищем. Очищена стічна рідина з радіальних відстійників з периферійним впуском води може відводитися двома шляхами. У першому випадку рідина видаляється безпосередньо через центральну трубу з вертикальними щілинними отворами; у другому – відводиться центральним кільцевим лотком, встановленим на відвідних трубах, з'єднаних з центральною трубою.

Радіальні відстійники можуть оснащуватися обертовими збірно-розподільними пристроями, в цьому випадку відстоювання відбувається практично в статичних умовах, внаслідок чого будівельний об'єм споруд скорочується в 2 рази. Подача і відбір води в цих відстійниках здійснюється обертовим жолобом, розділеним перегородкою на дві частини.

Для інтенсифікації роботи відстійників можна використовувати принципи тонкошарового відстоювання. За рахунок зменшення розмірів відстійників з'являється можливість розміщувати їх у приміщеннях і цим підвищувати ефект роботи. У приміщеннях забезпечуються більш високі і стабільні температури. Горизонтальні і вертикальні відстійники оснастити тонкошаровими модулями досить просто (рис. 6.8).

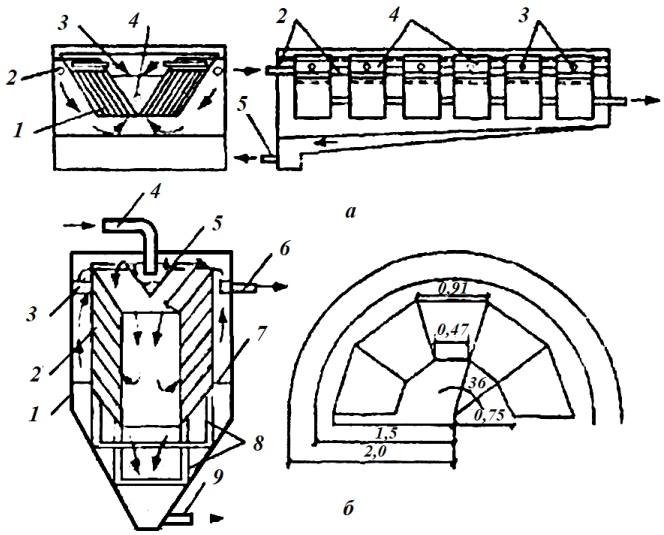


Рисунок 6.8 – Схема встановлення тонкошарових модулів у відстійниках: а – горизонтальному: 1 – пакети похилих пластин; 2 – перфорований впускний колектор; 3 – труби для відводу освітленої води; 4 – відвідний колектор; 5 – мулопровід; б – вертикальні: 1 – ємність; 2 – пакети похилих пластин; 3 – збірний жолоб; 4 – труба подачі вихідної води; 5 – конус для гасіння енергії струменя; 6 – відвідна труба; 7 – перегородка; 8 – опора; 9 -мулопровід.

Деякі труднощі виникають при оснащенні тонкошаровими блоками радіальних відстійників. Через обертання ферми тонкошарові модулі встановлюють по периферії перед водозбірними лотками, внаслідок чого пропускна здатність споруди збільшується в 1,5-2 рази. Тонкошарові модулі можуть мати різноманітний поперечний переріз (плоскопаралельний, трубчастий, у вигляді сот і т.д.) і виготовлятися з полімерних матеріалів, металу, азбестоцементу або скла.

Наприклад, на ринку України для первинних і вторинних відстійників пропонуються конструкції з полімерних матеріалів: водозливи, центральні стакани-відбивачі, напівзанурені дошки і тонкошарові модулі (пластинчасті і трубчасті) (рис. 6.9, 6.10). Добре зарекомендував себе на практиці гребінчастий

водозлив з полімеру для первинних і вторинних відстійників. Монтаж конструкцій можна робити протягом 3-4 днів без повного спорожнення відстійника. Така реконструкція відстійників дозволить: поліпшити рівномірність розподілу води по довжині водозбірного лотка; істотно вирівняти гідравлічні навантаження в групі відстійників і значно збільшити коефіцієнт використання об'єму; поліпшити показники якості очищення за завислими речовинами.

Рисунок 6.9 – Тонкошаровий модуль: 1 – самонесуча рама; 2 – пластини з полімерного матеріалу

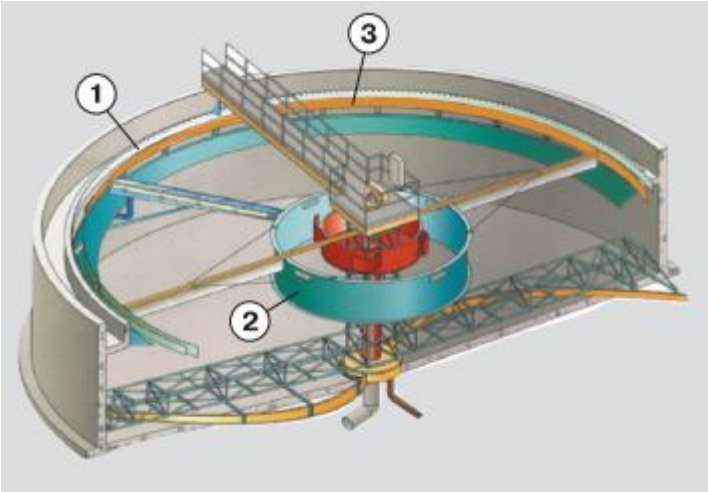


Рисунок 6.10 – Конструктивні елементи відстійників: 1 – гребінчастий водозлив; 2 – центральний стакан-відбивач; 3 – напівзанурена дошка

До переваг полімерних конструкцій можна віднести:
- тривалий термін експлуатації - більше 10 років;
- слабке обростання мікрофлорою;
- скорочення терміну монтажу;
- стійкість до ультрафіолетових променів;
- широкий діапазон робочих температур (від -40 °С до +85 °С).

Значно інтенсифікувати процеси первинного відстоювання дозволяють флотатори. Середня тривалість флотаційного освітлення 20-30 хв, при цьому до складу пінного концентрату, крім грубодисперсних, входять колоїдні і навіть

розчинені домішки. Обсяг шламу після флотаторів в 2-3 рази менше, ніж після відстоювання, завдяки меншій його важливості. Для підвищення ефективності роботи флотаторів можуть використовуватися коагулянти і флокулянти.

Найбільшого поширення набули напірні флотатори, які можуть застосовуватися в схемах локальної очистки виробничих стічних вод і міських очисних спорудах. Флотаторами видаляються найдрібніші частинки забруднень, оскільки є можливість отримати найдрібніші бульбашки повітря.

На напірних флотаторах можна очищати стічну рідину з концентрацією забруднень до 5 г/л і більше, при цьому обсяг флотаторів в 6-8 разів менше відстійників при однаковій пропускної здатності.

Інтенсифікація флотаційного освітлення може бути досягнута введенням в стічну рідину надлишкового активного мулу, який володіє сорбційними, коагуляційними властивостями, добре піддається флотації.

Суть методу полягає в тому, що у стічну рідину після обробки її на гратах і пісколовках вводять активний надлишковий мул і отриману суміш освітлюють флотацією. Процес освітлення здійснюється з використанням різних технологічних схем напірною флотацією: по прямоточній з прямим насиченням повітря частини витрати стічних вод (схема з поділом потоку), з рециркуляцією робочої рідини.

Насичення рідини повітрям можна здійснювати за допомогою ежектора, який встановлюється зазвичай на перемичці між напірною і всмоктуючою лініями насоса, а також за допомогою компресора, що нагнітає повітря в напірний бак тієї чи іншої конструкції.

Поліпшити роботу перенавантажених біофільтрів можна за допомогою ступінчастої біофільтрації (рис. 6.11) або включення в технологічну схему високонавантажуваного аеротенка-змішувача, розташованого перед біофільтрами (рис. 6.12).

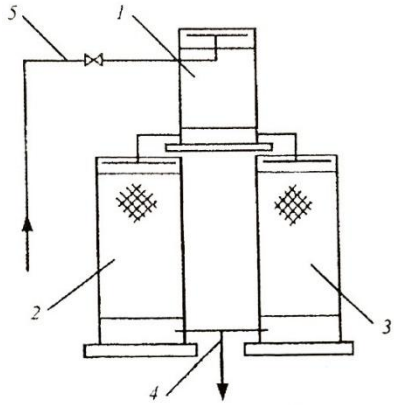


Рисунок 6.11 – Ступінчаста біофільтрація (вертикальна схема): 1 – біофільтр першої ступені; 2, 3 – біофільтри другої ступені; 4 – відвід вторинних стічних вод; 5 – подача неочищених стічних вод

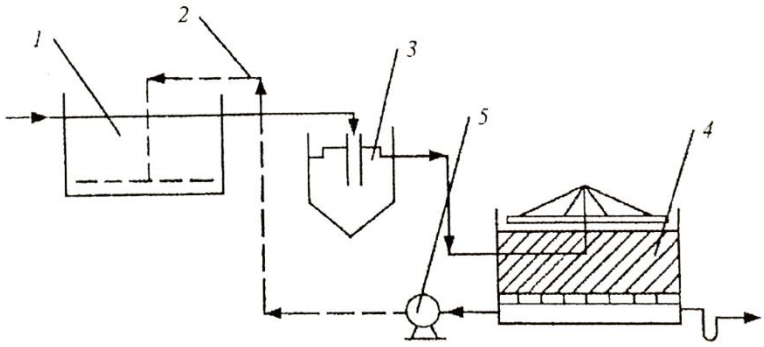


Рисунок 6.12 – Схема двоступінчастої очистки стічних вод з аеротенком перед біофільтрами: 1 – високонавантажуваний аеротенк; 2 – повітря; 3 – вторинний відстійник; 4 – біофільтр; 5 – повітродувка

Задачею аеротенка-змішувача є зниження концентрації органічних домішок у воді, що надходить на завершальний етап біологічної очистки.

В якості аеротенка першої ступені використовуються аеротенки-відстійники, аеротенки-освітлювачі, а також аеротенки з окремо розташованим вторинним відстійником. Аеротенки першої ступені можуть бути обладнані механічними, струменевими або пневматичними аераторами.

В останньому випадку забір повітря, що подається в аеротенки, доцільно проводити з міждонному просторі біофільтрів, що забезпечить спадний рух повітря в системі біофільтр-аеротенк.

Можлива технологічна схема двоступеневої біологічної очистки стічних вод з аеротенком після біофільтрів (рис. 6.13).

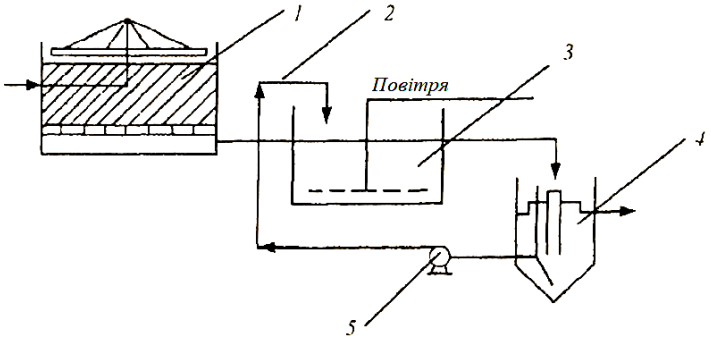


Рисунок 6.13 – схема двоступеневої біологічної очистки стічних вод з аеротенках після біофільтрів: 1 – біофільтр; 2 – зворотній активний мул; 3 – аеротенк; 4 – вторинний відстійник; 5 – насос

Будівництво аеротенків другого ступеня в оповнення до існуючих біофільтрів в багатьох випадках здійснити простіше, ніж будівництво їх перед біофільтрами. У аеротенки другої ступені подається неосвітлена вода після біофільтрів, а існуючі вторинні відстійники використовуються для відділення від очищеної води активного мулу. З огляду на те, що тривалість вторинного відстоювання стічних вод після аеротенків повинна бути не менше двох годин,

одночасно з будівництвом аеротенків в більшості випадків потрібне деяке розширення вторинних відстійників.

Реагентна інтенсифікація застосовується при гравітаційному і флотаційному освітленні міських і виробничих стічних вод. В якості коагулянтів можуть бути використані солі алюмінію (сульфат алюмінію, алюмінат натрію, оксихлорид алюмінію) або солі заліза (хлорид заліза, залізний купорос, сульфат заліза).

Доза коагулянту залежить від вмісту в стічній рідині твердих домішок. При концентрації їх до 100 мг/л доза безводного коагулянту становить 25-35 мг/л, при збільшенні концентрації до 2200-2500 мг/л доза коагулянту збільшується до 90-130 мг/л.

В останні роки намітилась тенденція виготовлення коагулянтів з промислових відходів, що поряд з інтенсифікацією и здешевленням освітлення стічних вод дозволяє утилізувати промислові відходи. Застосування реагентів з метою інтенсифікації роботи споруд механічного очищення стічних вод є особливо ефективним на перенавантажених за кількістю стічних вод і забруднень очисних спорудах, а також при очищенні суміші міських стічних вод з великою кількістю виробничих.

Одночасно треба враховувати, що реагентна обробка стічних вод пов'язана з використанням дефіцитних реагентів, з будівництвом реагентного господарства. Це призводить до суттєвого збільшення кількості осадів, що утворюються як по сухій речовині, так і за обсягом. Тому рішення про застосування реагентів для інтенсифікації очищення стічних вод на діючих спорудах повинно ґрунтуватися на всебічному аналізі ситуації.

При необхідності реконструювання первинних відстійників необхідно, перш за все, оцінити здатність до осадження завислих речовин. З цією метою доцільно побудувати графік, криві якого охарактеризує кінетику осадження завислих речовин при освітленні стічних вод в статичних умовах. Подібний графік дає можливість розрахунковим шляхом оцінити очікуваний ефект освітлення стічних вод в реальних умовах, в тому числі з тонкошаровими елементами.

ГЛАВА 7.

Реконструкція цеху обробки осадів каналізаційних очисних споруд

ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», виконуючи рекомендації Гельсінкської комісії із захисту Балтійського моря від забруднення, здійснює реалізацію програми по утилізації осадів стічних вод [12]. Основним результатом робіт в цьому напрямку є введення в експлуатацію трьох заводів зі спалювання осаду – на Центральній станції аерації (ЦСА), Північній станції аерації (ПСА) і Південно-Західних очисних спорудах (ПЗОС). Пуск цих заводів є необхідною, але недостатньою умовою утилізації осадів. Очисні споруди передмість Санкт-Петербурга мають невелику продуктивність, тому будівництво заводів спалювання опадів для них є економічно недоцільним. З цієї причини в даний час в системах обробки осадів стічних вод в передмістях передбачені стадії ущільнення, механічного зневоднення та зберігання в бункерах-накопичувачах, з яких кек направляється автомобільним транспортом на утилізацію на заводи спалювання. Так, введені в експлуатацію системи зневоднення осадів на каналізаційних очисних спорудах в м. Кронштадт [13], м. Пушкіно [14], м. Колпіно.

7.1. Реконструкція та модернізація каналізаційних споруд

Прикладом виконання аналогічних робіт є впровадження системи зневоднення осадів стічних вод на каналізаційних очисних спорудах у м Петергоф. Реалізація проекту здійснювалася з одночасною реконструкцією очисних споруд, що забезпечила глибоке очищення стічних вод від органічних забруднень, завислих речовин і біогенних елементів (рис. 7.1) [3]. Це дозволило значно скоротити скидання забруднюючих речовин, включаючи азот і фосфор, в Фінську затоку. Так, скидання загального азоту зменшилось на 48,3% у порівнянні з показниками п'ятирічної давності (до початку реконструкції). Реальне зниження скидання загального фосфору склало 84% за той же проміжок часу. Для нової технології розроблено проект і здійснено впровадження автоматизованої системи управління технологічним процесом.

В результаті реконструкції і модернізації каналізаційних очисних споруд м. Петергоф досягнуто наступні показники очищених стічних вод (відповідно до рекомендацій ГЕЛКОМ), мг/л: завислі речовини <5,2; $БСК_5$ 3,7; загальний азот 5,5; загальний фосфор <0,5.

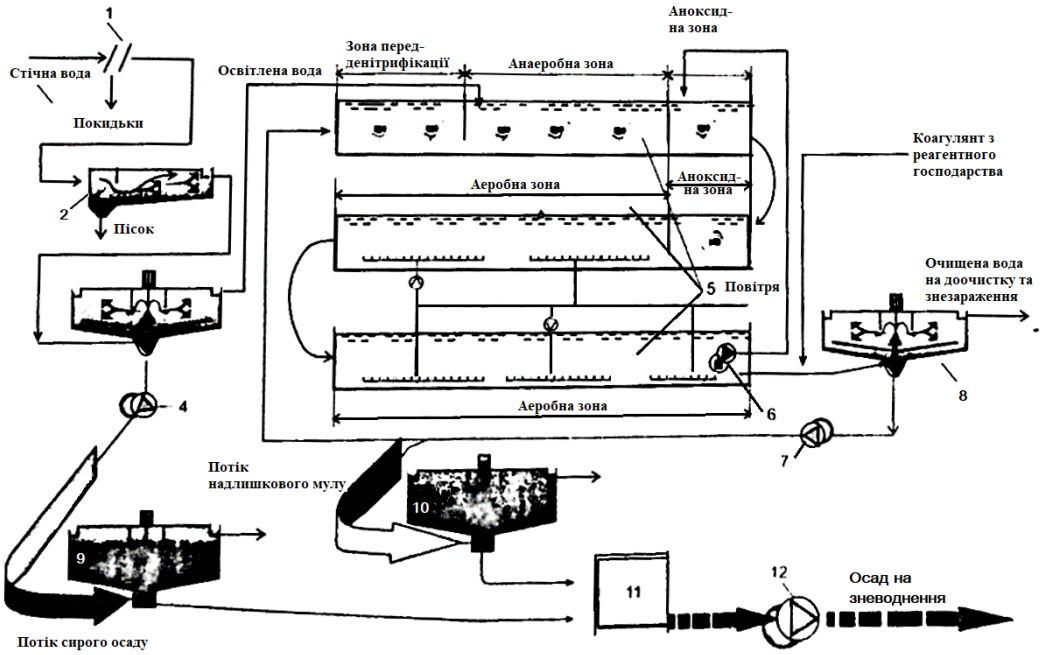


Рисунок 7.1 – Технологічна схема очистки стічних вод після реконструкції каналізаційних очисних споруд м. Петергофа: 1 – решітки; 2 – пісколовки; 3 – первинні відстійники; 4 – насосна станція осаду первинних відстійників; 5 – секція аеротенків; 6 – насосна станція рециркуляції нітратовмісної мулової суміші; 7 – насосна станція рециркуляції активного мулу; 8 – вторинні відстійники; 9 – ущільнювачі осаду первинних відстійників; 10 – ущільнювачі надлишкового мулу; 11 – камера змішування; 12 – насосна станція ущільненого мулу

Відкачування осадів з первинних відстійників до реконструкції здійснювалось насосами НН-50/25. З огляду на позитивний досвід їх експлуатації, прийнято рішення не змінювати модель насосів, а провести реконструкцію системи трубопроводів та арматури. Регулювання продуктивності модернізованої насосної станції здійснюється зміною частоти обертання робочого колеса насоса. При цьому реалізується новий спосіб відбору осадів: для визначення оптимальної продуктивності насосної станції сирий осад забирається по черзі з приямка відповідного первинного відстійника і перекачується в ущільнювач сирого осаду.

На етапі налагодження системи для даних осадів з первинних відстійників експериментально встановлено взаємозв'язок нижніх граничних значень частоти обертання робочого колеса з продуктивністю насоса. В процесі експлуатації за встановленою залежності і заданої продуктивності насоса обчислюється нижнє граничне значення частоти обертання. Реальна частота обертання робочого колеса порівнюється з отриманими наведеними граничними значеннями і при виході її за межі цих значень насос вимикається або переводиться на відкачку осадів з інших відстійників.

7.2 Реконструкція та модернізація відділення обробки осадів стічних вод

В камеру змішування подаються окремо ущільнені осади: сирий осад первинних відстійників і надлишковий мул після вторинних відстійників (рис. 7.1). Окремо ущільнені осади надходять в резервуар шламу системи обробки осадів (рис. 7.2). Характеристика шламу представлена в табл. 7.1.

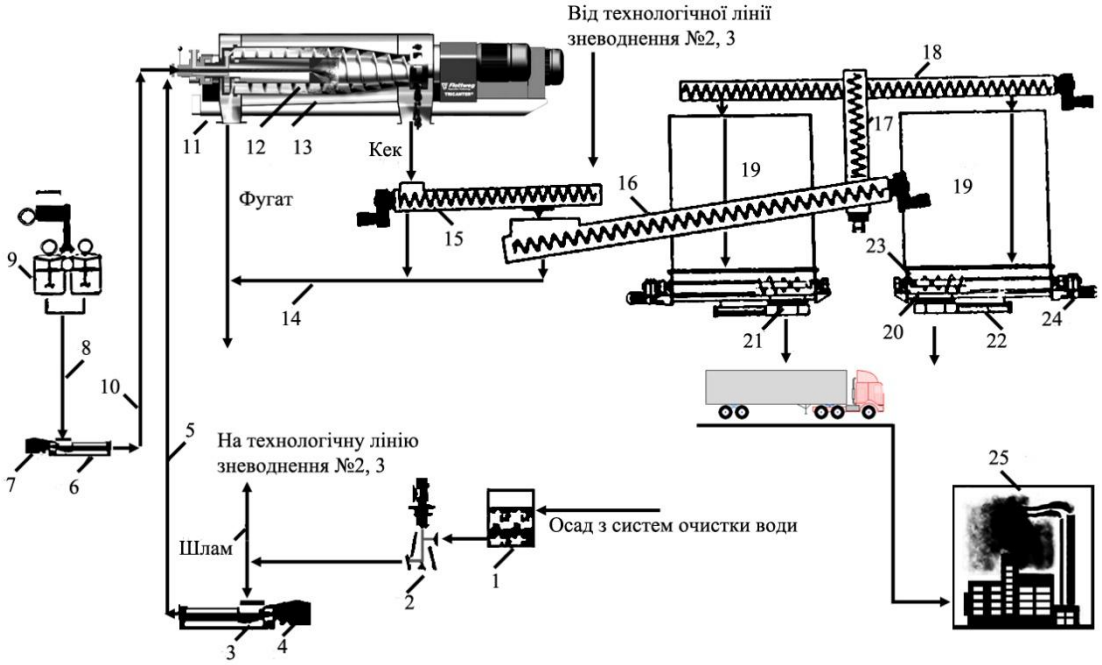


Рисунок 7.2 – Технологічна схема обробки осадів стічних вод після реконструкції каналізаційних очисних споруд м. Петергоф

Таблиця 7.1

Характеристика шламу

Параметр	Значення
Співвідношення сирого осаду з первинних відстійників і надлишкового мулу (по масі сухої речовини)	72/28
Вологість шламу, %	92,10-97,9 (середнє 95,45)
Зольність шламу, %	30-45

За результатами пілотних випробувань для зневоднення осадів була обрана центрифуга 24е-4/454 фірми «Флотгвег» (рис. 7.3), основні паспортні характеристики якої наведені в табл. 7.2.

Рисунок 7.3 – Загальний вигляд центрифуг вузла зневоднення осадів

Таблиця 7.2

Основні паспортні характеристики центрифуг

Параметр центрифуги	Значення
Довжина, мм	3500
Ширина, мм	1000
Висота, мм	1200
Загальна маса, кг	3000
Внутрішній діаметр барабана, мм	300
відношення довжини до діаметру	4
Максимально допустима номінальна швидкість обертання барабану, об/хв	4200
Мінімальна/максимальна пропускна здатність, $м^3$/год	15/20
Тип головного приводу	Асинхронний, трьохфазний
Тип допоміжного приводу	Асинхронний, трьохфазний Flottweg SIMP-DRIVE
Потужність, кВт: головного приводу допоміжного приводу	 22-37 75

В ході випробувань встановлено, що збільшення концентрації кеку досягається за рахунок спеціальної конструкції ротора центрифуги 24E-4/454 («барабан з глибоким ставком», «подвійний конус») і підтримки високого обертального моменту, що створюється шнеком. Ефективність автоматизованого процесу зневоднення осадів залежить від дози флокулянта і

якості змішування розчину флокулянта (місця введення). Останнє забезпечується застосуванням спеціальної змішувальної труби, в якій осад і розчин флокулянта перемішуються перед подачею в зону розділення в центрифузі.

Робота вузла зневоднення повністю автоматизована до рівня запуску установки. При цьому система автоматизованого регулювання забезпечує максимально можливу концентрацію кеку за рахунок управлінського рішення щодо межі зміни – різниці в швидкостях обертання ротора і шнека центрифуги. Ці межі обмежуються значеннями комплексного зведеного параметру – крутного моменту *M* на валу шнека. Необхідну різницю швидкостей dN створює двухредукторний електропривод Flottweg SIMP-DRIVE, що забезпечує мінімальну вологість кеку незважаючи на коливання концентрації і властивості шламу віддавати вологу, що надходить на зневоднення. Управлінське рішення при експериментально встановленій оптимальній дозі флокулянта виражається у вигляді залежності $dN=f(M)$ і реалізується за допомогою системи автоматизованого управління. Технологічні показники роботи вузла зневоднення наведені в табл. 7.3.

Таблиця 7.3

Технологічні показники роботи вузла зневоднення

Параметр	Значення
Фактична продуктивність вузла зневоднення, $м^3$/год	12
Вологість кеку, %	72.5-75,2 (середнє 73,4)
Витрата флокулянту, кг/т за сухою речовиною	5
Ефективність затримання сухої речовини, %	99.7

Через низьку вологості осаду, одержуваного після центрифуги Z4E-4/454, його вивантаження в автотранспорт за існуючою схемою із застосуванням трубопровідного транспорту з високонапірними і енергоємними насосами визнана економічно неефективною. Тому на очисних спорудах застосовується відпрацьована в ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» схема транспортування зневоднених опадів в бункер-накопичувач з застосуванням завантажувальних і транспортних пристроїв зневодненого шламу – спіральних конвеєрів. Перший з них горизонтально розташований під центрифугами. Кек від кожної центрифуги потрапляє на конвеєр під дією сили тяжіння.

Розвантажувальний вузол включає в себе два бункера-накопичувача, обладнаних завантажувальним пристроєм у вигляді похилого спірального конвеєра і реверсивного спірального горизонтального конвеєра. Пристрій розташований над бункерами з можливістю подачі шламу з похилого спірального конвеєра. Кожен бункер обладнаний розвантажувальним днищем, що містить два розвантажувальних отвори зі встановленими на них пристроями

перекриття, а також чотирма горизонтальними шнеками з приводами для транспортування зневодненого шламу в розвантажувальний отвір.

З метою підвищення надійності, горизонтальні шнеки структурно резервовані і мають незалежні приводи. Вони виготовлені у вигляді валу і прикріпленої до нього спіралі і лопаток, встановлених перпендикулярно осі обертання, причому спіраль прикріплена на ділянках валу за межами площі розвантажувального отвору, а лопатки – на кінцях валу і в межах площі розвантажувального отвору. Завантажувальний пристрій дозволяє подавати зневоднений шлам в бункер, в зону дії горизонтальних шнеків. При цьому розвантажувальні отвори розташовані в межах площі розвантажувального днища в кінці робочої зони горизонтальних шнеків. Розмір отворів в поперечному перерізі становить не менше 400 мм (для запобігання зависання осаду).

Для зручності розвантаження кеку, пристрій перекриття дозволяє частково відкривати розвантажувальний отвір. При його розробці враховувалась вимога до безперебійності роботи в момент розвантаження, так як неможливість закриття розвантажувального отвору в момент розвантаження в автомобіль (наприклад, при припиненні подачі електроенергії) призвело б до неконтрольованої ситуації. Тому для пристрою перекриття передбачені пневмоприводи з пневмоакумуляторами у вигляді ємності зі стисненим повітрям (рис. 7.2, 7.4-7.7).

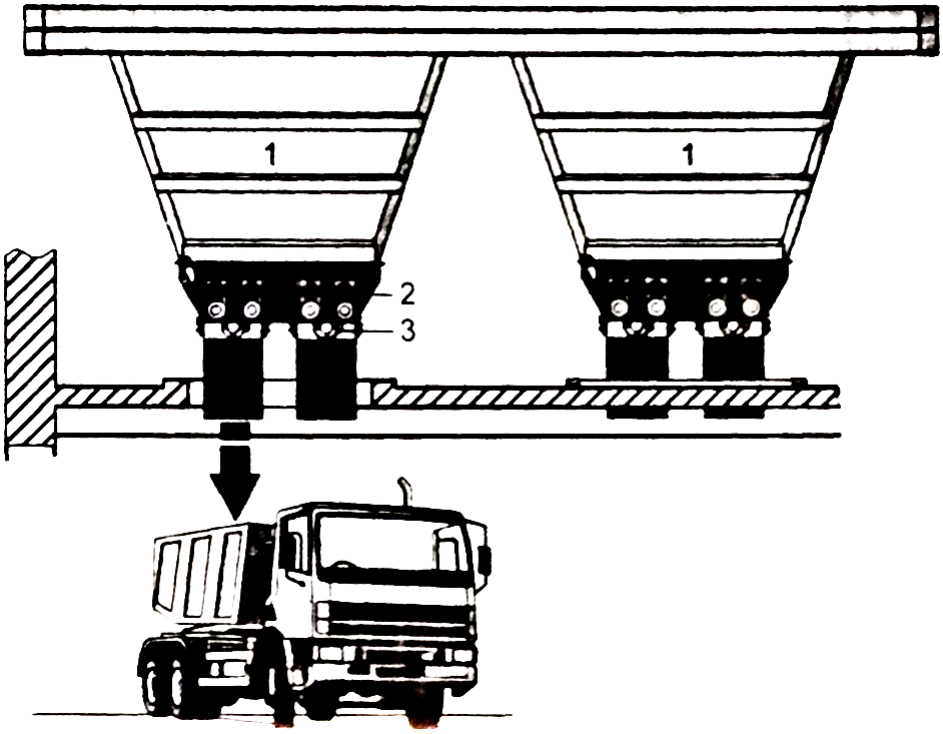


Рисунок 7.4 – Розвантажувальний вузол:
1 – бункери-накопичувачі; 2 – незалежні приводи шнеків; 3 – пристрої перекриття

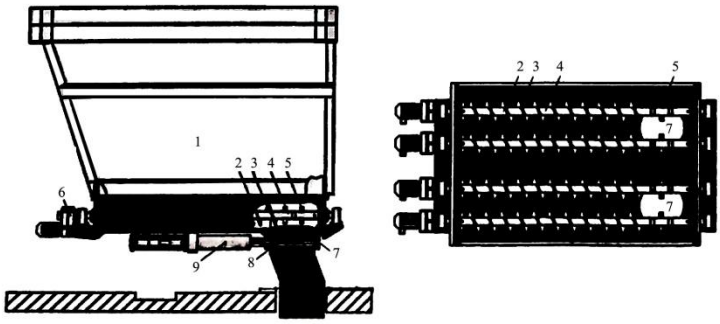


Рисунок 7.5 – Конструктивна схема розвантажувального вузла:
1 – бункер накопичувач; 2 – шнеки; 3 – спіраль; 4 – вал шнеків; 5 – лопатки; 6 – незалежні приводи шнеків; 7 – розвантажувальний отвір; 8 – пневмопривод пристрою перекриття

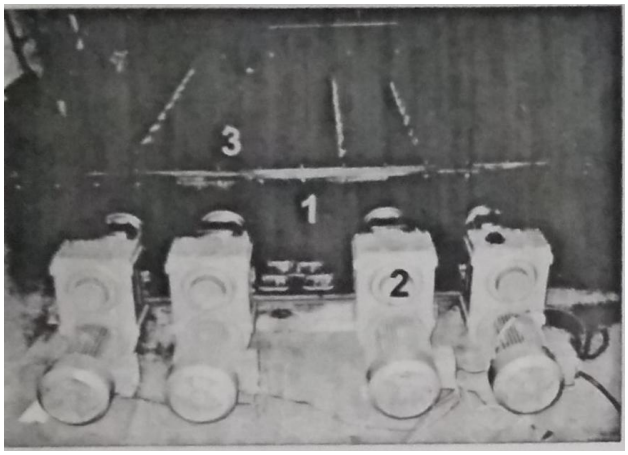


Рисунок 7.6 – Розвантажувальне днище бункера-накопичувача на етапі заводських випробувань: 1 – корпус; 2 – приводи шнеків; 3 – шнеки

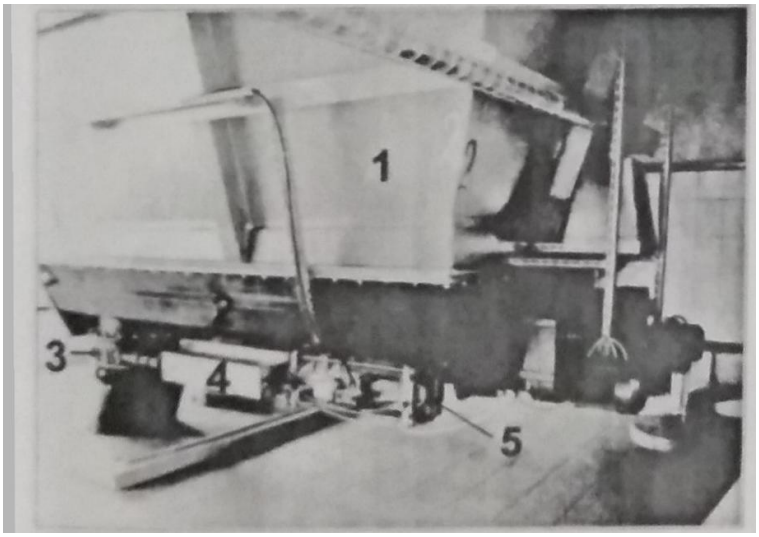


Рисунок 7.7 – Загальний вигляд бункера-накопичувача:
1 – бункер; 2 – розвантажувальне днище; 3 – приводи шнеків; 4 – пристрій перекриття; 5 – пневмопривод пристрою перекриття

Після реконструкції цеху обробки осадів стічних вод на каналізаційних очисних спорудах м Петергофа вологість зневоднених осадів становить 72,3-75.2% (ефективність затримання сухої речовини 99,7%). Для транспортування зневоднених опадів автомобільним транспортом на заводи спалювання влаштований розвантажувальний вузол, що включає бункери-накопичувачі, обладнані розвантажувальним днищем, що містить розвантажувальні отвори з пристроями перекриття, а також горизонтальні шнеки з приводами для транспортування зневоднених осадів в розвантажувальні отвори. Досвід експлуатації показав, що високий рівень автоматизації технологічного процесу зневоднення осаду дозволив максимально скоротити ручну працю.

Фахівці різних країн, що займаються проблемами обробки води, стикаються з одними і тими ж питаннями:

- забезпечення всього живого на нашій планеті чистою і приємною на смак питною водою;

- надання цій сировині, без якої неможливий розвиток цивілізації, властивостей, необхідних для кожного виду застосування;

- скид відпрацьованої води в природне середовище, не завдаючи йому шкоди, і можливість подальшого використання скидів;

- переробка шламів і відходів, що надходять з різних установок з очищення води, з тим, щоб вони були корисними або, принаймні, нешкідливими для навколишнього середовища.

Water Treatment: Handbook
by Degremont (1979)

ГЛАВА 8.

Реконструкція газгольдерів у великих містах світу – Відні та Лондоні

8.1 Газгольдери в очистці стічних вод

Процес бродіння осадів у метантенках супроводжується розпадом беззольної речовини з виділенням продуктів розпаду в газ і мулову воду.

Для збирання, зберігання і подальшого використання газу використовують газгольдери. Враховуючи нерівномірність виходу газу з метантенку, з метою максимального його використання на очисних спорудах встановлюють мокрі одно- або багатоланцюжкові газгольдери, що дозволяють підтримувати постійний тиск у газовій мережі. Об’єм газгольдерів приймають відповідно до графіку виходу та споживання газу. Встановлюють газгольдери зазвичай на тупиковому відгалужені газової мережі. Мокрі газгольдери приймають за типовими проектами (табл. 8.1).

Розрахунковий тиск газу під куполом газгольдерів складає 150-400 мм. вод. ст.

Відстань від газгольдерів до котельні та інших приміщень повинно бути не менше 30м і не менше висоти димової труби, до внутрішніх доріг очисної

станції – не менше 20м, відстань між газгольдерами – не менше 0,5 суми їх діаметрів.

Таблиця 8.1

Основні дані та типові проекти газгольдерів

Номер типового проекту	Об'єм газгольдера, м^3	Внутрішній діаметр, мм		Висота, мм			Витрата металу, т
		резервуару	купола	газгольдера	резервуара	купола	
7-07-01/66	100	7400	6600	7450	3450	3400	14,0
7-07-02/66	300	9300	8500	12500	5920	6880	25,0
7-07-03/66	600	11480	10680	15400	7390	7610	41,4
7-07-2-5	1000	14500	13700	15400	7390	7610	53,0
7-07-2-6	3000	21050	20250	20100	9800	9900	126,0
7-07-2-7	6000	26900	26100	24200	11750	12050	192,0

8.2 Реконструкція газгольдерів у Відні та Лондоні

Віденські газгольдери (рис. 8.1) – досить незвичайна і не сильно відома пам'ятка Відня.

Рисунок 8.1 – Віденські газгольдери

У період з 1899 по 1975 рік ці чотири промислових будівлі використовувалися для опалення міста: це були газові резервуари і в них зберігався газ, який потім надходив в будинки жителів Відня. В роботі газгольдерів використовувався коксовий газ. У 70 х роках коксовий газ був визнаний шкідливим для екології через високий вміст окису вуглецю і місто повністю перейшло на використання природного газу, який крім інших переваг ще і вимагав набагато менших резервуарів для зберігання. У 1984 році газгольдери були остаточно закриті.

Газгольдери є чотирма циліндричними телескопічними газовими резервуарами, об'єм кожного з яких приблизно дорівнює 90 000 м³. Кожний з газгольдерів має висоту 70 метрів і діаметр 60 метрів.

Місто Відень, як власник будівель, був зацікавлений у відродженні цих пам'ятників промислової архітектури. В 1995 році був оголошений конкурс на кращі ідеї для перепланування. У підсумку перемогла ідея змішаного використання будівель, тобто комплексу з житлових, офісних і торгових будівель, кінотеатру і студентського житла. Розробка проекту кожного з газгольдерів була доручена чотирьом різним архітекторам. Від колишніх промислових підприємств залишилися тільки цегляні стіни і дах – весь внутрішній вміст було видалено. Офіційне відкриття комплексу відбулося в жовтні 2001, але заселятися він почав ще в травні 2001. Зараз вони займають приблизно 220 тис. кв. м. площі і в них живе близько 1500 осіб, це свого роду місто в місті. Житловий комплекс має свою назву – Gasometer City, а початкове він називався G-town.

Газгольдер А – проект французького архітектора Жана Нувеля. Будівля розташована неподалік від гілки метро, житлові квартири починаються приблизно з висоти 30м.

Газгольдер В – проект архітектурного бюро Кооп Гіммельблау, найвідоміший. Його особливістю є впритул розташована, неначе надламана 18-ти поверхова будівля, яка називається Shield (Щит). 4-5 поверхи займає студентський гуртожиток.

Газгольдер С – проект віденського архітектора Манфреду Ведорна. Будова С і D з'єднується скляним переходом «Skywalk».

Газгольдер D – проект австрійського архітектора Вільгельма Хольцбауера.

В межах газгольдерів функціонують концертний зал, що вміщає 2000-3000 чоловік, кінотеатр, муніципальний архів та кілька інших установ.

Поруч з газгольдерами розташувалися не менше оригінальні житлові будинки зеленого кольору, які здаються скошеними.

Ще одним прикладом редевелопменту споруд, аналогічних Віденським газгольдерам, є перетворення Лондонських газгольдерів (рис. 8.2) у елітні апартаменти.

Знакові споруди були побудовані у 1850-х роках у одному з районів Лондона King's Cross у складі газового заводу Pancras. Газгольдери залишалися у користуванні до кінця 20 століття і були остаточно виведені з експлуатації в 2000 році. Коли відбулася регенерація King's Cross, газгольдери № 8, 10, 11 і 12

були демонтовані і відвантажені по шматкам інженерам Shepley в Йоркширі. Щоб відновити газгольдер №8, знадобилося два роки, а в 2013 році він повернувся до King's Cross і був відтворений по черзі у своєму новому будинку на березі каналу.

Рисунок 8.2 – Лондонські газгольдери

Інші газгольдери також знайшли своє призначення. Трійка газгольдерів обрамляють житлові будинки, проект яких розробила і втілила у життя компанія WilkinsonEyre.

ГЛАВА 9.

Реконструкція об’єктів як метод посилення систем

Основні об’єкти водопровідних і водовідвідних систем розраховані на тривалий період експлуатації, протягом якого початкові умови їх функціонування цілком закономірно змінюються. Виникає невідповідність між фактичними умовами та виробничими можливостями, що негативно означається на якості експлуатації. Погіршення екологічної обстановки вимагає коригування технологічних схем очищення води і стічних вод. Зростання кількості абонентів приводить до гідравлічного перевантаження всіх основних об’єктів водопостачання і водовідведення, невиконання ними своїх функцій і т. д. Зміна деяких природних чинників здатна знизити надійність окремих споруд. Наприклад, при збільшенні каламутності річкової води, активізації ерозійної діяльності річок, зниженні статичного рівня підземних вод порушується робота водозаборів, що призводить до відмов у їх роботі.

Поліпшення таких показників якості експлуатації, як економічність і безпека персоналу, нерідко досягається зміною конструкцій або технологічних схем споруд.

Обов’язковою умовою проведення робіт по посиленню є їх обґрунтованість, оскільки дуже часто причини невиконання об’єктами своїх функцій пояснюються елементарними помилками в експлуатації. Так, гідравлічне перевантаження водопроводу може бути пов’язане з відсутністю належного обліку витрат води і великими витоками систем водовідведення – з неконтрольованою інфільтрацією ґрунтових вод в безнапірні колектори. Цілком очевидно, що виникаючі проблеми слід вирішувати не посиленням систем, а поліпшенням експлуатаційного процесу.

Слід об’єктивно оцінити технічний стан і виробничі можливості об’єктів з урахуванням зносу. З цією метою проводиться їх обстеження, уточнення габаритів, а в необхідних випадках – спеціальні дослідження: визначення гідравлічних опорів трубопроводів, коефіцієнтів використання обсягів відстійних споруд, дебітів водозабірних свердловин. Іноді посилення попереджує капітальний ремонт об’єктів, наприклад, санація і відновлення пропускної здатності трубопроводів. В процесі дослідження вирішується питання про доцільність подальшого використання того чи іншого елемента або його заміні (реновації). Нарешті, розрахунками, або шляхом інших обґрунтувань визначаються значення параметрів, які повинні бути забезпечені після посилення об’єкта (витрата, кількість очищеної води і ін.).

В системах окремі об’єкти зв’язані, і реконструкція одного з них позначиться на роботі інших. Так, зміна напору насосного обладнання вплине на роботу водопровідної мережі. Тому результати реконструкції необхідно заздалегідь прогнозувати і оптимізувати в інтересах всієї системи. Як правило,

посилення системи поєднує різні методи: реконструкцію і нове будівництво.

9.1. Методика рішення задач по реконструкції насосів другого підйому

Рішення задач по реконструкції вимагає з'ясування конкретних причин, за якими даний об'єкт не може нормально функціонувати. Тільки після цього може бути пошук прийнятних шляхів реконструкції об'єкта.

Як правило, рішення задачі складається з ряду етапів:

1) виявлення елементів (на підставі технологічних розрахунків), у яких необхідні умови

роботи не відповідають виробничих-ним можливостям;

2) аналізу конкретних причин, за якими ці елементи не здатні виконувати свої функції;

3) розробки інженерних заходів щодо подолання зазначених причин;

4) прогнозу впливу результату реконструкції на функціонування інших елементів системи.

Реконструкція не повинна порушувати нормального функціонування цих елементів.

Для з'ясування методики вирішення завдань з реконструкції розглянемо наступний приклад.

Насоси другого підйому повинні подавати по водоводу в водонапірну вежу воду з витратою Q_p , що перевищує проектний. Гідравлічний розрахунок показує, що необхідна подача перевищує пропускну здатність відвідав, а необхідний для цього натиск насосів другого підйому виявляється більше розрахункового і дорівнює H_1 . На пам’ятаємо, що пропускна здатність трубопроводу - витрата, при якому втрати напору рівні проектним. Таким чином, перевантаженим елементом об'єкта є насоси другого підйому, не здатні створювати тиск H_1 при витраті Q_p (рис. 9.1).

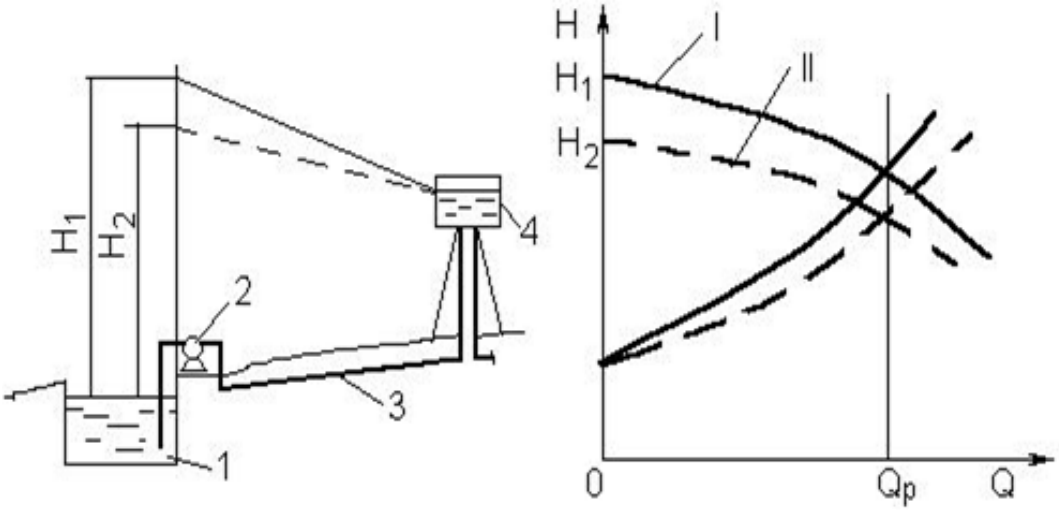


Рисунок 9.1 – Напірні лінії і умови роботи насосів:
I - варіант 1; II - варіант 2; 1 - резервуар чистої води; 2 - насос другого підйому; 3 - водовід; 4 – водонапірна вежа

Завдання вирішується заміною насосів другого підйому або їх кількісним регулюванням (зміною числа обертів).

Обмежуючим фактором слід вважати допустимість вище-ня тиску в водогоні, що, в свою чергу, залежить від його технічного стану і вигляду труб.

При іншому шляху вирішення лімітуючими елементами об'єкта стають водоводи, що мають недостатню пропускну здатність.

Єдиний спосіб підвищення їх пропускної спроможності - збільшення кількості ниток. У цьому випадку за результатами гідравлічного розрахунку натиск насосів другого підйому складе H_2 H_1 при подачі, рівній Q_p Можливо, що буде потрібно одночасна заміна насосів або їх регулювання.

Таким чином, перший варіант вирішення передбачає реконструкцію насосної станції, другий - прокладку додаткового водоводу.

Перевага першого варіанту - в меншому обсязі будівельно-монтажних робіт, недолік - в зростанні споживання електроенергії (з розрахунку на одиницю об'єму води, що перекачується), так як вона повинна подаватися при великому напорі. При другому варіанті реконструкції, навпаки, обсяг будівельно-монтажних робіт більше, а питоме споживання енергії - менше. Вибір варіанту вимагає техніко-економічного порівняння.

ГЛАВА 10.

Реконструкція головних споруд водопроводу

Головні споруди призначені для забору води з джерел водопостачання і для подачі її на станцію очищення. До складу головних споруд входять водозабір, насосна станція першого підйому, комунікації. Функція головних споруд полягає в подачі розрахункового добової витрати води проектного якості, тобто такого, яке враховувалося при проектуванні очисних споруд.

Характерна причина реконструкції - необхідність в збільшенні витрати води порівняно з проектними даними. Реконструкція може бути пов'язана також зі зміною природних умов, що впливають на забір води з джерела, або проводитися у зв'язку з необхідністю підвищення якості експлуатації (надійність і ін.).

Збільшення продуктивності головних споруд залежить не тільки від їх виробничих можливостей, але і від характеристики джерела водопостачання. Стійкий прийом з водотоків допустимо, якщо водовідбір становить менше 0,25 від мінімального дебіту джерела. В іншому випадку можлива втрата водотоком транспортуючої здібності, обміління, в суворих кліматичних умовах - перемерзання взимку і т.д. [44].

Продуктивність підземних водозаборів обмежується експлуатаційними запасами підземних вод. Як відомо, експлуатаційними запасами називають обсяги води , які можуть бути отримані з родовища за допомогою водозабору даної конструкції при заданому режимі експлуатації і при проектному значенні показників якості води, яка забирається [2]. Експлуатаційні запаси реалізуються при сталому і несталому режимах їх поповнення. Перевищення експлуатаційних запасів скорочує тривалість використання джерела, а неприпустимі зниження рівня підземних вод порушує умови харчування, призводить до вступу води з не використовуваних джерел і може викликати погіршення її якості.

Таким чином, збільшення продуктивності головних споруджена-ний не завжди можливо і обмежена природними умовами.

10.1. Реконструкція головних споруд поверхневих джерел

10.1.1. Умови забору води

У відповідності з нормативами [46], умови прийому води з джерела поділяються на легкі, середні або важкі. З урахуванням цього обмежується швидкість втікання води в водоприймальні вікна водозаборів. Для прийому найбільш чистої води в проектах обґрунтовуються значення висот порога і забрала.

Зміни умов водоприймача носять сезонний характер (шуга, поява рибної молоді та ін.), що враховується проектами. Разом з тим можливі радикальні зміни у водному джерелі, які викликані діяльністю по формуванню русла і вимагають обов'язкової реконструкції водозаборів або проведення додаткового великого об'єму гідротехнічних робіт.

Водозабір включає елементи, призначені для грубої очистки води, захисту насосів насосних станцій першого підйому і комунікацій від прискореного зносу і засмічення. Первинне очищення проводиться на вході в водоприймач, де встановлені решітки, а в окремі періоди року – касети для затримання мальків риби. Водоприймальна частина сіткового колодязя (аванкамера), в якій вода знаходиться 30-35 с, грає роль відстійника – пісколовки. Сітки в сітковому колодязі затримують водорості, кору, інше плаваюче сміття, а також дрібну рибу.

Насоси першого підйому встановлюються під заливом при постійній роботі. При періодичній роботі насосне обладнання працює зі створенням вакууму (не під заливом).

10.1.2. Реконструкція головних споруд з русловими затопленими водоприймачами

На рис. 10.1 наводиться схема водозабору з русловим затопленим водоприймачем. Перепади рівнів дорівнюють втратам напору на окремих ділянках гідравлічної схеми. При мінімальному рівні в джерелі Z_0 висота всмоктування насоса першого підйому Z_3, Z_2 максимальна. Розглянемо роботи водозабору при гідравлічної перевантаження. В цьому випадку рівні ви води в аванкамері і в відділенні всмоктуючих труб знизяться, а висота всмоктування насосів першого підйому збільшиться порівняно з розрахунковою. Лімітуючим елементом водозабору стають насоси першого підйому.

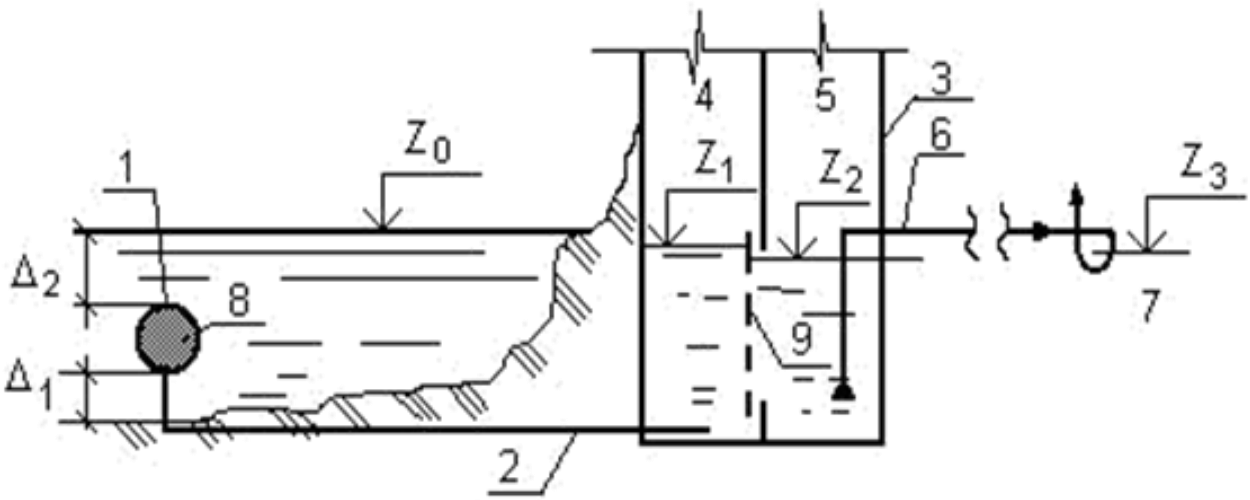


Рисунок 10.1 – Схема водозабору з затопленим русловим водоприймачем: 1 - водоприймач; 2 -самопливна лінія; 3 - сітковий колодязь; 4 - аванкамера; 5 - відділення всмоктуючих труб; 6 - всмоктувальна труба; 7 - насос першого підйому; 8 - вхідне вікно з гратами; 9 - сітка; 1 - висота порогу;
2 - товщина забрала

Вакуумметричний тиск вітчизняних відцентрованих насосів рідко перевищує 6-7 м. Збільшення висоти всмоктування і одночасне зростання втрат напору у всмоктувальній лінії здатні привести до кавітації або до зриву вакууму і повної відмови насоса. Другим фактором, здатним порушити роботу насосів, є прорив повітря у всмоктувальну лінію. При зниженні рівня в відділенні всмоктуючих труб (відмітка Z_2) виникає небезпека утворення «Повітряних шнурів» (рис. 10.2). Таке явище відбувається, якщо заглиблення вхідних воронок менш деякого критичного значення:

$$h_{кр} = 0,5D_{вх}\left(\frac{V_{вх}}{\sqrt{gD_{вх}}}\right)^{0,55}$$

де $h_{кр}$- критичне заглиблення (глибина), м;
$V_{вх}$ – швидкість входу в воронку, м/с;
$D_{вх}$ - діаметр вхідної воронки, м.

Наприклад, при швидкості входу в воронку 1 м/с, її діаметрі 0,25 м критичні заглиблення одно 0,08 м, тобто 0,32 $D_{вх}$ рекомендується заглиблювати вхід в воронку на 0,6-1,2 $D_{вх}$. Небезпека підсосу повітря у всмоктуючій трубі зменшується, якщо забезпечити вхідні воронки козирками або розмістити навколо труб плаваючі плоти. Вважається, що в цьому випадку критична глибина може бути зменшена на 20-25%.

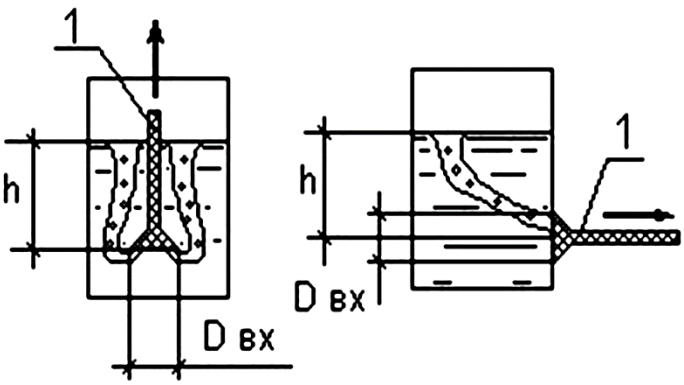


Рисунок 10.2 – Утворення повітряного шнуру при вході у всмоктувальну лінію: 1 - всмоктуючий трубопровід

В [78] відзначається, що в умовах зниження рівня і зменшення корисної місткості аванкамери, збільшується небезпека захоплення повітря всмоктуючими лініями насосів і водоприймальні отвори труб слід заглиблювати не менше ніж на:

$$h = \frac{8,5Q}{F} \geq 2D_{вх},$$

де Q – витрата води, м^3/с; F – площа дзеркала води в відділенні всмоктуючих труб, м^2.

Для збільшення висоти всмоктування насосів застосовується перепуск води з напірної лінії насосів у всмоктувальну лінію (рис. 10.3).

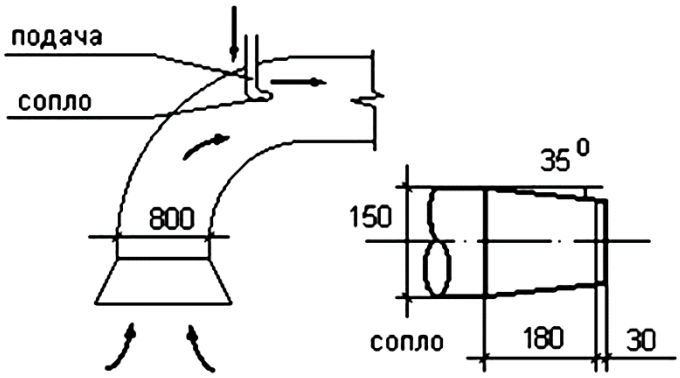


Рисунок 10.3 – Реконструкція всмоктуючої лінії на водопроводі м. Київ [16]

Вода, що надходить з напірної лінії, знаходиться під великим напором, а отже, має більше питомої енергії, ніж її вбирали. Розсіювання (дисипація) надлишкової енергії підвищує загальну енергію потоку.

Збільшення висоти всмоктування зазначеним способом рекомендується

визначати по номограмі (рис. 10.4). У номограмі прийняті наступні позначення: d_c- діаметр сопла, мм; D – діаметр всмоктуючої лінії насоса, мм; H – необхідне збільшення висоти всмоктування, м; H – швидкісний напір при витіканні з сопла, м. Для прикладу, наведеного на рис. 10.4, $d_c/D=0,12$ (прийнято); H=2,0 м; H=70 м. Нехай D = 500 мм, тоді d_c= 60 мм. Швидкість витікання з сопла при $\varphi \approx 1,0$, V = 37,1 м/с.

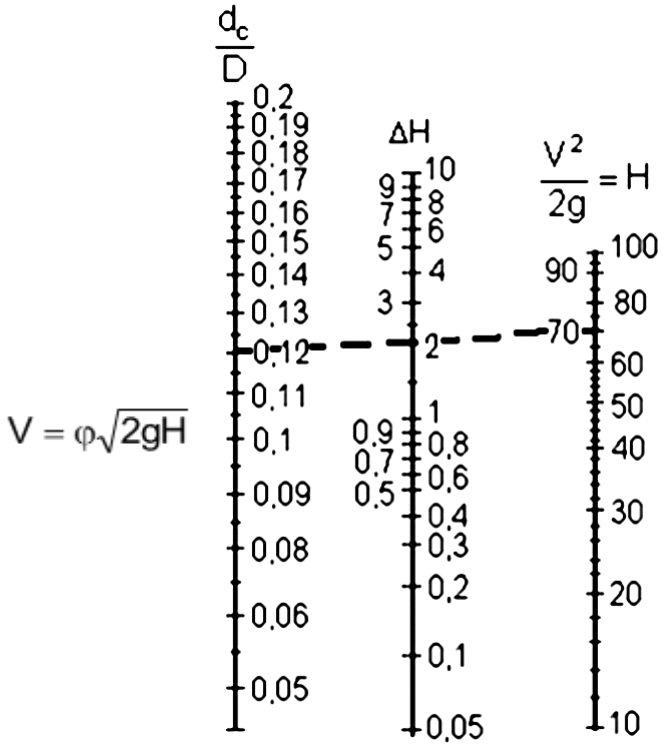


Рисунок 10.4 – Номограма для визначення збільшення висоти всмоктування насосів.

Для конічної східної насадки з кутом конусу 13, коефіцієнтом стиснення ε=0.983, витрата води, q, $м^3/с$, що направляється з напірної лінії у всмоктувальну, дорівнює:

$$q = \varepsilon \frac{\pi d^2}{4} V = 0,01 \, м^3/с .$$

Іноді для збільшення висоти всмоктування у всмоктувану лінію вводять контрольовану і обмежену кількість повітря (не більше 2-3% від витрат води). Збільшення висоти всмоктування внаслідок зменшення щільності перекачуваного середовища складе:

$$\Delta h_{вс} = H_B \left(\frac{100}{100 - a} - 1 \right),$$

де $H_в$ – максимальна вакуумметрична висота, підтримувана насосом, м;

а – кількість введеного повітря в % від витрати води.

Наприклад, при $H_в$=6,0 і а=3% висота всмоктування збільшиться на 0,18 м.

При введенні повітря необхідно передбачити на напірній лінії насоса збірники повітря і вантузи для його збору і видалення.

Розглянуті способи неекономічні, а при введенні повітря вимагають жорсткого контролю. Вони необхідні тільки в період, коли рівні води в джерелі близькі до мінімальних.

На рис. 10.5 наводяться деякі способи, що приймаються для підвищення стійкості роботи насосів. За схемою *а* висота всмоктування збільшується шляхом обладнання входу у всмоктувальну лінію ежектором.

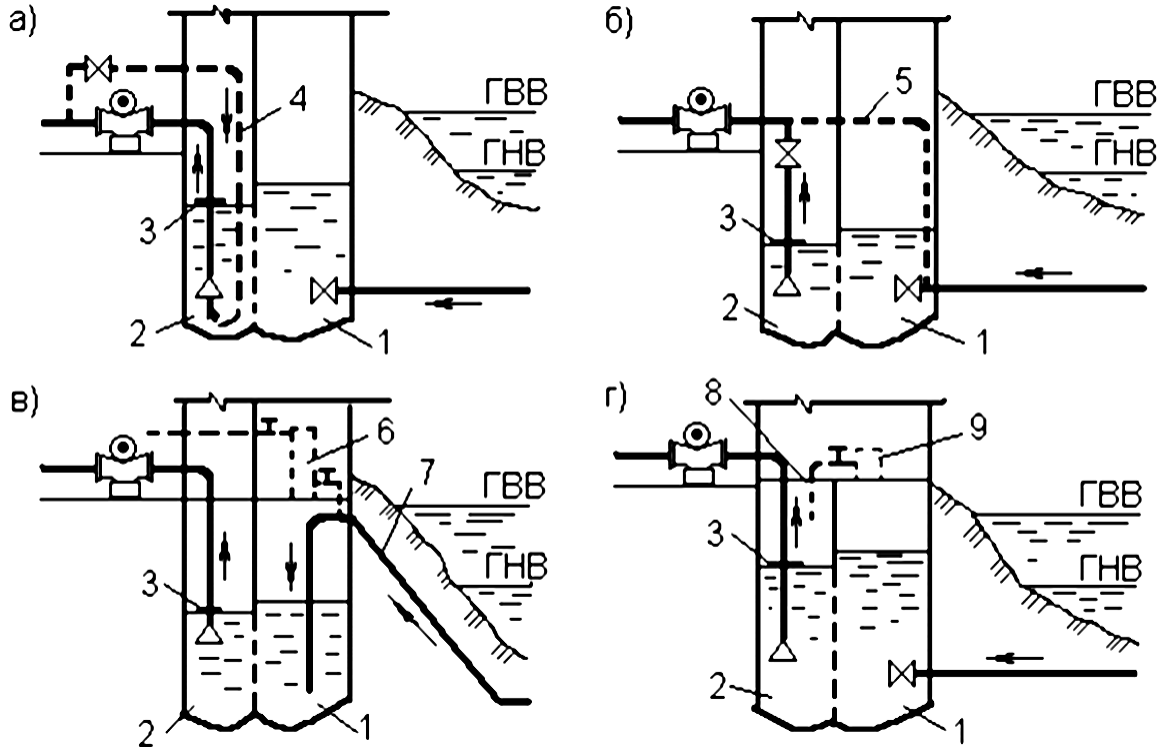


Рисунок 10.5 – Способи підвищення стійкості водозабору при зниженні рівня води у водопровідному колодязі: *1* - водоприймальна камера; *2* - камера всмоктування; *3* - плаваючий щит; *4* - напірний трубопровід до ежектору; *5* - додатковий всмоктуючий трубопровід; *6* - вакуум-котел; *7* - сифонний трубопровід; *8* -герметичне перекриття; *9* - вакуум-насос

За схемою *б* з роботи виключається береговий колодязь і всмоктуюча лінія з'єднується з самопливною.

Схема *в* дозволяє підтримувати вакуум шляхом установки котла, куди засмоктується повітря, що виділяється при зниженому тиску.

Вакуумування сіткового колодязя (схема *г*) забезпечує підвищення рівнів в аванкамері і у відділенні всмоктуючих труб.

Витрата води при вакуумуванні колодязя визначається по формулі:

$$Q = \omega\sqrt{2g(\Delta h + h_B)\xi_{сис}},$$

де ω – площа перетину самопливної лінії;

h – перепад рівнів в джерелі водопостачання і аванкамері без вакуумування;

$h_в$ – вакуумметричний тиск, який утворюється;

$\xi_{сис}$ – коефіцієнт опору системи «водоприймач - самопливна лінія».

Зауважимо, що в разі вакуумування небезпека виникнення кавітації або зриву вакууму у насоса не зменшується, а лише створюються умови для його затоки.

Розглянуті методи прийнятні, якщо тривалість їх застосування обмежена низькими рівнями в джерелі. В іншому випадку виникає необхідність в реконструкції насосної станції першого підйому. Реконструкція станції також необхідна, якщо насоси не можуть забезпечити необхідну подачу.

При необхідності реконструкції у зв'язку з неприпустимим збільшенням висоти всмоктування, слід орієнтуватися на застосування заглибних насосів з їх розміщенням у відділенні всмоктуючих труб сітчаних колодязів. Особливістю заглибних насосів є компактність і простота монтажу, що в ряді випадків дозволяє відмовитися від встановленого резерву і зберігати резервні агрегати на складі головних споруд. Можуть використовуватися і насоси, призначені для установки в свердловинах, але вони мають знижені ККД.

Якщо насосна станція першого підйому поєднана з сітковим колодязем і завдання полягає у збільшенні продуктивності насосів, але місця для розміщення нових горизонтальних насосів недостатньо, не виключена можливість установки вертикальних насосів.

Розглянемо інші негативні наслідки, що виникають при підвищенні продуктивності головних споруд.

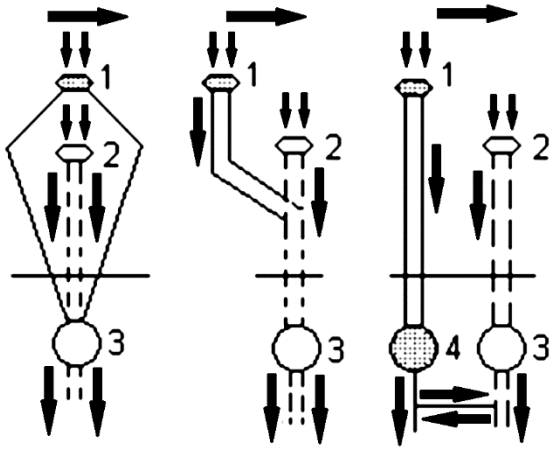
Збільшення швидкості втікання у водопровідні вікна водоприймальника призводять до надходження води підвищеної забрудненості.

Рекомендовані нормативами [46] швидкості складають 0,2-0,6 м/с, в залежності від забрудненості водотоку. Форсування водовідбору призводить до частого засмічення решіток на вхідних отворах, тобто до певного погіршення умов експлуатації.

Реальні умови водоприймача, відомі з досвіду попередньої експлуатації, дозволяють реально оцінити виникаючі незручності. Вони часто компенсуються поліпшенням конструкції решіток на водоприйомних вікнах. Конструкція решіток істотно впливає на рівномірність втікання води [44]. Рівномірному втіканню сприяє концентрація решіток зі стержнями із смуг, розташованих вертикально, причому ширина стержнів приймається не менше просвіту між ними. Якщо бічні грані стержнів розгорнути так, що кут відведення води з напрямком течії в водотоці складе 120-135, то решітка буде самоочищатись.

Сезонні перешкоди (льодові явища, поява мальків риби),

погіршуючи умови роботи водозабору та вимагаючи переходу на форсований режим, іноді можуть бути подолані за рахунок звичайних захисних заходів сезонного характеру. В інших випадках неминучою є реконструкція зі збільшенням площі приймальних вікон. Варіанти такої реконструкції, що передбачають розміщення додаткових водоприймачів, наведені на рис. 10.6.



а б в

Рисунок 10.6. Схеми реконструкції водозаборів: 1 - оголовок додатковий; 2 - оголовок існуючий; 3 - сітковий колодязь і НС-1 існуюча; 4 - сітковий колодязь додатковий; - - - існуючий трубопровід; _____-додатковий трубопровід

У варіанті «а» додатковий оголовок обладнаний самопливними лініями, приєднаними до існуючого сіткового колодязя. Варіант «б» передбачає об'єднання самотічних ліній від додаткового оголовка та існуючих. Відстань від місця з'єднання до сіткового колодязя обмежено умовами проведення будівельно-монтажних робіт, але має бути мінімально можливим. В [78] така схема вважається невдалою, так як важко виключити взаємний вплив з'єднаних оголовків, що порушить стійкість забору води.

Варіант «в» передбачає будівництво незалежної блоку, що включає оголовок, самопливну лінію і сітковий колодязь. Напірна лінія (схеми передбачають насосну станцію першого підйому, поєднану з сітковим колодязем) від нового блоку з'єднується перемичкою з існуючою напірною лінією.

У нормативах [46] швидкості води в самотічних лініях залежно від категорії водозабірних споруд рекомендуються в межах від 0,7 до 2,0 м/с. Рекомендація пов'язана з техніко-економічними міркуваннями і з довговічністю трубопроводів, які схильні до стирання піском в період експлуатації. Очевидно, що деякі перевищення рекомендованих швидкостей не призведе до яких-небудь радикальних негативних наслідків. У цих випадках слід передбачати більш строгий контроль за технічним станом трубопроводів і за своєчасністю ремонтів.

Одним з елементів, робота якого при збільшенні продуктивності водозабору ускладниться, є плоскі і обертові сітки в сітковому колодязі. Як відомо, щоб уникнути розриву полотна сіток, створюваний ними перепад рівнів (Z_1, Z_2 по рис. 10.1) суворо обмежується і складає як максимум 0,1-0,15 м для плоских і до 0,15-0,30 м для обертових сіток.

Збільшення витрат води, а також її рівня в аванкамері порівняно з розрахунковою проектною витратою, вимагає більш частої промивки. Не виключено, що в окремі періоди року виникає коротко-тимчасова ситуація, при якій не можна витримати потрібний режим промивки. У цьому випадку існує можливість відмови від сіток на критичний період, хоча при цьому є небезпека засмічення насосів першого підйому, виникнення необхідності в їх чищенні.

У практиці водопостачання не рідкісні випадки, коли шар донних наносів біля водоприймача збільшується, висота порога виявляється недостатньою, а в водоприймач надходить вода з підвищеним вмістом піску. На рис. 10.7 приведена схема реконструкції оголовка з улаштуванням спеціального короба з листової сталі. Водоприймальні вікна в коробі установленні так, щоб створити потрібну висоту порогу.

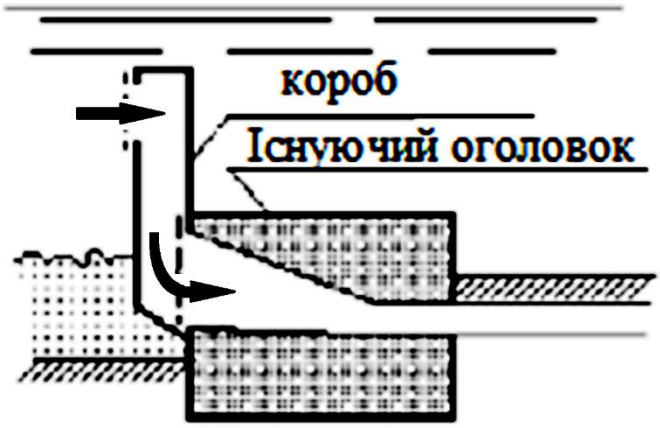


Рисунок 10.7 – Реконструкція оголовка з метою збільшення висоти порога

При погіршенні проектних умов водоприймання проводяться гідротехнічні роботи: будівництво струмененапрямних дамб, що зменшують ймовірність надходження в водоприймач великої кількості наносів і шуги, створення ковшів, перенесення оголовків в більш зручні для забору води точки акваторії і т.д.

10.2. Реконструкція водозаборів підземних вод із свердловин

10.2.1. Загальні положення

Максимально можливий відбір води з джерела обмежений експлуатаційними запасами, перевищення яких викликає або прискорює виснаження джерела, а в ряді випадків призводить до погіршення якості води. Рух підземного потоку до свердловини повинен відбуватися в ламінарному режимі; турбулентна фільтрація супроводжується зростанням втрат напору, збільшенням гідравлічного ухилу і значним зниженням динамічного рівня (рис. 10.8).

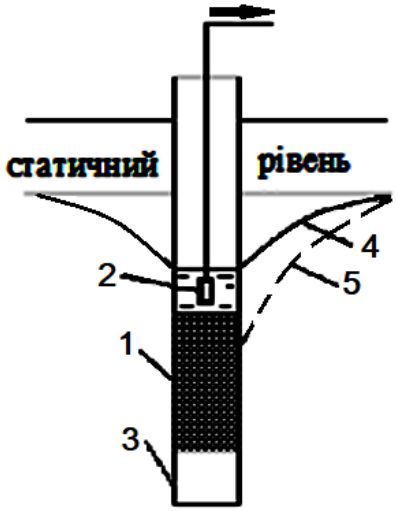


Рисунок 10.8 – Схема свердловини і криві депресії: 1 - фільтр; 2 - насосний агрегат; 3 - відстійник; 4 - крива депресії при ламінарній фільтрації; 5 - те ж при турбулентній

Критична швидкість фільтрації $V_{кр}$, м/доб, перевищення якої призводить до настання турбулентного режиму, визначається за відомою формулою С.К. Абрамова:

$$V_{кр} = 65\sqrt[3]{K},$$

де K – коефіцієнт фільтрації, м/добу.

Найбільша швидкість фільтраційного потоку буде спостерігатися у водоприймальній поверхні фільтра. Якщо прирівняти її до критичної, то максимальна водозахоплююча здатність фільтра свердловини $Q_{В.З.}$, м/с, виявиться рівною:

$$Q_{В.З.} = 204 d_Ф L_Ф N \sqrt[3]{K},$$

де $d_Ф$ – діаметр фільтра свердловин; $L_Ф$ – довжина фільтра; N – скважність

фільтра, тобто відношення сумарної площі отворів до площі поверхні фільтра.

Слід зазначити, що втікання води через отвори фільтра нерівномірне. Оскільки рух води всередині фільтра відбувається зі зростаючим гідравлічним ухилом (витрата збільшується по напрямку руху, а площа живого перерізу залишається постійною), в нижній частині фільтра надлишковий напір H, під дією якого вода проходить через отвори менше ніж в його верхній частині (рис. 10.9)

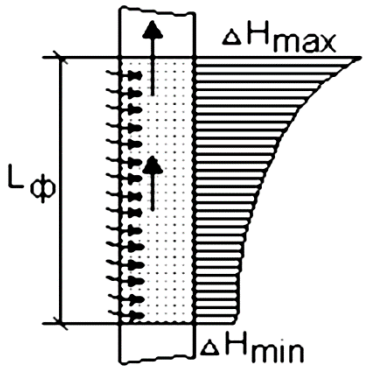


Рисунок 10.9 – епюра надлишкового напору по довжині фільтру

10.2.2. Реконструкція свердловин

Збільшення продуктивності свердловини, обмеженої межами водозахоплюючої здатності фільтра, досягається зміною подачі насоса. Лімітуючим фактором при реконструкції є параметри насосів або положення динамічного рівня підземних вод у свердловини. Підвищити подачу заглибних насосів вкрай складно. При їх заміні існують обмеження, пов'язані з діаметром свердловин, а якісне регулювання практично виключено, так як число обертів близько до максимуму (близько 3 тис. об/хв). Іноді вдається знизити необхідний напір, що, природно, призводить до збільшення подачі насоса. На рис. 10.10 наводиться схема водозабору, згідно з якою вода зі свердловин подається по водоводу на станцію очистки (точка А).

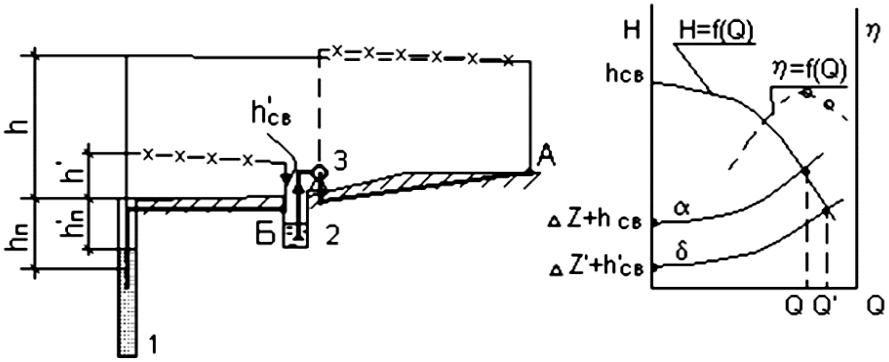


Рисунок 10.10. Схема реконструкції водозабору: 1 - свердловина; 2 – проміжний резервуар; 3 -насос підкачки першого підйому; а - характеристика трубопроводу до реконструкції; б - те ж після реконструкції; ΔZ і ΔZ’ - різниця геодезичних відміток землі в точках а , б і у свердловині;

- - - напірна лінія до реконструкції; - - - х - - напірна лінія після реконструкції

Якщо змінити схему комунікацій і приєднати збірний трубопровід до проміжного резервуара 2, звідки вода буде відкачуватися насосами підкачки першого підйому 3, то необхідний тиск заглибних насосів знизиться. З суміщеного графіка характеристик насоса і трубопроводу до і після реконструкції, тобто на ділянках до точок А і Б, випливає, що подача насоса збільшилася.

Напір, що створюється насосом, залежить від ступеня засмічення напірних трубопроводів, найчастіше – водопідйомної труби, на якій кріпиться насосний агрегат.

Подібні явища зустрічаються при відкачці залізовмісних підземних вод з негативним індексом насичення, тобто що володіють агресивністю.

У цих випадках, а також для підвищення надійності і економічності водозабору, проводиться реконструкція свердловин з демонтажем водопідйомних труб і подачею води насосом безпосередньо по обсадних труб стовбура свердловини, тобто безтрубною установкою насосного агрегату. Насосний агрегат кріпиться на тросах і це навантаження передається на гирло свердловини. Спеціальний пристрій (пакер) розділяє обсяг води в свердловині на області всмоктування і нагнітання.

Існує кілька принципово різних конструкцій пакерів [45]. На рис. 10.11 показаний пакер механічної дії. Ущільнювальний елемент затиснутий між фланцем і опорним кільцем, що створює необхідну герметизацію. Електрокабель (не показаний) пропускається через пакер, місце проходу герметизується за допомогою сальника.

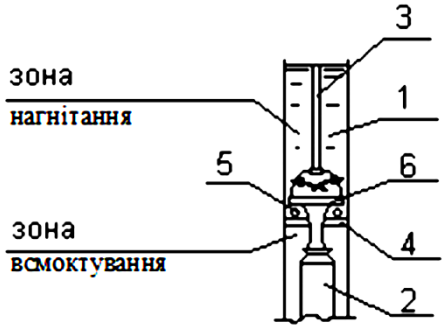


Рисунок 10.11 – Схема без трубної підвіски з механічним пакером:
1 - обсадна труба; 2 - насосний агрегат; 3 - трос; 4 - опорне кільце; 5 - ущільнювальний елемент; 6 - фланець

Реконструкція свердловин на Київському підземному водозаборі з безтрубною установкою насосів забезпечила скорочення витрат електроенергії за рахунок зменшення напору, що створювався насосами [49].

Зростання подачі призводить до зниження рівня підземних вод у свердловині ($h_n<h_n'$). Іноді результатом цього є оголення насосного агрегата. Якщо розміри агрегату не дозволяють його опустити, то доцільно вакуумувати

свердловину, створюючи вакуум-насосом знижений тиск в її герметизованій надводній частини. В цьому випадку, в залежності від створюваного вакуума, рівень води в свердловині підіймається вище динамічного рівня підземних вод (рис. 10.12) Слід зауважити, що зниження динамічного рівня особливо небезпечно для водозаборів з сифонним відбором води з свердловин. Обмежуючим фактором є допустимий за умовами надійної роботи значення вакууму в водозбірних трубах.

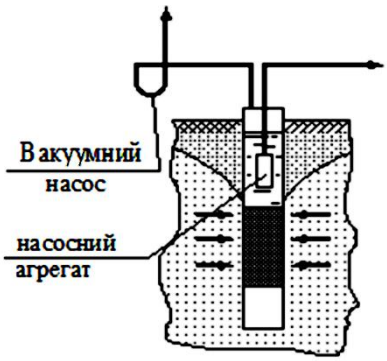


Рисунок 10.12 – Схема вакуумованої свердловини

10.2.3. Реконструкція водозаборів із застосуванням високопродуктивних свердловин

Якщо лімітуючою виявляється сумарна площа водозахоплюючих поверхонь свердловин, доцільною є заміна існуючих малопродуктивних свердловин (всіх або частково) меншою кількістю високопродуктивних. У міру реконструкції існуючі свердловини консервуються або ліквідуються. Зрозуміло, необхідна реконструкція комунікацій, пропускна здатність яких повинна відповідати необхідним, більш високим витратам.

Розміщення високопродуктивних водозаборів на існуючому майданчику головних споруд має ряд переваг. Відпадає необхідність освоєння нових територій, зберігається зона санітарної охорони, частина комунікацій та благоустрій, не порушується розміщенням головних споруд щодо інших об'єктів водопроводу.

Високопродуктивні свердловини повинні мати достатню водозахоплюючу здатність, для чого необхідно збільшення площі поверхні, що приймає воду.

Система суміщених свердловин, що застосовується в різних гідрогеологічних умовах і, зокрема, при шаруватій будові водоносної товщі, являє собою гравійний дренаж, водоприймальна поверхня якого відповідає необхідній продуктивності водоприймача. Як випливає з рис. 10.13, система складається з ряду свердловин з пересічними контурами. Вони заповнюються промитим, дезінфікованим гравієм розрахункових фракцій. Вода, захоплена дренажем, надходить до робочих свердловин, обладнаних стержневими фільтрами і заглибними насосами необхідної продуктивності.

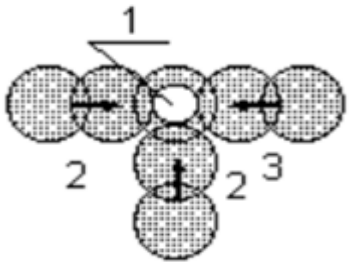


Рисунок 10.13 – Система суміщених свердловин:
1 - робоча свердловина; 2 - вироблення, завантажені гравієм

За методом Бенсона, навколо робочої свердловини бурять кілька свердловин, які заповнюються гравієм. При відкачці з робочої свердловини гравій підсмоктується, утворюючи кільце з чималою водозахоплюючою поверхнею. Контролювати переміщення гравію до поверхні робочої свердловини важко, в результаті чого контакт гравію в робочих і гравійно-поживних свердловинах часто є неповним [45].

Існує й інша схема улаштування гравійної обсипки (рис. 10.14). До водоносного горизонту забій закріплюється кондуктором, потім опускається фільтр з черевиком-конусом, в ході подальшого буріння порода вибирається желонкою, а в забій подається гравій.

У двоколонних свердловинах збільшення дебіту досягається за рахунок рівномірного завантаження поверхні фільтрів. При одночасному відборі води зі свердловини вище і нижче фільтра (з відстійника) діючий надлишковий напір буде розподілятися по довжині фільтра рівномірніше, ніж в звичайних схемах (рис. 10.9, 10.15).

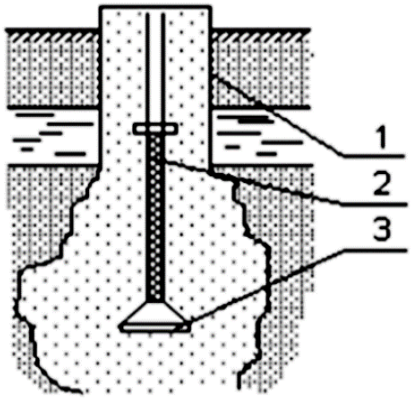


Рисунок 10.14 – Схема улаштування гравійної обсипки з застосуванням башмака-конуса: 1 – обсадна труба; 2 – фільтр; 3 – башмак-конус

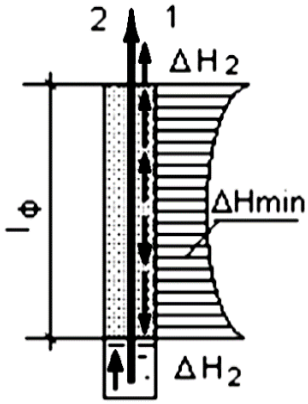


Рисунок 10.15 – Епюра надлишкового напору по довжині фільтра при відборі води в двох точках: 1 – верхній відвід; 2 – нижній відвід

Застосування двоколонних свердловин рекомендується для інтенсивного водозбору в пластах більшої потужності. В роботі [45] аналізується досвід експлуатації свердловин в м. Черкаси. У двоколонній свердловині в якості

водопідйомних труб використано надфільтрову трубу основної свердловини (відбір з верхньої зони) і встановлена в обсипання паралельно фільтру, врізана в відстійник додаткова труба. Встановлено, що двоколонні свердловини мають істотно більшу подачу при майже незмінному питомому дебіту, тобто витраті в розрахунку на 1 м зниження рівня підземних вод. Відкачування води в двох точках особливо бажана, якщо породи мають найбільшу водопроникність в нижній частині водоносного шару.

10.2.4. Штучне поповнення підземних вод як умова реконструкції

Метод штучного поповнення підземних вод (ШППВ) дозволяє реконструювати головні споруди в тих випадках, якщо необхідно значне перевищення експлуатаційних запасів або якщо з різних причин спостерігається неприпустимо велике зниження рівня підземних вод.

Система ШППВ передбачає використання водоносного шару в якості підземного водосховища, додатково поповнюється з поверхневих водних джерел. Як відомо, система ШППВ включає водозабір з поверхневого джерела, установку для очищення і знезараження води, інфільтраційні споруди, призначені для подачі очищеної води в водоносний пласт, відповідні комунікації та насосні установки.

В залежності від гідрогеологічних умов, інфільтраційні установки виконуються у вигляді поглинаючих колодязів або свердловин, а також басейнів з фільтруючою підставкою.

За допомогою ШППВ сезонні запаси підземних вод збільшують експлуатаційні запаси і покращують умови водозабору.

ШППВ створює умови для реконструкції головних споруд з метою збільшення їх продуктивності. При регулюванні статичного рівня представляється можливим повністю використовувати водозахоплюючу здатність фільтрів, застосовувати водозабори великої продуктивності. Разом з тим, ШППВ значно здорожує і ускладнює експлуатацію головних споруд. Метод ШППВ завжди є вимушеним і безальтернативним.

ГЛАВА 11.

Реконструкція систем подачі і розподілу води

Система подачі і розподілу води (СПРВ) призначена для безперебійної подачі води питної якості всім абонентам міського водопроводу, а також для поливання територій, зелених насаджень і для пожежогасіння.

Обов'язковими умовами функціонування СПРВ є зберігання нормативної якості води та підтримання на абонентських вводах необхідних вільних напорів. Крім того, напори в мережі не повинні перевищувати 60 м і бути менше 10 м.

СПРВ включає насосні станції другого і третього підйомів, напірні і безнапірні резервуари, трубопроводи (водоводи, магістральна і розподільна мережі).

Режим роботи СПРВ обумовлений режимами водорозбору і подачі вод в систему трубопроводів.

Режим водорозбору складається мимовільно, і для кожного населеного пункту він індивідуальний. Характеризують режим значення коефіцієнтів добової нерівномірності, вони підлягають визначенню на основі натурних спостережень і істотно відрізняються від проектних [46].

Режим подачі води слід, по можливості, наближати до режиму водорозбору, так як від цього залежить значення регулюючого обсягу в резервуарах.

У відповідності до цієї умови, призначається графік роботи насосних станцій СПРВ.

При експлуатації СПРВ непоодинокі випадки, коли напори водопровідної мережі знижуються настільки, що порушується нормальне водопостачання великої групи абонентів, тобто не виконується одна з її головних функцій.

Якщо таке порушення сталося не у зв’язку з помилкою при експлуатації, то необхідна реконструкція.

Неприпустиме зниження напорів пояснюється їх підвищеними втратами через недостатню пропускну спроможність трубопроводів.

Зазвичай це пояснюється неконструктивністю мережі, тим, що фактичні витрати води більші проектних або спільним впливом зазначених факторів.

Під неконструктивністю розуміється невідповідність пропускної спроможності окремих трубопроводів проектному розподілу води.

Неконструктивність пов'язана з помилками в проектах внаслідок неточного прогнозу водоспоживання. Загальна схема водопровідної мережі розробляється одночасно зі складанням генерального плану населеного пункту, який реалізується протягом багатьох років і

неодноразово коригується.

На рис. 11.1 показана схема забудови населеного пункту за первісним планом і що склалася в дійсності. Зона А – існуюча забудова, зона Б – проектована. На території зони Б передбачалося розміщення найбільш великих споживачів води. Зона В відводилася під малоповерхову забудову. Відповідно до цього, точка живлення мережі намічалася в межах зони Б, тобто в центрі навантаження, а вода для зони В мала надходити транзитом по мережах зони А. Фактично розміри зони Б значно зменшилися, але на північному заході утворилася зона Г з великими споживачами води.

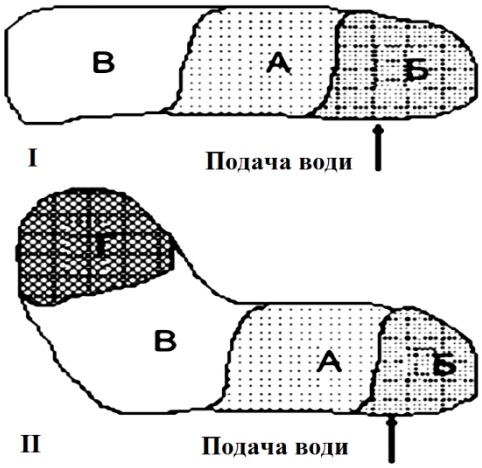


Рисунок 11.1 – Схема генплану: I – початкова; II – що склалася; А – існуюча забудова; Б – зона інтенсивного водоспоживання; В – зона малоповерхової забудови; Г – зона з великими споживачами води

Мережі першої черги будівництва в межах зони А не забезпечують транзиту води з необхідними витратами в зону Г, а частина мереж, що знаходяться в зоні Б, має завищені діаметри. Можна констатувати, що мережа об'єкта виявилася неконструктивною і потребує реконструкції.

Неконструктивність призводить до неекономічності експлуатації водопроводів, що мають кілька насосних станцій другого підйому. Розподіл навантаження між ними, оптимізований на етапі проектування, в умовах, що змінилися, може бути нераціональним і викликати перевитрати електроенергії,

Зростання водоспоживання призводить до перевантаження СПРВ, порушуючи її безвідмовність і економічність, що спостерігається в багатьох містах України.

Вихідною базою для проекту реконструкції служить еквівалентна розрахункова схема системи, що складається за результатами вивчення роботи СПРВ і уточнення дійсних значень гідравлічних опорів трубопроводів.

На рис. 11.2 приведена карта ізоп’єз (ліній рівних напорів) за результатами обстеження водопровідної мережі одного з павлоградських міст управлінням «Павлоградводоканал».

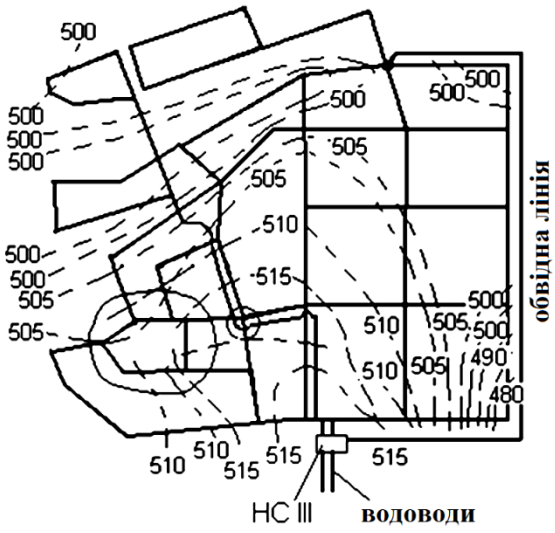


Рисунок 11.2 – Карта ізоп’єз

На графіку видно ділянки зі зниженою пропускною спроможністю, на яких ізоп’єзи розташовані з великою щільністю, а також малозавантажені ділянки мережі.

Можливі результати реконструкції перевіряються гідравлічними розрахунками з використанням схеми

11.1. Посилення неконструктивних водопровідних мереж

В результаті гідравлічного розрахунку еквівалентної схеми для витрат в характерні години доби (максимальне водоспоживання, пожежогасіння, максимальний транзит води в водонапірні ємності) визначаються перевантажені і недовантажені ділянки трубопроводів. Перевантажені ділянки є тими лімітуючими елементами, що потребують підсилення і розвантаження. Недовантажені ділянки іноді виявляються можливими потенційними резервами для посилення.

Зазвичай пропускна здатність трубопроводів при проектуванні приймається для гідравлічного ухилу 3-5 м/км, такі ж значення гідравлічних ухилів можуть прийматися в якості критерію перенавантаження або недовантаження.

Розташування перевантажених ділянок і конкретні умови, викликані перевантаженням – фактори, що враховуються при обґрунтуванні реконструкції.

Якщо перевантаження пов'язане з тим, що до трубопроводу приєднані крупні абоненти, його можна спробувати зменшити приєднанням частини абонентів до інших, неперевантажених або недовантажених ліній.

Такий прийом не призводить до радикального вирішення завдання, але після розвантаження вільний напір в кінці ділянки дещо підвищується.

Реконструкція передбачає будівництво нових вводів, іноді – великої протяжності (рис. 11.3).

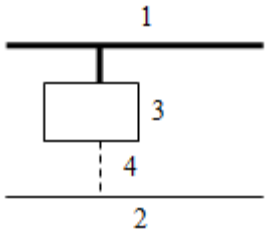


Рисунок 11.3 – Схема розвантаження перемиканням абонентів:
1 – перевантажена лінія; 2 – незавантажена лінія; 3 – абонент;
4 – нове введення водопроводу

Розвантаження ліній виконується їх дублюванням. Будівництво паралельних ліній знижує перевантаження ділянок на 20% і більше при відносно невеликій протяжності додатково прокладених трубопроводів [49]. За даними управління «Павлоградводоканал», прокладка дублюючої магістралі довжиною 1,1 км підвищила пропускну здатність системи на 30%. Особливо ефективне дублювання в тому випадку, коли представляється можливим використовувати існуючі незавантажені лінії великих діаметрів шляхом будівництва додаткових перемичок. Так було досягнуто збільшення зведених напорів на 5-6 м, причому довжина перемичок не перевищувала кількох десятків метрів. Дуже часто неконструктивність проявляється в невдалому розміщені точок живлення, тобто місць приєднання до мережі водоводів від насосної станцій другого підйому (живильників). Точки живлення слід розміщувати в центрі навантаження і поблизу основних споживачів води. Це дозволяє скоротити довжину трубопроводів, по яких направляються основні транзитні потоки. Виправлення неконструктивності мережі в окремих випадках досягається перенесенням або улаштуванням додаткових точок живлення. Транзитний потік води може бути направлено в точку живлення, розташовану в центрі зони інтенсивного водорозбору, по додатковій обвідній лінії (рис. 11.2). На рис. 11.4 приведена схема реконструкції водопроводу, запропонована для одного з районів м. Павлоград.

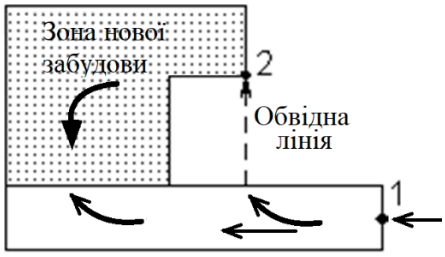


Рисунок 11.4 – Розвантаження шляхом зміни розподілу потоку

Селітебна територія мала характерну конфігурацію, що дозволило за рахунок будівництва обвідної лінії невеликої протяжності змінити розподілення потоку, розвантажити існуючі мережі старої і забезпечити водою райони нової

забудови. Неконструктивність мереж також виправляється методом зонування. Теорія зонування мереж водопостачання була розроблена професором М.М. Абрамовим і обґрунтовувалася міркуваннями економічності [50]. При реконструкції послідовне зонування виявляється вимушеним у зв'язку з технічною неможливістю підтримання в межах всієї мережі необхідних вільних напорів. На рис. 11.5 представлена принципова схема послідовного зонування з безпосереднім приєднанням до мережі нижньої зони насосів третього підйому. Мережі першої (нижньої) і другої (верхньої) зон поділяються шляхом повного закриття засувок, або з їх демонтажем та з установкою заглушок у відповідних колодязях.

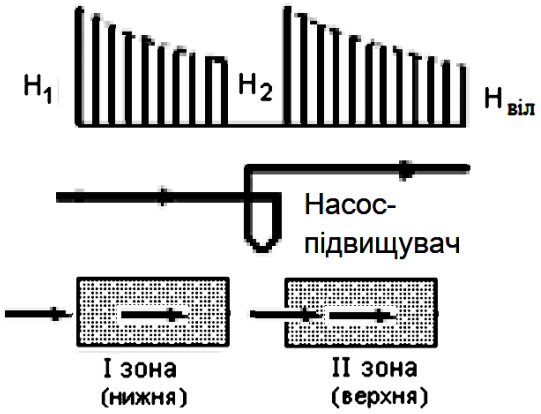


Рисунок 11.5 – Послідовне зонування. Епюри тиску

На кордоні розділу зон вільні напори в мережі нижньої зони зберігають потрібні значення. Після насосів третього підйому тиск в мережі підвищується до розрахункового значення H_2, необхідного для підтримки в усій верхнійї зоні потрібних вільних напорів $H_{віл}$. Безпосереднє приєднання дозволяє зберегти тиск, при якому вода надходить з нижньої зони. Зауважимо, що при підборі насосу слід перевірити, чи можуть вони за своїми технічними характеристиками експлуатуватися з таким підпором.

При безпосередньому приєднанні надходження води до насосної станції третього підйому здійснюється по мережах нижньої зони нерівномірно і, відповідно, за ступінчастим графіком роботи НС-3. У випадку пожежогасіння вода в верхню зону може подаватися або через НС-3, або по обвідній лінії, минаючи станцію, з мережі нижньої зони. Ці умови визначаються при перевірочних гідравлічних розрахунках мережі. Недоліком безпосереднього приєднання є нерівномірне протягом доби навантаження в мережі нижньої зони, необхідність синхронної роботи насосних станцій другого і третього підйомів (вони з'єднані послідовно), зміна швидкостей в мережах нижньої зони в момент включення і виключення насосів третього підйому, що призводить до помірних, але систематично виникаючих гідравлічних ударів.

Слід мати на увазі, що безпосереднє приєднання дозволяється, якщо напір в мережах нижньої зони перевищує 10 м.

На рис. 11.6 наведені схеми приєднання НС-3 з розривом струменя, тобто за незалежною схемою. Для того щоб уникнути великих втрат напору на вилив,

вода з мережі нижньої зони надходить в водонапірну ємність, висотне положення якої дозволяє використовувати вільний напір в мережі нижньої зони.

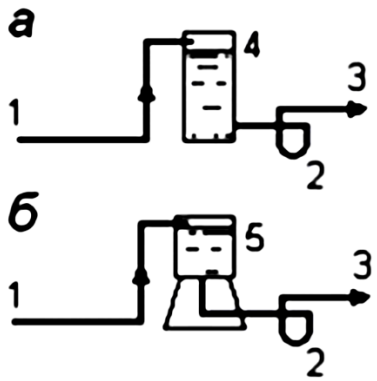


Рисунок 11.6 – Схеми приєднання водоводу до водонапірних споруд: а – колона; б – вежа; 1 – насос III підйому; 2 – водопровід; 3 – напірний трубопровід; 4 - водонапірна колона; 5 - напірна вежа

У схемі «а» водонапірна споруда – водонапірна колона, в схемі «б» – водонапірна вежа. У водонапірних ємностях можуть знаходитися регулюючі і пожежні запаси води. Регулюючий обсяг визначається за розбіжністю графіків відкачування води насосами третього підйому і надходження води в ємність з мережі нижньої зони. Це надходження може бути рівномірним протягом доби, або зниженим в години максимального і підвищеним в години мінімального водорозбору споживачами нижньої зони. Тоді мережа нижньої зони виявляється в певній мірі розвантаженою, тому що зменшуються транзитні потоки в години максимального водорозбору. Режим надходження та відкачування води і ємність водонапірних споруд оптимізується техніко-економічними розрахунками, виконаними за звичайними методиками. Необхідність зберігання запасу води на пожежогасіння і улаштування на НС-3 пожежних насосів так само обґрунтовуються розрахунками. Від зберігання пожежного запасу можна відмовитися, якщо є можливість вести пожежогасіння з подачею води насосною станцією другого підйому. Як зазначалося, в цьому випадку вода подається в мережу верхньої зони по обвідній лінії у НС-3. Якщо ємність водонапірних споруд виявляється недоцільно великою, незалежне приєднання верхньої зони до нижньої виводиться за схемою (рис. 11.7).

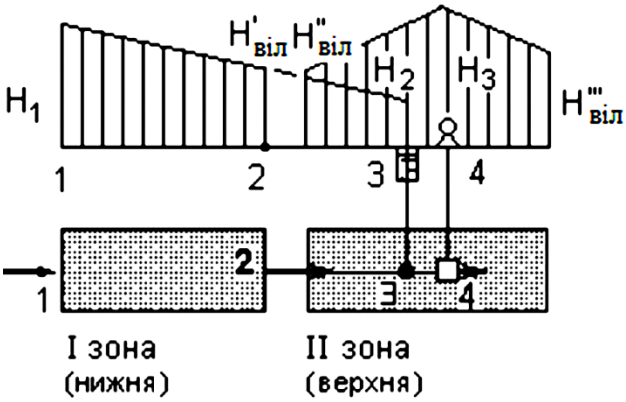


Рисунок 11.7 – Зонування за незалежним приєднанням. Епюри напорів:
1 – точка споживання I зони; 2 – приєднання водоводу з I в II зону;
3 – приймальний резервуар;4 – НС-3

Вода з точки 2 нижньої зони надходить в заземлений резервуар верхньої зони 3. Щоб уникнути великих втрат тиску при переливі в резервуар його віддаляють від точки 2, в котрій підтримується вільний тиск $H_{віл}$, наприклад, при п'ятиповерховій житловій забудові в нижній зоні – 26 м. Діаметр транзитного водоводу на ділянці 2-3 і його довжина призначаються з таким розрахунком, щоб НС-3 виявилася в центрі навантаження, а вільний напір перед резервуаром був мінімальним, тобто Н = 10 м. Об'єм заземленого резервуара визначається з умов роботи мереж нижньої зони, в ньому зберігається необхідний пожежний запас. Насоси третього підйому створюють тиск Н достатній для підтримки у верхній зоні необхідних вільних тисків. Верхня зона – це самостійна система, зв'язана з нижньою зоною з дотриманням лише однієї умови –зручного для мереж нижньої зони транзиту добової витрати води.

Існує думка, що кожна зона повинна мати тільки одну точку живлення від насосної станції. У практиці експлуатації систем водопостачання ще не було отримано позитивного результату стабільної роботи двох насосних станцій, які одночасно подають воду в одну зону [50].

Розглянуті способи виправлення неконструктивності мережі пов'язані з новим будівництвом. Завдання полягає в тому, щоб вибрати оптимальне техніко-економічне рішення.

11.2. Безтраншейна прокладка трубопроводів

Найбільш поширеним є відкритий спосіб прокладки труб в землі, коли риється траншея потрібної глибини, в ній монтується трубопровід, після чого траншея закопується. Такий метод має свої недоліки:

- порушується родючий шар ґрунту;
- знищуються зелені насадження;
- якщо траншея проходить через дорогу, то руйнується асфальтове покриття, яке потім необхідно буде відновити, а якщо дорогу не можна перекрити, то прокладка трубопроводу відкритим способом на такій ділянці взагалі стає неможливою.

Щоб прокласти трубопровід під залізницею, річкою, житловою спорудою, автотрасою і т.п. використовують безтраншейні методи прокладки трубопроводів. Безтраншейні технології буріння дозволяють виконувати підземні роботи без розробки ґрунту, що виключає необхідність відновлення асфальтових покриттів доріг, порушення функціонування існуючих комунікацій, перекриття доріг, знищення дерев та елементів благоустрою і т.д.

Так само до переваг безтраншейних технологій можна віднести:
- скорочення матеріальних витрат;
- зменшення часу роботи;
- скорочення робочого персоналу, необхідного для проведення робіт;
- зведення до мінімуму шкоди навколишньому середовищу;
- можливість прокладки комунікацій в зимовий період;
- відсутність траншей і механізмів підвищують безпеку робіт.

Якщо необхідно зробити невелику ділянку безтраншейної прокладки трубопроводу, такий як, наприклад, прокол під дорогою, то можна обійтися і без спеціальних машин і устаткування. Буде потрібно лише виготовити циліндр потрібного діаметру із закріпленою до нього нарощуваною штангою. І за допомогою нього вручну вибирати землю із під дороги, попередньо викопавши траншеї з обох сторін. Коли ж прокол вимірюється десятками метрів і більше, то необхідним є використання спеціальних механізмів.

Існує кілька способів безтраншейної прокладки трубопроводів:

1. **Санація** – заміна туб, може бути здійснена двома методами:

Релайнінг – метод, при якому нова труба з полімерного матеріалу затягується в існуючий трубопровід. Перш ніж простягати нову трубу, необхідно вивчити стан внутрішньої поверхні старої на наявність в ній сторонніх предметів та інших непереборних перешкод. Діаметр пластикової труби в цьому випадку буде трохи менший, але, за рахунок гладкої поверхні внутрішніх стінок, пропускна здатність трубопроводу не зменшиться.

Реновація – технологія, при якій стара труба руйнується і одночасно на її місце простягається нова. Застосовується в тих випадках, коли пропускної здатності старої труби недостатньо.

2. **Проколювання** – застосовується для прокладки трубопроводів діаметром до 150 мм. Попередньо риється два котловани потрібної глибини. В одному з них розташовується гідравлічний домкрат, який штовхає сталеву трубу з закріпленим в передній частині конусом. Труба постійно нарощується новими секціями, поки не вийде з приймального котловану. Ґрунт при проколюванні розсується конусом в сторони і ущільнюється. Після того, як прокол закінчений, конус видаляється, а сталева труба служить як кожух для полімерного трубопроводу. Замість гідродомкрата може бути використана віброударна установка. Довжина проколу відносно невелика, так як з її збільшенням зростає навантаження, необхідне для проколювання ґрунту. Але такий спосіб може підійти, наприклад, для проколу під дорогою або невеликим будинком. Щоб прокласти трубу великої протяжності таким способом, необхідно буде рухатися невеликими ділянками, кожен раз розкопуючи котлован для домкрата (рис. 11.8).

Рисунок 11.8 – Схема виконання проколювання

3. **Продавлювання** – використовується для прокладки сталевих труб діаметром до 2000 мм. Цей метод схожий на прокол, за винятком того, що труба вдавлюється в ґрунт відкритим кінцем, після чого втиснута всередину труби земля видаляється вручну або механічним способом (рис. 11.9).

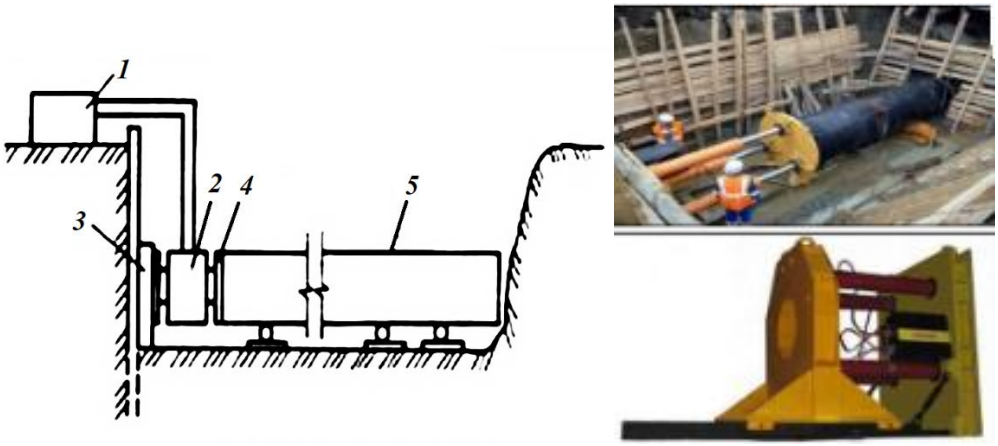


Рисунок 11.9 – Схема виконання продавлювання:
1 – масляний насос, 2 – гідравлічний домкрат, 3 – опорна конструкція,
4 – опорна плита, 5 – труба, що продавлюється

4. **Горизонтально-направлене буріння (ГНБ)** – метод безтраншейного прокладання підземних комунікацій за допомогою спеціальних бурових установок. Перевагами даного методу є: довжина прокладки, яка може досягати декількох кілометрів; те, що діаметр труби може досягати 1400 мм; можливість обходу різних перешкод за допомогою зміни траєкторії руху бура.

Прокладка комунікацій методом горизонтально-направленого буріння складається з трьох етапів:

1. Прокладка пілотної свердловини.

Це найбільш важливий етап роботи, від якого багато в чому буде залежати кінцевий результат. Буріння пілотної свердловини виконується буровою головкою, виготовленою зі змінних твердосплавних пластин. Бурова головка сполучена з гнучкою штангою, яка дозволяє їй рухатися по заданій траєкторії і обходити всілякі перешкоди на своєму шляху. Так само в голівці є отвір, через який подається буровий розчин для її охолодження і розрідження подрібненої породи для подальшого виведення її на поверхню. Контроль за траєкторією

буріння здійснюється за допомогою навігаційного блоку, розташованого в порожнині бурової головки. Він передає на пульт управління відомості про розташування, ухил і азимут бурової головки, що дозволяє точно прокласти свердловину, обходячи всілякі перешкоди на її шляху. При точному розрахунку і високій кваліфікації обслуговуючого персоналу, бурова головка виходить в заданому проектом місці (рис. 11.10).

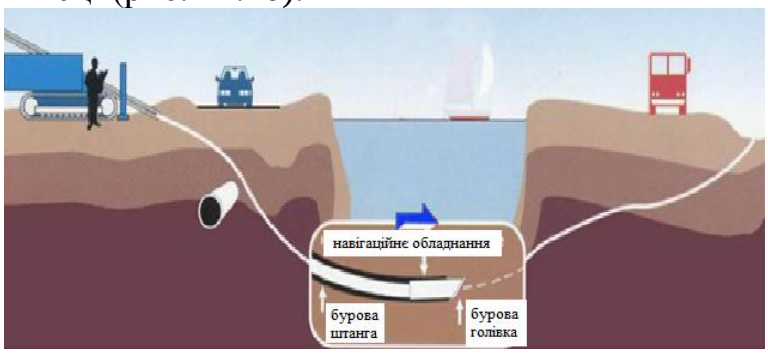


Рисунок 11.10 – Схема виконання прокладки пілотної свердловини

2. Розширення свердловини.

Після того, як пілотна свердловина готова, головку від'єднують від штанги і на її місце встановлюють спеціальний розширювач. Розширювач витягується від точки виходу до бурової машині, тим самим розширюючи свердловину до потрібного діаметру. При великих діаметрах трубопроводу, розширення свердловини може проводитися в кілька етапів, щоб знизити навантаження на устаткування. Так само слід враховувати, що діаметр свердловини повинен бути на 30% більше за діаметр труби (рис. 11.11).

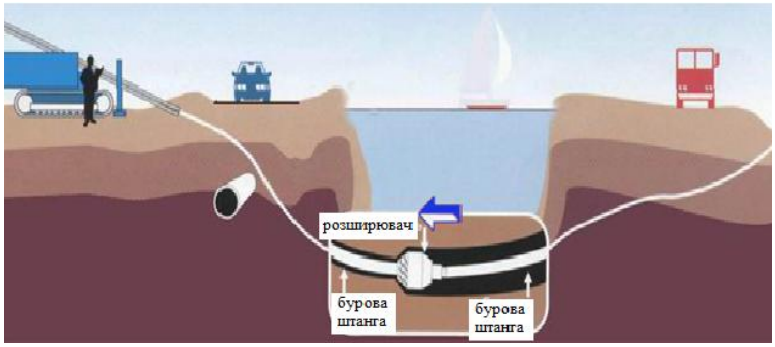


Рисунок 11.11 – Схема виконання розширення свердловини

3. Протягування трубопроводу.

Батіг трубопроводу кріпиться до штанги через розширювач і спеціальний шарнір (сережку), після чого машина ГНБ затягує її в свердловину. В процесі затягування так само використовується буровий розчин, щоб зменшити тертя і захистити трубу від механічних пошкоджень (рис. 11.12).

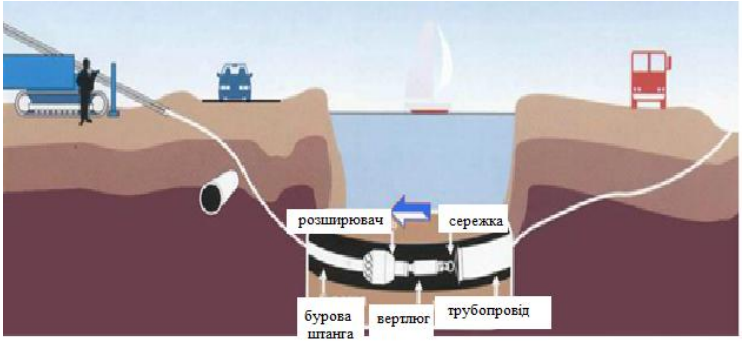


Рисунок 11.12 – Схема протягування трубопроводу

11.3. Реконструкція мереж при гідравлічному перевантаженні

Гідравлічне перевантаження, тобто зростання водоспоживання об'єкта порівняно з розрахунковим, позначається на умовах функціонування всіх елементів СПРВ. Збільшення подачі насосів другого підйому призводить до зменшення створюваних ними напорів, зростають втрати напору в водоводах і у водопровідній мережі, падають вільні напори у абонентів.

Підвищення продуктивності СПРВ досягається регулюванням режимів подачі і відбору води або шляхом посилення окремих елементів системи.

11.3.1. Регулювання режимів подачі і відбору води

Відомо, що елементи СПРВ розраховуються на максимальні часові витрати води, які фактично спостерігаються тільки декілька годин на добу. В інший час споруди завантажено частково. Тимчасова завантаженість об'єктів розглядається як ресурс, який використовується для подолання добового перевантаження.

Ступінчастий графік роботи НС-2 змінюється таким чином, щоб тривалість роботи ступені з найбільшою подачею була збільшена, якщо потрібно, до 24 годин. Іншими словами, станція переводиться на режим рівномірної цілодобової роботи, і добова подача води в мережу зростає. Перехід на одноступінчастий режим не вимагає переробок ні насосної станції, ні водоводів, оскільки для них зберігаються розрахункові умови.

Разом з тим виникає необхідність в підвищенні місткості водонапірних резервуарів на мережі, так як регулюючий обсяг стає більшим. У табл. 11.1 наводяться його значення в процентах від добової витрати води в залежності від коефіцієнта нерівномірності водоспоживання і при рівномірній цілодобовій подачі в мережу.

Таблиця 11.1

Регулюючі обсяги від добової витрати, %

$К_{год}$	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$W_р$	3,5	5,1	6,7	8,2	9.6	12,3	14,8	17,1	19,3	21,3	23,3	25,0

Для зменшення коефіцієнта нерівномірності ($К_{год}$) в обґрунтованих випадках передбачається зонування мережі по схемі на рис. 11.7. В зони виділяються великі промислові споживачі води, а також окремі райони забудови. Відносно дешеві прийомні резервуари зон вміщають додаткові регулюючі обсяги води і цим вирівнюють водорозбір протягом доби.

Перехід НС-2 на більш рівномірний режим роботи зменшує регулюючі обсяги в резервуарах чистої води і на стільки ж збільшує його в напірних або безнапірних резервуарах на мережі. Відповідно, зменшення коефіцієнта нерівномірності водорозбору в нижній зоні при регульованій подачі води в верхню зону зменшує регулюючий обсяг в нижній, але збільшує його у верхній зоні. Таким чином досягається тільки перерозподіл загального регулюючого обсягу між резервуарами зон і РЧВ.

Оскільки при реконструкції добова витрата води повинна збільшитись порівняно з проектним, сумарна місткість резервуарів системи збільшується.

Збільшення місткості резервуарів на мережі знижує тимчасові перевантаження, підвищує стійкість системи водорозподілу. Існує думка про доцільність збільшення місткості напірних і безнапірних резервуарів СПРВ. З іншого боку, тривале перебування в трубопроводах і резервуару може викликати погіршення якості води і неприпустиме зниження вмісту хлору, що є індексом санітарного стану. Як відомо, в таких випадках рекомендується хлорування з амонізацією. Хоча хлорамін, що утворюється, і володіє більш низькою, ніж хлор, бактерицидністю, проте довше зберігається у воді.

11.3.2. Реконструкція насосної станції другого підйому та водоводів

Вирішення цього завдання в загальних рисах розглянуто в підрозділі 10.1. Збільшення добової витрати води може вимагати заміни насосного обладнання, а перевищення пропускної спроможності водоводів досягається або підвищенням напору насосів першого підйому, або зниженням вільного напору в точці живлення мережі, або прокладкою додаткових ниток водоводів.

Найбільш перспективним способом регулювання насосів слід вважати збільшення числа оборотів. Можливості цього способу обмежені конструктивними і технічними характеристиками встановлених на станції насосів; максимально допустима кількість обертів вітчизняних водопровідних насосів не перевищує 2900-3000 об/хв. Іноді на станції встановлені насоси зі зменшеним діаметром робочого колеса; в цьому випадку можливе підвищення продуктивності шляхом заміни коліс. Якщо подача насосної станції другого підйому повинна бути суттєво збільшена, найчастіше заміняють насосні агрегати, або збільшують їх кількість

розширенням насосної станції.

Прокладка додаткових ниток водоводів призводить до зниження втрат напору і подача насосів підвищується. Аналогічні умови виникають, якщо при зонуванні передбачається зниження напору в точці живлення нижньої зони – напору H_1 (рис. 11.1).

Перевірочні розрахунки варіантів реконструкції зазвичай виконуються графоаналітичним шляхом з побудовою суміщених характеристик насосів і водоводів.

Наводимо аналітичний метод розрахунку.

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

$$H = S_{заг} Q^2 + \Delta$$

де $S_{заг}$ – загальний коефіцієнт опору водоводу, $с^2/м^5$; Q – розрахункова витрата води, $м^3/с$; $\Delta = H_{віл} + (Z_{mn} - Z_0)$; $H_{віл}$ – вільний тиск у точці живлення за результатами гідравлічного розрахунку існуючої водопровідної мережі, м; $Z_{mn} - Z_0$ – геодезичні відмітки у точці живлення і розрахункового рівня води в РЧВ, м.

Загальний коефіцієнт опору водовода, який складається з N паралельно розміщених ниток з коефіцієнтами опору $S_1, S_2, S_3, \ldots\ldots S_N$:

$$\frac{1}{\sqrt{S_{заг}}} = \frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \ldots + \frac{1}{\sqrt{S_N}}.$$

Якщо коефіцієнти опору всіх ниток N однакові і дорівнюють S, то:

$$S_{заг} = \frac{S_1}{N^2}.$$

Відповідно до відомої формули Е.А. Прегера, тиск, що створює центробіжний насос, визначається за формулою:

$$H_н = h_{пр}\beta^2 - S_н Q^2,$$

де $h_{пр}$, $S_н$ – параметри, які залежать від типового розміру насоса (див. табл. 11.2); $\beta = n_ф / n_б$ – коефіцієнт, рівний відношенню прийнятого числа обертів насосу $n_ф$ до базового числа обертів $n_б$.

За умов сумісної паралельної роботи центробіжних насосів на водоводі із декількох ниток:

$$h_{пр}\beta^2 - S_н\left(\frac{Q}{N_н}\right)^2 = S_{заг}Q^2 + \Delta.$$

З цього рівняння легко визначати значення показників, які повинні змінюватися під час процесу реконструкції. Пропускна здатність водоводу:

$$Q = \sqrt{\frac{h_{пр}\beta^2 - \Delta}{S_{заг} + \frac{S_н}{N_н^2}}}.$$

Таблиця 11.2

Параметри деяких водопровідних насосів

Марки	Діаметр робочого колеса, мм	Базове число обертів, об/хв	Область застосування			Параметри	
			Q, м^3/ч	H, м	η, %	$h_{пр}$, м	$S_н$, с^2/м^5
10 Д6	465	1450	70–170	72–53	72–75	78	792
	432	1450	70–170	60–42	72–75	64	750
10 Д9	366	1450	80–180	47–40	72–75	49	269
	345	1450	80–160	40–28	72–75	44	632
	325	1450	80–130	35–25	72–75	41	950
12 Д6	545	1450	140–300	100–70	68–70	109	426
	495	1450	140–260	80–60	68–70	88	417
14 Д6	660	1450	240–512	130–80	68–70	158	284
	610	1450	240–480	115–70	68–70	132	265
12 Д9	432	2950	120–280	58–40	68–70	67	219
	395	2950	120–260	52–32	68–70	63	376
	365	2950	120–220	42–27	68–70	48	441
14 НДС	540	1450	230–600	100–80	72–75	103	65
	510	1450	230–560	88–65	72–75	93	88
	480	1450	230–530	85–55	72–75	86	110
12 НДС	460	1450	180–440	72–52	72–75	76	125
	440	1450	180–400	62–48	72–75	66	110
	400	1450	180–380	52–40	72–75	55	107
20 НДс	765	960	450–1200	85–50	65–70	90	28

При паралельній роботі $N_н$ однакових насосів:

$$H_н = h_{пр}\beta^2 - S_н\left(\frac{Q}{N_н}\right)^2.$$

При реконструкції, передбачаючи зміни числа обертів насосу, дане число визначається по формулі:

$$n_ф = n_б \sqrt{\frac{\left(S_{заг} + \frac{S_н}{N_н^2}\right) Q^2 + \Delta}{h_{пр}}}.$$

При реконструкції з прокладкою додаткової нитки водної артерії, її діаметр визначається наступним чином. Величина коефіцієнту опору, з урахуванням додаткової нитки, визначається за формулою:

$$S_{заг} = \frac{h_{пр}\beta^2 - S_н \left(\frac{Q}{N_н}\right)^2 - \Delta}{Q^2}.$$

Опір додаткової нитки визначається по додатковій формулі:

$$S_x = \left(\frac{1}{\frac{1}{\sqrt{S_{заг}}} - \frac{1}{\sqrt{S^*_{заг}}}} \right)^2$$

де $S^*_{заг}$ – загальне значення опору існуючого водоводу (до реконструкції).

Коефіцієнт питомого опору труб додаткової нитки, с^2/м:

$$A = S_x / L,$$

де L – довжина додаткової нитки, м.

По значенню A і по [51] визначається діаметр труб із прийнятого матеріалу (чавун, сталь та інші).

Якщо реконструкція передбачає збільшення кількості паралельно працюючих насосів, тоді вона визначається за залежністю:

$$N_н = \sqrt{\frac{S_н Q^2}{h_{пр}\beta^2 - S_{заг} Q^2 - \Delta}}.$$

Приклад. На насосній станції другого підйому встановлені чотири насоса марки 12Д-6 з діаметром робочого колеса 495 мм, що працюють при числі обертів $n_ф = n_б$ об/хв. Два насоса робочі, два – резервні. Вода подається

по водоводу з двох ниток однакового діаметра завдовжки 5 км. Вільний напір у точці живлення $H_{ВІЛ}$=50 м, висота підйому води $Z_{ТП}$–Z_0=8 м. При подачі $Q_ф$= 0,3 м^3/с насоси створюють напір H=80 м.

Розглянути можливі варіанти реконструкції насосної станції і водоводів з метою збільшення подачі не менше ніж до Q=0,4 м^3/с. Можливі такі варіанти: заміна робочих коліс на колеса діаметром 545 мм; збільшення числа обертів насосів, прокладка додаткової третьої нитки водоводу, установка в насосній станції додаткового насосного агрегату.

Попередньо визначається коефіцієнт опору існуючого водоводу:

$$S^*_{заг} = \frac{H - \Delta}{Q^2_ф} = 214 \text{ с}^2/\text{м}^5.$$

Значення параметрів насоса 12Д-6 з діаметрами робочого колеса 495 і 545 мм приймаємо з табл. 11.2.

Подача при збільшенні діаметра робочого колеса насоса.

$$Q = \sqrt{\frac{109 \cdot 1^2 - 58}{244 + \frac{436}{2^2}}} = 0,38 < 0,4 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Розглянемо той же варіант за умови зменшення вільного напору в точці споживання, що має бути враховано при реконструкції водопровідної мережі і не завжди можливо.

$$\Delta = h_{пр}\beta^2 - \left(S_{заг} - \frac{S_н}{N^2_н} \right) Q^2 = 109 \cdot 1 - 0,4^2 \left(244 + \frac{426}{4} \right) = 53 \text{ м}.$$

Оскільки висота підйому $Z_{ТП}$–Z_0=8 м залишається незмінною, вільний тиск в точці живлення повинен бути зменшений на 58–53=5 м і складе 50–5=45 м. Варіант реконструкції вимагає невеликого обсягу робіт.

Збільшення числа обертів існуючих насосів.

$$n_ф = 1450 \sqrt{\frac{\left(244 + \frac{417}{4} \right) 0,4^2}{88}} = 1648 \text{ об/хв}.$$

При реконструкції необхідна заміна або переробка двигунів і установка частотних перетворювачів струму, зменшення числа обертів знову встановлюваних двигунів (наприклад, від 2900 до 1648 об/хв, тобто більш ніж на 40%, що може виявитися неекономічним).

Прокладка додаткової нитки водоводу.

Розглядається два підваріанти: без зміни і зі зміною діаметра робочого

колеса насосів.

Діаметр робочого колеса не змінюється *(495 мм).*

$$S_{заг} = \frac{109 - 417\left(\frac{0,4}{2}\right)^2 - 58}{0,4^2} = 83,25\ c^2/м^5,$$

$$S_x = \left(\frac{1}{\frac{1}{\sqrt{83,25}} - \frac{1}{\sqrt{244}}}\right)^2 = 400\,c^2/м^5,$$

$$A_{розр} = 400/5000 = 0,08\ c^2/м^5.$$

По табл. 3.4. [51] прийняті труби чавунні напірні класу А, діаметром 500мм.

Діаметр робочого колеса збільшується *(545 мм).*

$$S_{заг} = \frac{109 - 436\left(\frac{0,4}{2}\right)^2 - 58}{0,4^2} = 209,75\ \text{с}^2/\text{м}^5.$$

$$S_x = \left(\frac{1}{\frac{1}{\sqrt{209,75}} - \frac{1}{\sqrt{244}}}\right)^2 = 40000\ \text{с}^2/\text{м}^5.$$

$$A_{розр}=40000/5000=8\ \text{с}^2/\text{м}^5.$$

Прийнято чавунні труби класу ЛА діаметром 200 мм.

Варіанти пов'язані з великим обсягом робіт. Збільшення діаметра робочого колеса насоса дозволяє значно знизити їх вартість.

Реконструкція зі збільшенням кількості насосних агрегатів.

Розрахунок здійснюється для насосів з робочим колесом діаметром 495 мм.

$$N_н = \sqrt{\frac{S_н Q^2}{h_{пр}\beta^2 - S_{заг}Q^2 - \Delta}} = \sqrt{\frac{417 \cdot 0,4^2}{88 + 138 \cdot 0,4^2 + 58}} \approx 3\text{шт}$$

Збільшення кількості робочих насосів до трьох вимагає складних робіт з реконструкції будівлі насосної станції та комунікацій всередині станції.

Вибір варіанту потребує більш детального опрацювання і техніко-економічних обґрунтувань.

Як зазначалося, одночасно з вибором схеми реконструкції насосної станції другого підйому та водоводів слід вирішити питання реконструкції водопровідної мережі і мережевих споруд (резервуари, насосні станції третього підйому).

Так, у лютому 2020 року було закінчено реконструкцію «Ломовської насосно-фільтрувальної станції» у місті Дніпро. Дана станція забезпечую питною водою лівий берег м. Дніпра та м. Новомосковськ. і майже без хлору. Тепер Ломовська насосно-фільтрувальна станція працює з новими насосами, фільтрами (рис. 11.13).

Замінили цех знезараження, встановили нові фільтрувальні системи. Замінили все насосне обладнання на енергозберігаюче. Перейшли на нову технологію знезараження. Це дало можливість зекономити хлор. Вартість реконструкції становить 80 мільйонів гривень

Проведена реконструкція станції першого і другого підйомів, блоку фільтрів, реагентного господарства з автоматизацією процесу водопідготовки, побудували пелетну котельню.

На станції замінили зношене і застаріле насосне обладнання на нове енергоефективне, що дозволяє економити електроенергію на 35%. Відновили працездатність споруд очистки питної води, включаючи заміну трубопроводів, арматури, фільтруючого завантаження фільтрів (замість піску та активованого вугілля замінили на цеоліт та активоване вугілля), дренажної системи. Старі ж поки зберігаються на території станції.

Рисунок 11.13 – Технологічне обладнання на Ломовській насосно-фільтрувальній станції

Будівництво котельні на 100% дозволило відмовитися від використання природного газу, що призвело до економії плати за енергію на 70%.

У 2018-му виконали всі основні роботи з реконструкції станції. Все придбане і змонтоване обладнання – автоматизоване. На самій станції провели будівельно-монтажні роботи, а також замінили технологічні трубопроводи насосної станції та електропостачання. Роботи завершили і об'єкт ввели в

експлуатацію.

Вода з річки Дніпро перед тим, як потрапити в квартири городян, проходить такі етапи обробки:

- дві групи відстійників;
- фільтри;
- дохлорування питної води;
- надходить в резервуари чистої води, яка потім йде в квартири дніпрян.

Після модернізації сама система роботи не змінилася, а лише почали додавати реагент – Амопол. Це економить хлор і після очищення вода не містить важкі метали. В середньому, процедура очищення займає чотири години.

Досягнуто поліпшення якості питної води та зниження споживання електроенергії на 20-25%.

На сьогодні вода, яка подається, на 100% відповідає всім питним нормам.

ГЛАВА 12.

Реконструкція станції очистки води для централізованих систем

У цій монографії розглянуто шляхи реконструкції станцій очистки (водопровідних станцій), призначених для обробки води з поверхневих джерел другої категорії забруднення. Вода таких джерел потребує освітлення, знебарвлення і дезінфекції. У більшості випадків технологія водопідготовки включає два ступені очищення (відстійники або освітлювачі і фільтри) з подальшим знезараженням. У технологічному процесі використовують коагулянти, флокулянти, вапно або соду, хлор; знезараження передбачає хлорування, рідше – озонування або бактерицидне опромінення.

Норми, за якими проектувалися водопровідні станції в 50-90х рр., змінені. Основні зміни стосуються посилення вимог до якості питної води по епідеміологічним і паразитологічним показниками.

Повсюдне погіршення якості води поверхневих джерел водопостачання, викликане антропогенними і техногенними причинами, вимагає підвищення бар'єрної ролі водопровідних станцій. Під бар'єрністю розуміється спроможність очисних споруд затримувати забруднення, що містяться у вихідній воді.

Відомо, що двоступенева очистка дозволяє затримати грубо-дисперсні домішки і дестабілізовані колоїди, зокрема ті, що обумовлюють кольоровість води.

Глибоке очищення від цист найпростіших досягається тільки в добре освітленій воді, каламутність якої не повинна перевищувати 0,5 мг/л. Зазвичай після освітлення каламутність досягає 1,5 мг/л, що відповідає стандарту якості, але недостатньо для знешкодження недостатньо якісної у санітарно-гігієнічному відношенні води.

Технологія очищення не виключає появи в воді деяких другорядних забруднень. Так, після застосування алюмінієвих коагулянтів в лужній воді з pH більше 7,5 з'являються аніони алюмінію AlO_2^-; під час хлорування висококольорової води, або такої, що містить інші органічні сполуки, утворюються токсичні хлорорганічні сполуки (чотирихлорний вуглець, хлороформ та ін.), при озонуванні – токсичні озоляти (альдегіди, феноли, хінон, бромати). Хлорорганічні сполуки і озоляти знаходяться в молекулярному стані.

У багатьох поверхневих джерелах, в тому числі таких великих, як Дніпро, Дунай, в останні роки реєструються молекулярно-розчинені забруднюючі домішки (вуглеводні нафти, СПАР, феноли) в концентраціях, що перевищують ГДК. До молекулярно розчинених відносяться і такі небезпечні речовини, як поліароматичні з'єднання – діоксини. Поверхневі

води нерідко містять в неприпустимо високих концентраціях іони важких металів.

Двоступінчасте очищення води не розраховано на затримання молекулярних і іонних домішок. Для підвищення бар'єрної ролі станції необхідні зміни в технології очищення.

Другою характерною причиною реконструкції є перевищення проектної продуктивності станцій. Нарешті, можливі ситуації, коли одночасно присутні обидві причини реконструкції: підвищення бар'єрної ролі і збільшення продуктивності.

12.1. Реконструкція для підвищення бар'єрної ролі станції

12.1.1. Зміна технології очищення

При реконструкції повинна бути вирішена задача по очищенню води від забруднень, які залишаються в процесі коагуляції, відстоювання і контактної коагуляції, а також не руйнуються при прехлоруванні. Методи очищення від зазначених специфічних забруднень підрозділяяются на регенеративні і деструктивні. До перших слід віднести сорбцію і іонний обмін, до других – хімічну та біохімічну деструкцію. Другі методи (наприклад, гіперфільтрація, електродіаліз і т.д.) в умовах обробки великих обсягів води економічно недоцільні.

Операції по підвищенню бар'єрної ролі проводяться одночасно з основними, прийнятими на існуючій станції процесами покращення якості води або при додатковій доочистці.

На рис. 12.1 приведена технологічна схема однієї з водопровідних станцій, розрахованої на затримання нафтопродуктів, фенолів, хлорфенолів, поліароматичних вуглеводнів, пестицидів, а також на глибоке знезараження води.

В технологічному процесі передбачено двоступеневе хлорування, озонування та двоступенева сорбція з використанням порошку і гранул активованого вугілля. В якості додаткових окислювачів використовується перманганат калію.

Процес очищення максимально інтенсифікується за рахунок застосування найбільш ефективних реагентів (оксихлорид алюмінію, флокулянти, озон в поєднанні з ультрафіолетовим опроміненням та ін.).

Для вибору технічних рішень, що найбільше відповідають конкретним місцевим умовам, необхідні досить довготривалі натурні дослідження з використанням напіввиробничих установок.

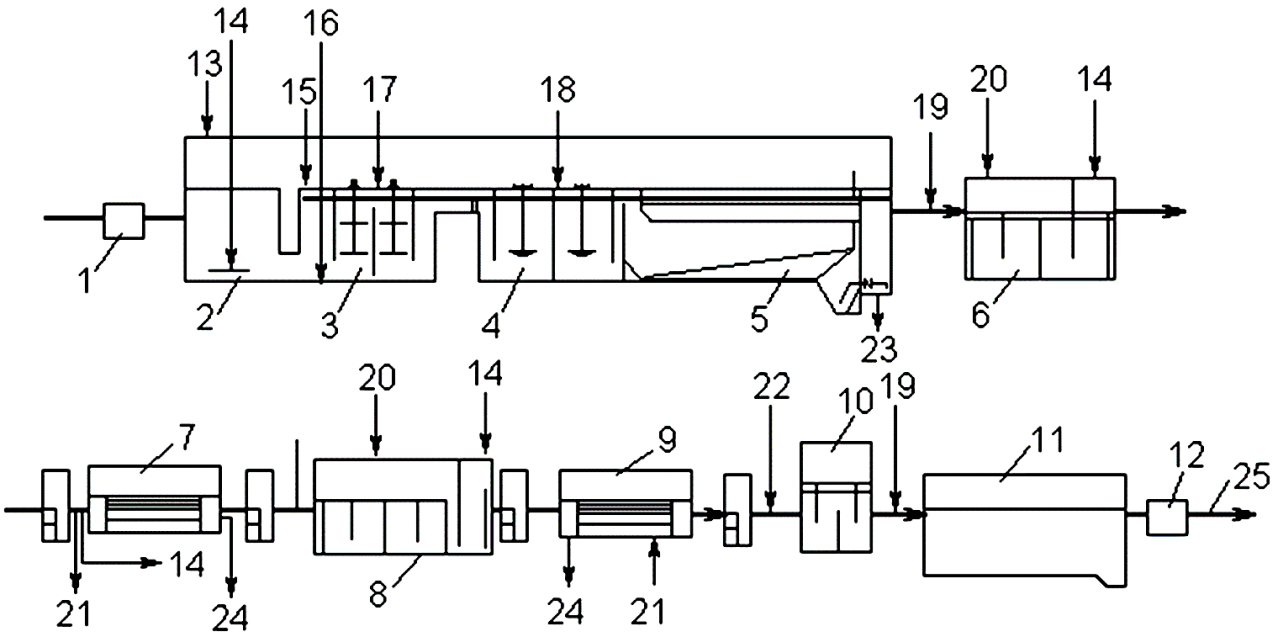


Рисунок 12.1. Технологічна схема водопровідної станції: 1 - насосна станція першого підйому; 2 -контактний басейн; 3 - швидкодіючий змішувач; 4 - флокулятор; 5 - тонкошаровий відстійник; 6 -контактний резервуар первинного озонування; 7 - піщаний фільтр; 8 - контактний резервуар вторинного озонування; 9 - вугільний фільтр; 10 - розподільна камера; 11 - резервуар чистої води; 12 - насосна станція другого підйому; 13 - перманганат калію; 14 - повітря; 15 - коагулянт; 16 - хлор; 17 - вугілля ПАУ; 18 - флокулянт; 19 - вапно; 20 - озон; 21 - промивна вода; 22 - аміак, хлор; 23 - осад на зневоднення; 24 - у водостік; 25 - в місто

12.1.2. Очищення адсорбцією

При адсорбції молекул на поверхні адсорбенту відбувається зниження їх вільної енергії. Чим більше зниження, тим більше енергії адсорбції, тим стійкіше і інтенсивніше протікає процес. Вважається, що сорбція застосовна, якщо енергія знижується не менше ніж на 16-18 кДж/моль.

Серед речовин, що добре сорбуються– феноли і інші похідні бензолу, похідні нафталіну; дещо гірше сорбуються хлороформ і дихлоретан, а також аліфатичні аміни. Іони сорбуються погано, так як вони гідратовані і гідратна оболонка перешкоджає необхідному зближенню частинки з поверхнею сорбенту. Оскільки деякі речовини здатні дисоціюватися і в залежності від pH води переходити з молекулярної в іонну форму і навпаки, водневий показник в процесі сорбції коригується.

При виборі адсорбентів слід враховувати, що поверхні тих з них, які є гідрофільними, покриті молекулами води, що ускладнює контакт з частинками забруднень (селикогелем, алюмогели, глини, алюмосилікати). Тільки ті молекули, які мають значно быльшу енергією адсорбції, здатні витісняти молекули води з поверхонь гідрофільних сорбентів і сорбуватися на

них (високомолекулярні сполуки, СПАР з довгими вуглеводневими радикалами, деякі барвники). В інших випадках слід використовувати гідрофобні сорбенти, до яких відносяться: активоване вугілля, а також вуглецево волокнисті матеріали (ВВМ). Для очищення води застосовуються порошкове (ПАВ) і гранульоване (ГАВ) активоване вугілля. Характеристики деяких вітчизняних ГАВ і ПАВ наводяться в табл. 12.1.

Таблиця 12.1

Характеристики активованого вугілля для очищення води

Вид	Марка	Насипна щільність, г/дцЗ	Розмір фракцій, мм
ПАВ	ОУ-Л	227-271	менше 0,1
	УАФ	275-337	менше 0,1
ГАВ	АГ-З	279 -341	1,0-2,5
	ЛГ	252-308	1,0-2,5
	АГ-5	252-3 09	0,5-1,5

Процес сорбції триває до досягнення рівноваги, коли ступінь насичення сорбенту молекулами забруднювача відповідає їх вмісту у воді. Графік, що зв'язує значення рівноважних концентрацій сорбуючого речовини в воді і в сорбенті при постійній температурі, називається ізотермою сорбції.

У ряді випадків рівняння ізотерми сорбції описується формулою І. Ленгмюра:

$$a = a_{\infty} \frac{C \cdot B}{1 + C \cdot B},$$

де a – вміст забруднення в сорбенті; C – вміст забруднення в воді; B, a_{∞} – постійні, що залежать від виду забруднення, виду сорбенту і температури води.

У тих випадках, коли експериментально встановлено непридатність формули Ленгмюра, користуються емпіричним рівнянням Фрейндліха:

$$\frac{x}{m} = kC^{1/n},$$

де m – вага адсорбента, k та n – емпіричні параметри.

З цих рівнянь випливає, що чим більше концентрація забруднень у воді, тим більше і рівноважний вміст забруднень у сорбенті і навпаки. Оскільки ГДК забруднень у воді питної якості незначні, наприклад, фенолу всього 0,001 мг/л, насиченість сорбентів після використання також буде мала. Регенерація сорбенту може проводитися деструктивним методом (хімічне окислення з використанням сильних окиснювачів), або переведенням сорбованих забруднень в дисоційований стан.

Якщо очищення сорбцією проводиться епізодично протягом обмеженого

періоду часу, доцільно застосовувати активоване вугілля у вигляді порошку. Вугільна суспензія з концентрацією 5-10% подається в потік води зазвичай до введення коагулянту. Вугілля разом із завислими речовинами затримується у відстійниках і фільтрах.

При концентрації ПАВ менше 5-10 мг/л суспензію слід вводити після першого ступеня очищення, тобто перед фільтрами.

Реконструкція передбачає створення ділянки для готування вугільної суспензії, установку додаткового дозатора суспензії, змішувача і проміжної камери реакції, розрахованої на потрібну тривалість контакту вугілля з молекулярними водними забрудненнями. Суспензію готують в герметизованих мішалках, куди ПАВ завантажують в тарі (паперові мішки). Перед використанням, для того, щоб простір частинок вугілля заповнився водою, його заливають водою та залишають на не менше ніж 1 год, але не більше 4 год для уникнення зниження сорбційної здатності.

Великі молекули високомолекулярних речовин (наприклад гумінових) затримуються в супермікропорах і мезопорах, через що тривалість контакту, необхідного для досягнення рівноважного стану, виявляється більшою, ніж для низькомолекулярних (амонійний або нітритний азот). Це пояснюється тим, що великі молекули затримують переважно в мікропорах, де велике напруження енергії абсорбції і де взаємодіють абсорбції потенціалів протилежних стінок [91].

Тривалість контакту сорбенту з водою найчастіше складає 10-15 хвилин. Значення повинні бути перевірені експериментально, так як залежать від якості води, сорбційного матеріалу і умов перемішування. Неправильно призначена тривалість контакту призводить до грубих помилок.

На рис. 12.2 представлена схема реконструкції водопровідної станції із застосуванням порошкоподібного активованого вугілля. Вугільна пульпа, приготована в баку *2* , насосом-дозатором *3* подається в змішувач – СІТЕЛ *4* і змішується з сирою водою. Суміш по обвідній лінії надходить в камеру реакції, де перемішується протягом розрахункового часу, після чого надходить в існуючу технологічну лінію *7-8-9-11* в точці *А*, перед фільтрами в точці *Б*. Якщо технологією очищення передбачено попереднє хлорування, то хлорна вода може вводитися разом з вугільною пульпою в змішувач *4*.

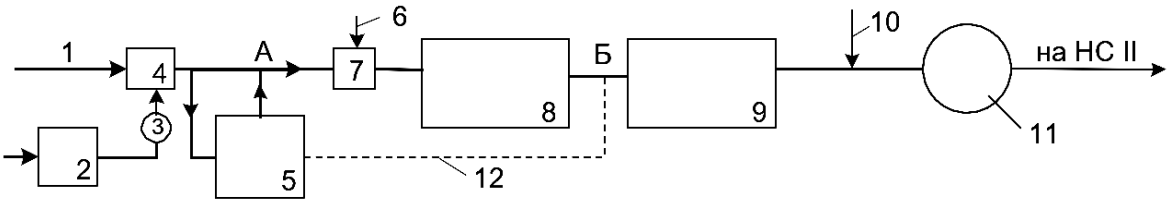


Рисунок 12.2 – Технологічна схема очищення з вуглюванням: *1* - подача сирої води; *2* - установка для замочування ПАУ і приготування вугільної пульпи; *3* - насос-дозатор; *4* - змішувач; *5* - камера реакції; *6* - введення реагентів; *7* - змішувач; *8* - відстійник або освітлювач зі зваженим осадом; *9* - фільтр; *10* - введення хлорної води; *11* - РЧВ; *12* - повернення води

Як відомо, на поверхні активованого вугілля відбувається концентрація речовин, що беруть участь в хімічній реакції, і окислення хлоруванням інтенсифікується. У періоди, коли якість води в джерелі не вимагає сорбційної обробки, блок вуглювання відключається.

Розглянутий метод сорбції називається статичним. Основна розрахункова величина при проектуванні вузла вуглювання є доза сорбенту, мг/л:

$$D = \frac{C_{en} - C_{ex}}{a},$$

де C_{en}, C_{ex} – концентрація забруднень у воді до і після очищення, мг/л; a – рівноважна (по відношенню до C_{ex}) концентрація забруднень в сорбенті, мг/л.

Приклад 12.1. Визначити дозу активного вугілля УАФ-3 для видалення з річкової води фенолів. Вихідна концентрація фенолу C_{en}= 0,006 мг/л; кінцева (після очищення) C_{ex} = 0,001 мг/л.

Рішення:

1. $a = 31,6 \cdot 0,001^{0,3} = 3,98$ мг/л.

2. $D = \dfrac{0,006 - 0,001}{3,89} = 1,3$ мг/л.

Оскільки в оброблюваній воді зазвичай присутні конкуруючі молекулярно розчинені домішки, доза ПАВ повинна уточнюватися експериментально і часто вона значно перевищує розрахункову.

Зауважимо, що дози ПАВ при усуненні СПАР, присмаків і запахів води досягають декількох десятків мг/л.

Визначення місткості баків для приготування суспензії ПАВ і камер реакції виконується за звичайними методиками.

Приклад 12.2. Визначити розміри камер реакції і баків для приготування суспензії, якщо доза ПАВ становить D=50 мг/л, а розрахункова продуктивність водопровідної станції дорівнює 1000 м/год.

Рішення.

1. Визначаємо робочу місткість установки для приготування суспензії (приймаємо: концентрація ПАВ P=6%; кількість затворів на добу n=6):

$$W = 0,0024\frac{DQ}{Pn} = 0,0024\frac{50 \cdot 1000}{6 \cdot 6} = 3,3\,\text{м}^3.$$

2. Визначаємо місткість баків–камер реакції. Кількість баків m=2 (тривалість контакту ПАВ з водою приймаємо 15 хвилин, або 0,25 годин):

$$W = \frac{Qt}{m} = \frac{1000 \cdot 0,25}{2} = 125\ \text{м}^3.$$

Баки обладнуються системою барботажа повітрям, що перешкоджає випаданню осадів.

Перед надходженням води в змішувачі та відстійник передбачається відділення повітря.

Великі обсяги баків створюють труднощі при їх розміщенні на станції. Зазвичай блоки вуглювання розміщують в прибудові до існуючої будівлі або в окремій будівлі.

Якщо сорбційне очищення потрібне постійно або більшу частину року, воду фільтрують через шар гранульованого сорбенту крупністю 1,5-3,00 мм (динамічна сорбція).

Рівноважна концентрація забруднень в сорбенті при динамічній сорбції на 15-20% нижче, ніж при статичному. Відповідні показники визначаються дослідним шляхом, а орієнтовно можуть підраховуватися за формулами Ленгмюра або Фрейндліха з введенням понижуючого коефіцієнта. Сорбційні фільтри встановлюють після існуючих фільтрів і перед введенням хлору.

Можливе двоступеневе введення хлору: для знезараження – перед сорбційними фільтрами і з дозою, необхідною для профілактичного хлорування і підтримки необхідної концентрації в мережевій воді.

У тому випадку, коли сорбційна ємність достатня для завантаження протягом декількох місяців, її регенерація не є доцільною і вона ліквідується.

Фільтри обладнуються дренажем і епізодично промиваються з інтенсивністю 3-4 л/см^2. Промивання необхідне для видалення грубодисперсних домішок, що залишаються в фільтрованій воді.

Сорбційні фільтри використовуються як в безнапірному, так і в напірному виконанні. Товщина шару завантаження залежить від швидкості фільтрації залежністю:

$$H = V \cdot t,$$

де H і V – товщина шару, м, і швидкість фільтрації, м/год; t – тривалість контакту сорбенту із забрудненою водою, год.

Тривалість контакту залежить від багатьох конкретних умов (якість води, сорбенту, крупність завантаження та ін.) і має визначатися експериментально. Найчастіше тривалість контакту складає 0,33-0,25 год, тобто 15-20 хвилин.

Швидкість фільтрації сама по собі мало впливає на ефективність процесу і приймається від 5-6 до 25-30 м/год. Втрати напору при фільтрації залежать від середньої крупності фракцій сорбенту і від швидкості V (рис. 12.3).

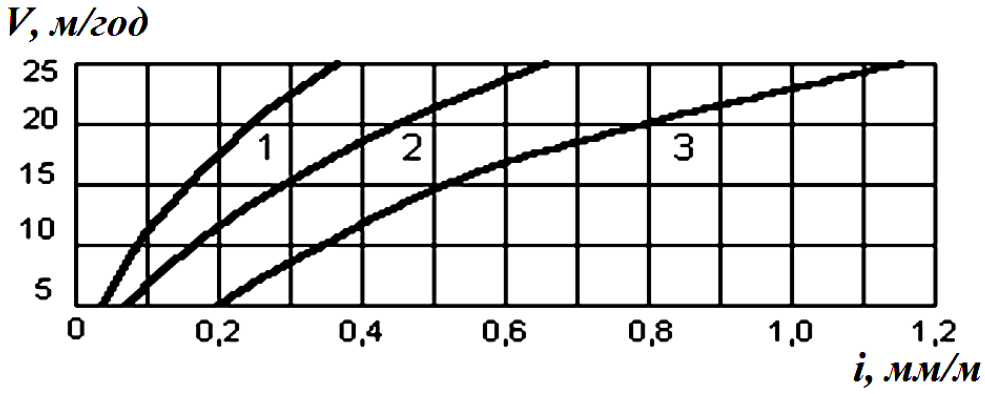


Рисунок 12.3 – Гідравлічний ухил при фільтрації через шар гранул активованого вугілля при швидкості фільтрації *V*: 1 – середній діаметр зерен 2 мм; 2 – те ж 1,5 мм; 3 – те ж 1,0 мм

По мірі вичерпання сорбційної ємності завантаження, товщина відпрацьованого шару підвищується. Сорбційна ємність вважається використаною, якщо захисний шар сягає мінімально допустимого значення і його подальше зменшення приводить до погіршення якості води (рис. 12.4)

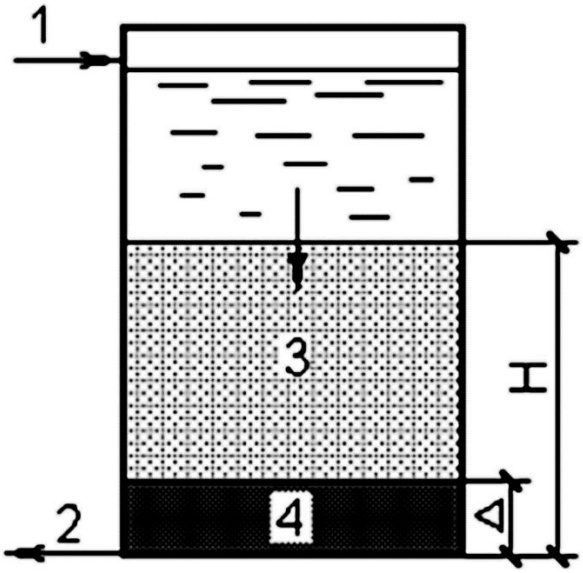


Рисунок 12.4 – Схема використання сорбційного фільтру: 1 – подача води; 2 – відведення води; 3 – відпрацьований шар; 4 – захисний шар

Завантаження сорбційних фільтрів замінюється не менше ніж після двох років експлуатації. Сорбційні фільтри мають безгравійні дренажі великого опору (ковпачкові, щілинні, із пористих труб) і конструкції, аналогічні конструкціям звичайних швидких фільтрів.

Гідравлічна транспортна система, що використовується для завантаження і вивантаження вугілля, складається з гідропідйомників і труб (з гуми або сталі) з витків радіусу 5-10 діаметрів труб. На трубах не встановлено арматуру.

Швидкість пульпи приймається від 1 до 1,5 м/с

Фільтри періодично промиваються, що усуває їх замулювання і ущільнення вугілля. Режим промивки (частота, інтенсивність, ступінь розширення вугілля, тривалість) уточняється експериментально. Відповідно ПТЕ [47] після кожної промивки протягом 10 хвилин скидається перший фільтрат.

Річні втрати вугілля із-за промивок складають 10%.

Розрахунок сорбційних фільтрів ілюструється наступним прикладом.

Приклад 12.3. Визначити основні габарити і кількість сорбційних фільтрів для наступних умов: продуктивність Q=1000 м^3/год; вміст розчинених нафтопродуктів початкове $C_{еп}$ =0,3 мг/л; кінцевих $C_{ех}$=0,1 мг/л; рівноважна концентрація в сорбенті при $C_{ех}$ a=100 мг/г, або 0,10 т/т, завантаження – активоване вугілля АГ-3 із середнім розміром фракцій 2 мм, з насипною щільністю γ=340 кг/м^3. Експериментально встановлено, що при швидкостях фільтрування, менших 10-15 м/год, товщина не повністю відпрацьованого шару становить 0,4 м. Тривалість контакту води із завантаженням t=0,3 год.

Рішення.

1. Виходячи з конкретних умов реконструкції, приймаємо 4 фільтра розміром в плані 6х6 м^2; загальна площа фільтрації F=4·6·6=144 м^2.

2. Швидкість фільтрації:

$$V=1000/144=6,9 \text{ м/год.}$$

3. Товщина відпрацьованого шару завантаження:

$$H=6,9\cdot 0,3=2,23 \text{ м.}$$

Прийнято 2,3 м

4. Кількість забруднень, що сорбуються у відпрацьованому шарі перед заміною сорбенту:

$$G = H\cdot F\cdot \gamma\cdot h\cdot a=2,3\cdot 144\cdot 340\cdot 0,33\cdot 0,1=3,75 \text{ т.}$$

5. Тривалість циклу:

$$T_ц = \frac{G}{(C_{еп} - C_{ех})Q} = \frac{3,75\cdot 10^6}{(0,3-0,1)1000} = 18,5\cdot 10^3 \text{год або } 2,1 \text{ роки}.$$

Заміна завантаження проводиться в міру необхідності, але не рідше, ніж через 2,1 року.

6. Товщина шару завантаження (повна):

$$H_{пов}=H+0,4=2,3+0,4=2,7 \text{ м.}$$

7. Втрати напору при фільтрації (і=0,05 м/м):

$$h_l = H_{пов} \cdot i = 2{,}7 \cdot 0{,}05 = 0{,}135 \text{ м.}$$

Обсяг робіт при реконструкції досить значний. Крім фільтрів необхідно передбачити проміжний резервуар для фільтрованої води і насоси для її подачі на сорбційні фільтри (рис. 12.5).

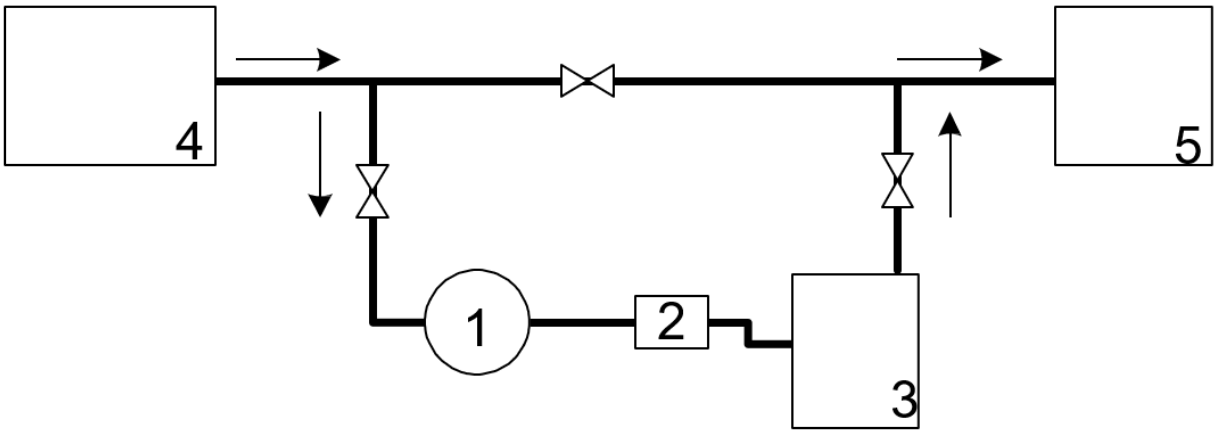


Рисунок 12.5 – Схема включення сорбційних фільтрів:
1 – проміжний резервуар; 2 – насосні установки; 3 – сорбційні фільтри;
4 – існуючі фільтри; 5 – РЧВ

12.1.3. Деструктивна очистка

У практиці водопостачання деструкція водних забруднень проводиться найчастіше хімічним окисленням з використанням хлору або озону.

Окислення – багатоетапний процес, що супроводжується утворенням ряду проміжних продуктів, частина з яких являються водними забрудненнями. Повна деструкція з розкладом речовини на складові елементи важко досяжна. Зазвичай процес завершується на етапі утворення продуктів, які не є забрудненнями, так як їх концентрація не перевищує ГДК.

Оскільки концентрація продуктів окислення залежить від вмісту у вихідній воді окиснюваної речовини, професор Г.І. Николадзе ввів поняття про критичний вміст останньої [61]. Якщо концентрація водної домішки (наприклад фосфорорганічні пестициди або СПАР) перевищує критичне значення, окислення в чистому вигляді замало, тому воно має бути поєднаним з іншими методами очищення, наприклад з сорбцією.

Процес окислення, як правило, потребує інтенсифікації. Це зв’язано, по-перше, з відносно низькими концентраціями забруднень у вихідній воді (в іншому випадку джерело визнається непридатним для використання) і, по-друге, зі стійкістю деяких з'єднань по відношенню до окислення. До них відносяться багато СПАР, пестициди, барвники, частина вуглеводнів, що входять до складу нафти та ін.

Інтенсифікація, що забезпечує збільшення швидкості окислення і глибшу

деструкцію водних домішок, досягається наступним:

– застосуванням підвищених порівняно з стехіометричними значеннями доз окиснювачів;

– створенням умов для підвищення концентрації реагуючих речовин в реакційній зоні;

– застосуванням каталізаторів і активізацією окиснювачів.

Проходження хімічних реакцій і, в тому числі, окислення залежать від якості води, складу домішок, виду застосовуваного окиснювача, температури, pH та інших чинників.

Умови оптимізації у всіх випадках визначаються експериментально. Підвищення доз окиснювача прискорює процес, так як підвищується ймовірність результативного контакту між реагуючими речовинами, але після реакції залишається невикористаний окиснювач. Надлишок озону мало небезпечний, так як озон саморозкладається, і його вміст в воді швидко знижується. Надмірний хлор розглядається як забруднювач і його слід видаляти дехлоруванням.

Згущення реагуючих речовин і утворення областей їх підвищеної концентрації призводить до тих же результатів, що і збільшення доз окиснювача. Технічно це досягається заповненням реакційної зони зернистим, бажано гідрофобним матеріалом, на поверхні якого накопичуються реагуючі речовини. Найкращим заповнювачем є активоване вугілля.

Під впливом тривалого впливу окиснювачів, особливо озону, можливе часткове руйнування і погіршення якості активованого вугілля, що може вимагати його періодичної заміни.

Процес окислення інтенсифікується оксидами багатовалентних металів, які є каталізаторами процесу. Часто застосовується піролюзит, суміш окислів марганцю. Використовують й інші метали: нікель, мідь, залізо. За участю каталізаторів формуються нестійкі комплекси, після розпаду яких перерозподіляється енергія хімічних зв’язків в молекулах окиснювача і з'являються нові, більш реакційно-здатні сполуки. Наприклад, при pH=7-8 при контакті з каталізаторами активний хлор, що знаходиться частково в стані хлорнуватої кислоти, а частково – у вигляді гіпохлорит-іона, трансформується з утворенням найсильніших окиснювачів – атомарного кисню і вільного радикала OH^-.

Швидкість окислення на порядок і більше зростає, якщо перевести електрони, що входять до складу атомів окиснювачів, в збуджений стан. Збудження досягається, зокрема, фотолізом, тобто опроміненням води, обробленої окиснювачами, ультрафіолетовими променями. Наприклад, озон при фотолізі руйнується і переходить в форму вільних радикалів OH^-.

Про ефективність застосування різних окиснювачів, які використовуються при очищенні питної води, можна судити за даними табл. 12.2.

Таблиця 12.2

Ефективність використання окиснювачів [43]

Вид чи характеристика забруднення	Вид окиснювача				
	Кисень повітря	Cl_2	ClO_2	O_3	$KMnO_4$
Залізо	++	++	++	+++	+
Марганець	0	+	++	+++	+++
Кольоровість	0	+	+	++	0
Запах, присмак	+	+/-	+	+++	0
Амоній	0	+	0	0	0
Органічні речовини	0	+	+	+	0
Відновлюючі речовини	0	++	++	++	+
Біоокислюючі речовини	0	-	-	++	0
Знезаражені забруднювачі	0	++	++	++	0

Примітка. 0 – без прямої дії; – негативний вплив; + слабкий вплив; ++ сильний вплив; +++ дуже сильний вплив.

Знезаражуючий вплив дезінфектантами оцінюється добутком дози реагенту С, мг/л, на тривалість контакту з мікроорганізмами або найпростішими Т, хв. У табл. 12.3 наводяться значення СТ для деяких окислювачів за умови знезараження на 99%. З табл. 12.3 випливає, що найкращі показники (мінімальні значення СТ) відносяться до озону.

Таблиця 12.3

Значення СТ при знезараженні (З досвіду фірми «Дегремон»)

Організми	озон РН 6 ... 7	хлор РН 6 ... 7	хлорамін РН 8 ... 9	двоокис хлору РН 6 ... 7
Е-колі	0,02	0,03-0,05	95-180	0,4-0,75
Полівіруси	0,1-0,2	1,1-2,5	770-3500	0,2-0,7
Ротавіруси	0,006-0,06	0,01-0,05	3860-6480	0,2-2,1
Цисти Гиардия лямбліі	0,5-0,6	15-150	до 2200	26,0
Те ж Мюріс	1,8-2,0	30-630	до 1400	7,2-18,5
Кріптоспорідіум	2,8-18,4	до 7200	до 7200	до 78

Розглянемо міркування, якими керуються при виборі найбільш часто вживаних окиснювачів: хлору і озону.

Застосування хлору обґрунтовується тим, що хлорне господарство присутнє на більшості водопровідних станцій. Крім того, хлорування має і економічні переваги порівняно з озонуванням.

Недоліком хлорування є небезпека хлору як отруйної речовини, а отже, часто виникає необхідність в дехлоруванні. Окислювальна здатність хлору менша, ніж озону, і під час хлорування інтенсифікація процесу більш актуальна, ніж при озонуванні.

Остання обставина розглядається як велика перевага озону, необхідні дози якого істотно нижчі, ніж хлору.

Недоліки озонування полягають у відносно великій кількості обсягів реконструкції, пов'язаної з розміщенням озонаторних установок і реакторів, а також у зниженні безвідмовності порівняно з установками хлорування і в підвищенні енергоємності процесу очищення.

Реактори з активованим вугіллям для інтенсифікації процесу окислення найчастіше виконуються у вигляді герметичних резервуарів. Необхідна тривалість перебування води в реакторі визначається дослідним шляхом і для легкоокисних водних домішок, наприклад, фенолів, становить 0,1-0,15 години, а для інших домішок виявляється істотно більшою.

Розроблено технічні рішення з реконструкції типових водопровідних станцій із застосуванням озонування та динамічної сорбції для забезпечення глибокого очищення води [60].

За схемою (рис. 12.6) передбачена можливість подвійного озонування: передозонування для часткового руйнування найменш стійких забруднень перед відстійниками або освітлювачами зі зваженим осадом і постозонування для досягнення глибокого окислення перед сорбційними фільтрами. При постозонуванні вода надходить в проміжну ємність, розраховану на 0,5 години перебування води, для розкладання розчиненого у воді надлишкового озону і захисту вугільної загрузки сорбційних фільтрів. Встановлено, що при такій схемі озонування відбувається біохімічна регенерація сорбенту і збільшення терміну його використання на 20-30%. Одночасно збільшується ступінь очищення, так як під впливом озону на стадії постозонування багато органічних домішків переходять в біологічно розкладні форми. Хлорне господарство станції зберігається і призначається для профілактичного хлорування перед резервуаром чистої води. Схема не виключає заміну передозонування передхлоруванням.

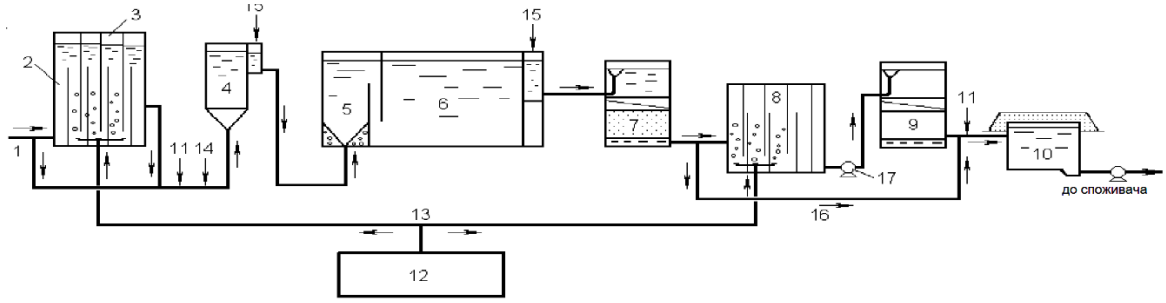


Рисунок 12.6 – Принципова технологічна схема очищення води з застосуванням озонування і сорбційної фільтрації: *1* – подача вихідної води; *2* – повітрявідокремлювач; *3* – контактна камера первинного озонування; *4* – змішувач; *5* – камера пластівцеутворення; *6* – відстійник; *7* – швидкий піщаний фільтр; *8* – контактна камера вторинного озонування; *9* – сорбційний зольний

фільтр; *10* – резервуар чистої води; *11* – подача хлору (постійна або періодична); *12* – озонаторна установка; *13* – подача озоно-повітряної суміші; *14* – введення коагулянту; *15* – введення флокулянта; *16* – обвідні трубопроводи; *17* – насосна станція підкачки

Розглянута технологія підвищує бар'єрну роль водопровідної станції, забезпечуючи очищення води, що містить техногенні забруднення з несприятливими мікробіологічними та паразитологічними показниками.

На генплані (рис. 12.7) вказані додаткові споруди, які потрібні при реконструкції: озонаторна, контактні камери для постозонування, будівля сорбційних фільтрів та ін. Реконструкція виконується в припущенні, що ніяких великих будівельних робіт в будівлі існуючої водопровідної станції не повинно виконуватися і не буде потрібне її відключення.

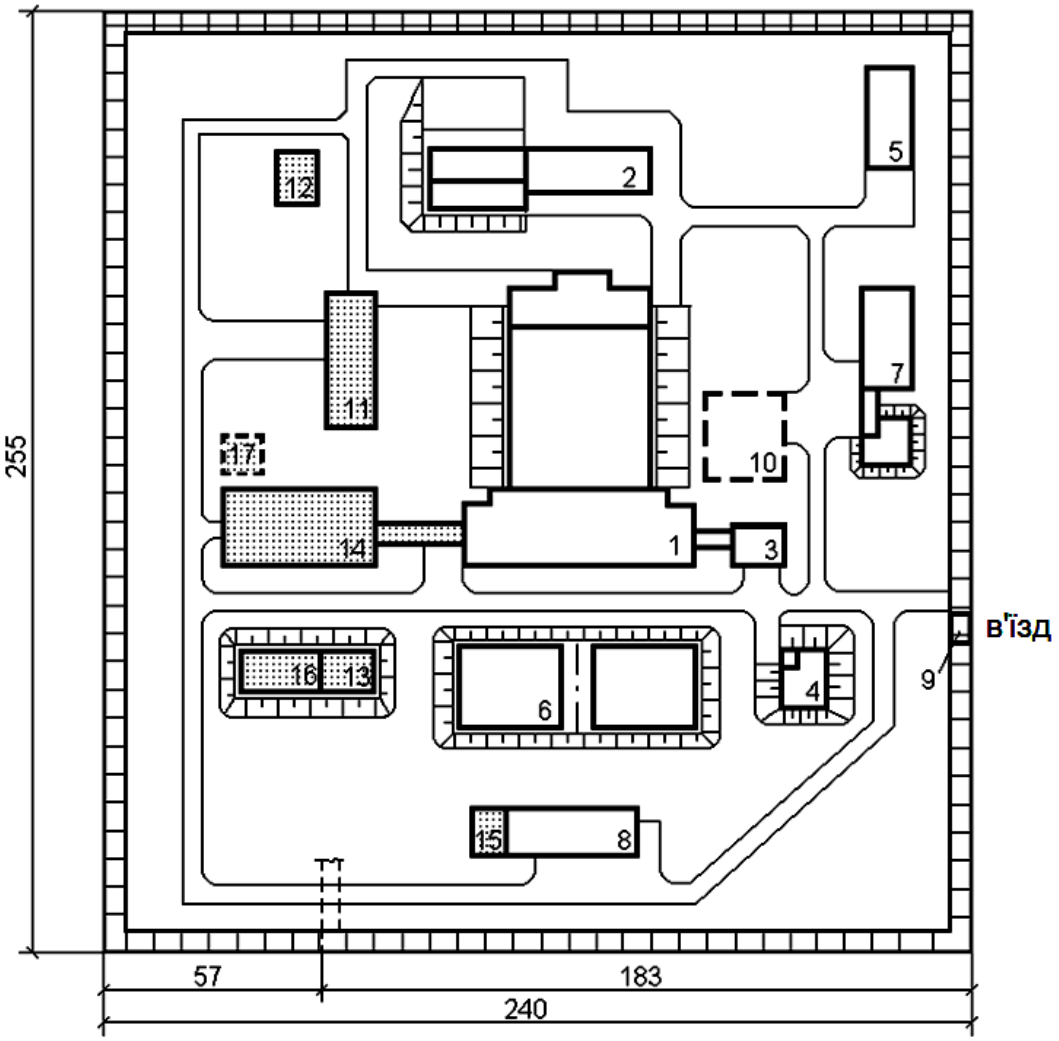


Рисунок 12.7 – Генеральний план майданчика очищення води продуктивністю 50 тис.м^3/добу (реконструкція): *1* – блок вхідних пристроїв, відстійників і фільтрів; *2* – реагентне господарство; *3* – службовий корпус; *4* – споруди з обігу промивної води фільтрів; *5* – хлораторна; *6* – резервуари чистої води; *7* – споруди для обробки осаду відстійників; *8* – насосна станція другого підйому; *9* – прохідна; *10* – місце піщаного майданчика; *11* – озонаторна установка; *12* –

контактна камера первинного озонування; *13* – контактна камера вторинного озонування; *14* – блок сорбційних вугільних фільтрів; *15* – насосна станція підкачки; *16* – проміжний резервуар; *17* – місце майданчика для вугілля

12.2. Реконструкція при гідравлічному перевантаженні

Водопровідні станції розраховуються на середньочасову витрату за добу максимального водоспоживання. Перевищення розрахункової витрати викликає перевантаження всіх основних елементів станції. При розробці проекту реконструкції їх фактична продуктивність повинна бути перевірена розрахунками і уточнена з наявного досвіду експлуатації.

Лімітуючим елементом, що обмежує підвищення витрат, є самопливні комунікації, по яких вода надходить від однієї споруди до іншого. Перевищення витрат викликає підтоплення споруд, розташованих вище по технологічній лінії.

Збільшення пропускної здатності комунікацій досягається або нарощуванням стінок споруд, розташованих вище даної ділянки, або прокладкою паралельно існуючим додаткових лотків або трубопроводів. Те чи інше рішення залежить від конкретних умов реконструкції.

Результати реагентної обробки і освітлення води вирішальним чином впливають на ефективність всього процесу очищення. Разом з тим, гідравлічне перевантаження погіршує ефект очищення у відстійниках, освітлювачах зі зваженим осадом, а іноді – фільтрах. При ньому порушуються нормальні процеси в змішувачах і камерах пластівцеутворення.

Може знадобитися збільшення місткості затворів, розчинних баків і резервуарів чистої води, баків мокрого зберігання реагентів, а іноді – заміна частини насосно-силового обладнання. Реконструкція здійснюється шляхом посилення окремих елементів станції без зміни або зі зміною проектних технологічних схем. В останньому випадку, наприклад, відстійники переобладнуються під флотатори, а фільтри із зернистим завантаженням – в фільтри з плаваючим завантаженням і т.д.

Вибраний варіант реконструкції обґрунтовується і, зокрема, виходячи з умов виконання робіт і допустимості повного або годинного відключення станції на період реконструкції.

12.2.1. Реконструкція основних споруд водопровідної станції

Камери пластівцеутворення і горизонтальні відстійники. Камери пластівцеутворення перегородчастого або вихрового типів, як правило, сполучені з горизонтальними відстійниками. Призначення камер полягає у створенні умов для утворення добре сформованих пластівців, що володіють

досить великою гідравлічною крупністю.

Збереження стійкого ефекту очищення води у відстійниках і освітлювачах зі зваженим осадом при гідравлічному перевантаження в значній мірі залежить від якості пластівців, що утворюються при коагуляції, їх кількості і щільності. В оптимізації пластівцеутворення важливу роль відіграє процес змішування води з реагентами: він повинен бути короткочасним і проходити в умовах інтенсивного перемішування зі значеннями градієнта більше 200-300 1/с.

На багатьох водопровідних станціях встановлено гідравлічні змішувачі: вихрові, перегородчасті або дірчасті. Зазвичай, градієнт перемішування в гідравлічних змішувачах рідко перевищує 100 1/с, а іноді становить 30-50 1/с. Для поліпшення перемішування, наприклад в вихрових змішувачах, розчин реагенту вводиться за допомогою перфорованих розподільчих труб, причому витік розчину з отворів супроводжується утворенням затоплених струменів, а градієнт швидкості витікання дещо підвищується (до 120-150 1/с). Найбільш радикальним слід вважати розміщення в існуючих змішувачах камер механічного високошвидкісного змішування з використанням мішалок різних типів.

Професор Г.Г. Ніколадзе каже, що механічне змішування зменшує потребу в воді у відстійниках або освітлювачах із шаром зваженого осаду, тобто збільшує їх фактичну продуктивність порівняно з розрахунковою. Крім того, досягається значна (до 25%) економія коагулянту. Про ефективність високоградієнтного механічного перемішування свідчить і графік на рис. 12.8 (лінія 3)

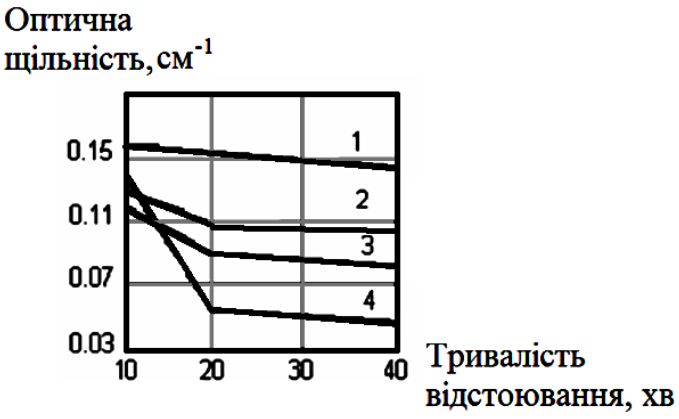


Рисунок 12.8 – Ефект механічного змішування в змішувачі (ЗМ) і камері пластівцеутворення (КП) на процес освітлення води при відстоюванні: 1 – без перемішування; 2 – низькоградієнтне перемішування КП; 3 – високоградієнтне перемішування в ЗМ; 4 – змішування в КП і ЗМ

Процесс пластівцеутворення в обробленій коагулянтами воді залежить від його тривалості і режиму перемішування. Комплексний показник, за яким можливо судити про перспективи пластівцеутворення – критерій Кемпа, що дорівнює похідній добутку тривалості перемішування і градієнта швидкості перемішування. Оптимальні значення критерію Кемпа встановлюються з урахуванням виду реагенту, каламутності, кольоровості і pH води і найчастіше

складають кілька десятків тисяч одиниць. Щоб уникнути подрібнення пластівців, градієнт швидкості приймається не більше 50-60 1/с.

Перегородчасті камери утворення пластівців розраховуються на перебування води протягом 1200-1800 секунд, а вихрові – 450-1000 секунд.

Поліпшення гідравлічних умов перебування води в вихрових камерах підвищує їх продуктивність. Особливу увагу слід звернути на конструкції вузла подачі і відведення води. На рис. 12.9. приведена схема реконструкції вихрових камер водопровідної станції. За проектом, збір води в камерах проводиться незатопленими жолобами, що мають вікнами для прийому води.

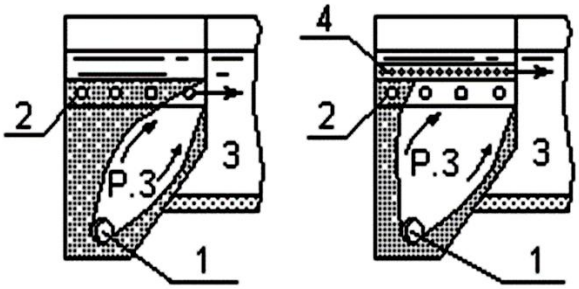


Рисунок 12.9 – Реконструкція камер пластівцеутворення вихрового типу: *а* – до реконструкції; *б* – після реконструкції; Р.З. – робоча зона; *1* – перфорована труба для подачі води; *2* – збірні жолоби відкритого типу; *3* – горизонтальний відстійник; *4* – перфоровані напівтруби, що перекривають жолоби

При експлуатації жолоб був затоплений, що призвело до нерівномірного потоку в кінцеві ділянки жолобів. В результаті, робочий об’єму був скорочений, а коефіцієнт використання об’єму складає 2,8. Під час реконструкції жолобів вони були перекриті напівтрубами, отвори в яких створювали гідравлічні опори, достатні для рівномірного потоку по всій довжині жолобів. Як результат, коефіцієнт використання склав 1,75, а робоча зона суттєво зросла.

Підвищення продуктивності камер досягається за рахунок скорочення тривалості процесу, для чого слід створювати спеціальні, більш сприятливі умови пластівцеутворення.

Пластівцеутворення поліпшується у псевдозрідженому шарі зернистого матеріалу, на поверхні частинок якого йде контактна коагуляція водних забруднень і гідроксидів металів (заліза, алюмінію). Зі зашламованого псевдозрідженого шару виносяться добре сформовані пластівці, що надходять з потоком води у відстійник.

В якості зернистого матеріалу використовують природні і керамзитні піски, подрібнений антрацит, а також гранули спіненого полістиролу, що утворюють плаваючий фільтр, який зверху утримується сіткою. Висхідна швидкість в камерах з піщаним псевдозрідженим шаром, залежно від матеріалу і розміру фракцій піску, досягає 3-4 мм/с, а спадна, в разі застосування полістиролу – до 5-6 мм/с.

В результаті стає можливим істотно збільшити навантаження на одиницю

об'єму камер (в 3-4 рази).

Контактні камери утворення пластівців рекомендуються при очищенні маломутних кольорових вод. Крім інтенсифікації пластівцеутворення, їх застосування покращує седиментаційні властивості пластівців. Повітряне перемішування оптимізує процес і дозволяє підвищити продуктивність відстійників до 50% і більше [70].

Витрата повітря становить 5-10% від витрати води.

На рис. 12.10 приведена схема камери утворення пластівців сумісно з горизонтальним відстійником. Повітророзподільні труби Ø15 мм розміщуються по всій площі дна камери; отвори в трубах розраховуються на витікання повітря зі швидкістю не більше 0,7-0,8 м/с. Обсяг зони повітряного перемішування повинен бути достатній для перебування в ньому води протягом 8-12 хв.

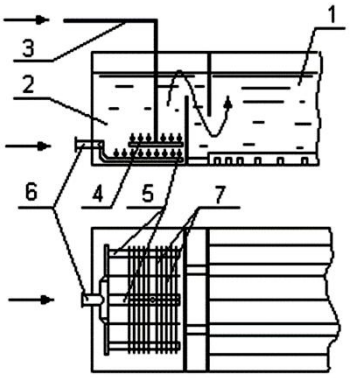


Рисунок 12.10 – Камера пластівцеутворення з повітряним перемішуванням:1 – горизонтальний відстійник; 2 – камера пластівцеутворення; 3 – подача повітря; 4 – повітрярозподільчі труби; 5 – водорозподільчі труби; 6 – подача коагульованої води; 7 – трубопровід подачі води

На станціях з вихровими камерами пластівцеутворення останні демонтуються, і повітряне перемішування здійснюється безпосередньо у відстійниках, для чого виділяється частина обсягу останніх.

Додатковою перевагою схем з повітряним перемішуванням є видування вуглекислого газу, що призводить до збільшення розмірів пластівців осаду.

На рис. 12.11 приведена схема рециркуляційної камери пластівцеутворення. Коагульована вода після змішувача подається в камеру соплами 6 зі швидкістю до 1 м/с і надходить в рециркулятор 3, виконаний за схемою струминного апарату. Підсос в рециркулятор осаду призводить до поліпшення його контакту з водними забрудненнями. Переміщуючись послідовно з однієї секції пластівцеутворення в іншу, осад додатково насичується твердими частинками і його щільність і гідравлічна крупність пластівців зростають. Аналогічні результати досягаються в камерах пластівцеутворення, обладнаних мішалками. Такі камери рекомендуються при очищенні каламутних природних вод, а про ефективність механічного перемішування можна робити висновок за графіком на рис. 12.8.

Французька фірма "Дегремон" застосовує схему з зовнішнім контуром рециркуляції осаду в поєднанні з обробкою спеціальними обважнювачами.

Збільшення гідравлічної крупності пластівців дозволило багаторазово підвищити питоме навантаження на поверхню відстійників і цим скоротити їх розміри: від 30 тис. м^2 до 1,1 тис. м^2 на водопровідній станції в Шанхаї (Китай) і від 20 тис. м^2 до 5 тис. м^2 в Каїрі (Єгипет) [52, 53].

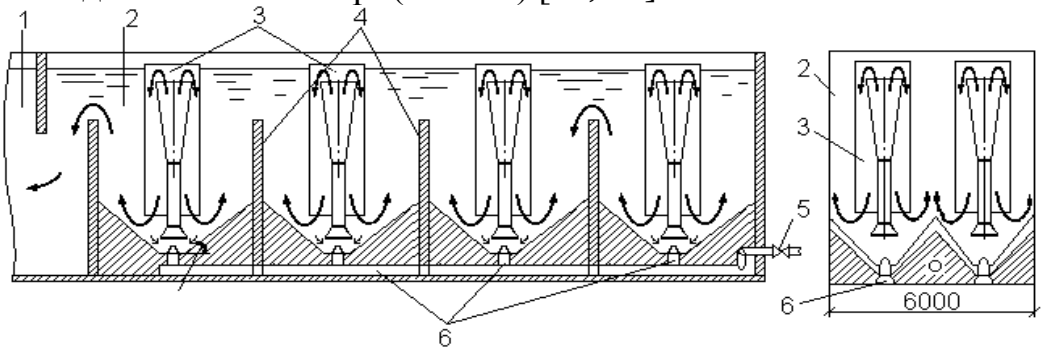


Рисунок 12.11 – Камера пластівцеутворення з рециркуляцією осаду: 1, 2 – відстійник і камера пластівцеутворення; 3 – рециркулятор; 4 – перегородки, що ділять об'єм камери на послідовно працюючі секції; 5 – подача вихідної води; 6 – розподільна труба з соплами

Регульоване механічне перемішування води, високоградієнтне в змішувачах і низькоградієнтне в камерах пластівцеутворення, позитивно впливає на освітлення у відстійниках, що добре проілюстровано на графіках на рис. 12.8. На перших етапах відстоювання при оптимізації режиму перемішування формуються пластівці, які мають більші гідравлічні крупності і забезпечують захоплення значної частини грубодисперсних водних забруднень (лінія 4).

Як відомо, основні розміри горизонтальних відстійників визначаються залежністю:

$$L = H_p \frac{V_{cp}\beta}{U_0},$$

де L, Hp – довжина і глибина зони осадження (робоча глибина) відстійника; V_{cp} – середня швидкість горизонтального руху води у відстійнику; U_0 – швидкість осадження суспензії, яка приймається в залежності від каламутності води, яка б враховувала її реагентну обробку (коагуляцію і флокуляцію); β – коефіцієнт використання об'єму:

$$\beta = \frac{t_T}{t_\Phi} > 1,$$

де t_T, t_ϕ – теоретична і фактична тривалість перебування води в споруді.

Зростання гідравлічного навантаження призводить до збільшення горизонтальної швидкості і довжина відстійника виявляється недостатньою, потрібний ефект очищення не досягається. Відновлення ефекту можливо двома

шляхами: збільшенням гідравлічної крупності пластівців або зменшенням значення коефіцієнта використання об'єму. У першому випадку слід підвищити щільність пластівців, у другому – покращити гідравлічні умови у відстійнику і усунути причини, що викликають утворення вихорів в потоці води.

Для підвищення гідравлічної крупності пластівців, що надходять в відстійники, як зазначалося, камери утворення пластівців реконструюються таким чином, щоб підвищити концентрацію в пластівцях твердих домішок великої щільності. Особливо актуальна така реконструкція при очищенні маломутних і кольорових вод.

У типових проектах, за якими велося будівництво більшості міських водопровідних станцій, збір очищеної в горизонтальних відстійниках води проводився через отвори в торцевій перегородці. Для цієї схеми коефіцієнт використання об’єму приймали 1,3, що, мабуть, сильно занижене. Коефіцієнт використання об’єму істотно зменшується, якщо виконувати поверхневий розосереджений відбір води з відстійника приблизно на останніх 60-70% його довжини. Для збору води застосовуються відкриті лотки з бічними вікнами у вигляді трикутних водозливів, а якщо є небезпека обмерзання лотків – телескопічні перфоровані труби, заглиблені під рівень води на 0,4-0,5 м, і підвішені до перекриття. Вилив з водозбірних лотків або труб повинен бути вільним, без підтоплення.

Подібна реконструкція відстійників на водопроводі р. Барнаул забезпечила зростання продуктивності на 26% при поліпшенні якості відстоювання води. У коридорах відстійників шириною по 6 м розміщувалися водозбірні труби на взаємній відстані 3,0 м. Збірні лінії мали телескопічну схему (діаметри труб магістрального трубопроводу 150, 200 і 250 мм); отвори для збору води приймалися діаметром 50 мм [59].

Горизонтальні відстійники розраховані на умови «коркового» режиму руху води. При порушенні цієї умови виникає поперечна циркуляція або зворотні течії, що негативно позначається на коефіцієнті використання об’єму. Усунення таких негативних явищ досягається шляхом розміщення у відстійнику поздовжніх перегородок, що утворюють проточні канали обмеженої ширини (до 3,0-4,5 м). Поздовжні вихори, що утворюються при недостатньому співвідношенні глибини і довжини відстійника, ліквідуються поперечними дірчастими перегородками, що створюють підпір. При реконструкції горизонтальних відстійників у Кривому Розі з установкою двох перегородок, що мають отвори 110 мм в 8 і 20 метрах від входу в відстійник, коефіцієнт використання об'єму зменшився від 2,5 до 1,4. Загальна площа отворів в кожній перегородці становила 6-7% площі живого перетину [63].

Зауважимо, що таку реконструкцію слід проводити з обережністю і перевіряти її ефективність в процесі експлуатації. Перегородки, що створюють підпір, можуть викликати нерівномірне накопичення осадів і додаткове утворення вихорів, а при витіканні води через отвори в перегородках формуються затоплення струменя з приєднаними вихорами.

Істотне підвищення (в 2 і більше разів) продуктивності досягається при

переобладнанні відстійників в тонкошарові. Тонкошарове відстоювання надзвичайно ефективно, так як проходить в міжполичному просторі, де створюється ламінарний режим руху, при якому повністю реалізується кінетична нестійкість грубодисперсних домішок і відсутня турбулентна пульсація швидкостей, що перешкоджає осадженню. Мала висота полиць скорочує довжину траєкторії осадження частинок.

При розрахунку тонкошарових модулів виходять з того, що число Рейнольдса не повинно перевищувати 500-600, а число Фруда – 10-5. Остання умова пов'язана з тим, що потік, для якого число Фруда велике, нестійкий: у ньому виникають вихори і утворюються зворотні течії.

При розрахунку тонкошарових модулів розрахункова гідравлічна крупність U_0 визначається експериментально з кінетики осадження в шарі товщиною 10-15 см. Коефіцієнт використання об'єму приймається в межах 1,6-1,3.

Попередньо задаються значеннями h_{pe}, α (рис.12.12).

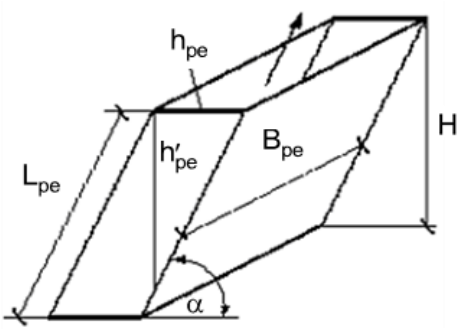


Рисунок 12.12 – Схема полиці

Чим більший кут нахилу, тим більше заглиблення модуля H і менше площа, яку займає модуль в плані. Тому кут нахилу модуля обирається з урахуванням габаритів відстійника, що реконструюється.

Рекомендується наступний порядок розрахунку:

1. Задаються допустимою глибиною H і кутом нахилу α; визначають будівельну довжину полиці L_{pe}.

2. Визначають робочу довжину полки L^p_{pe} =(0,7…0,75) L_{pe}. В межах робочої довжини відсутні вихори, що викликаються місцевими опорами на виході з модуля.

3. Задаються висотою полиці h_{pe} і визначають глибину полиці по вертикалі:

$$h'_{pe} = \frac{h_{pe}}{\cos\alpha}$$

4. З залежності $(V \cdot B)/U_n = L^p_{pe}/h_{pe}$, визначають V – швидкість руху води в міжполичному просторі.

5. Знаходять мінімальне значення гідравлічного радіуса потоку в міжполичному просторі. За умови, що:

$$Fr \le 10^{-5}, R_{\min} = 10^5 \frac{V^2}{g}.$$

6. Задаються шириною полки $B_{pe} \le$ 3-6 м, і визначають гідравлічний радіус R:

$$R = \frac{h_{pe} B_{pe}}{2\ h_{pe} + B_{pe}} \le R_{\min}.$$

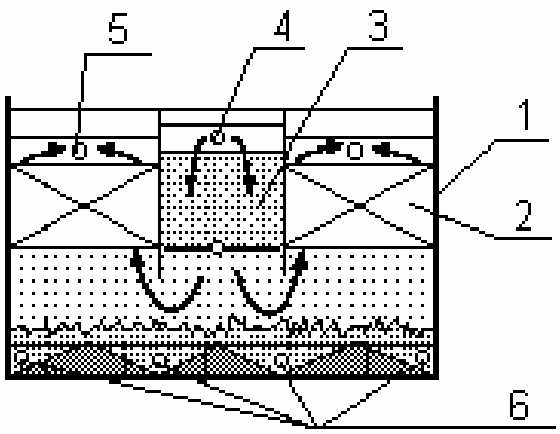
7. Визначають число Рейнольдса:

$$\mathrm{Re} = \frac{VR}{\upsilon} \le 500...800.$$

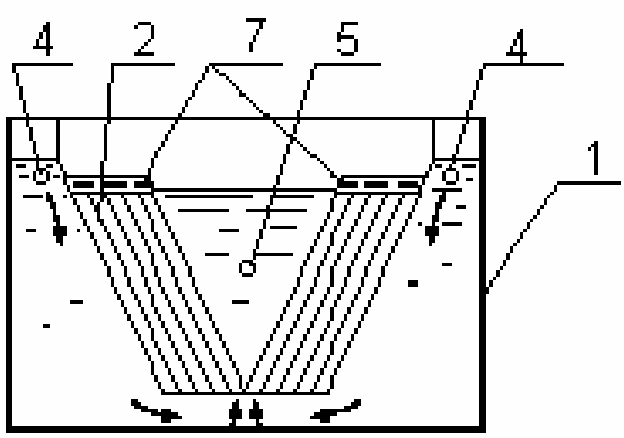
Якщо зазначена умова не виконана, то зменшують значення B_{pe}, встановлюючи додаткові перегородки.

На рис.12.13, а – варіант конструкції тонкошарового відстійника. Блоки розміщені послідовно уздовж поздовжніх стін відстійника. Рівномірний розподіл води між блоками забезпечується відводом очищеної води з окремих блоків по перфорованим трубам великого опору.

На рис. 12.13, б приведена схема реконструкції відстійника з обладнанням його тонкошаровими модулями у поєднанні з камерою пластівцеутворення з повітряним перемішуванням [70]. Крім відомого ефекту повітряного перемішування, таке рішення забезпечує рівномірність розподілу води між полицями і поліпшення коефіцієнта використання об’єму в поличному просторі (β=1,1). Модулі виконуються з плівки або тонких листів синтетичних матеріалів. Нахил полиць до горизонту приймається від 45 до 60, висота полиць до 0,1 м, ширина (по фронту виходу) до 1-3 м. З огляду на важливість рівномірного розподілу води між полицями, її подачу і відведення виконують по перфорованим трубам.



а



б

Рисунок 12.13 – Схема обладнання відстійника тонкошаровими модулями: 1 – корпус відстійника; 2 – поличні модулі; 3 – камера пластівцеутворення; 4 – подача води; 5 – відведення води; 6 – напірна система видалення осаду; 7 – відведення води з модулів а, б

Освітлювачі зі зваженим осадом. Збільшення гідравлічного навантаження на освітлювачі зі зваженим осадом призводить до підвищення висхідної швидкості, а в результаті – до зниження ступеня очищення води. Для визначення напрямку реконструкції розглянемо основну теоретичну залежність, яка визначала ефект освітлення в псевдозрідженому шарі:

$$Э = 1 - e^{-x}; X = \frac{x}{V} DC^{*},$$

де *Э* – ефект освітлення; *X* – безрозмірний комплекс, критерій подібності процесу; *x* – товщина шару осаду; *V* – висхідна швидкість; *B* – емпіричний коефіцієнт, що залежить від якості води і осаду; *C** – вагова (масова) концентрація твердої речовини в осаді.

З наведених формул випливає, що при збільшенні *V* ефект очищення можна зберегти при відповідному збільшенні товщини шару *x*, або ваговій концентрації *C**, або того чи іншого одночасно.

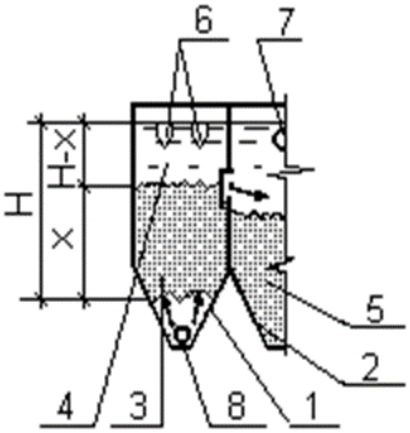


Рисунок 12.14 – Схема освітлювача: *1* – освітлювач; 2 – осадоущільнювач; 3 – зона очищення у зваженому шарі; 4 – зона освітлення; 5 – зона ущільнення осаду; 6 – збірні лотки; 7 – збірна дірчаста труба; 8 – подача води

Як випливає з рис. 12.14, в освітлювачі формується дві зони: зваженого осаду і освітлення, що мають приблизно однакові товщини (2,0-2,5 м). Збільшення їх призводить до зменшення товщини зони освітлення і зниження її затримуючої здатності. Відновлення затримуючої здатності зони освітлення досягається при розміщенні в ній тонкошарових модулів. Згідно [46] питоме навантаження, віднесено до площі дзеркала води в зоні освітлення, приймається в залежності від якості природної води і становить для маломутних і

кольорових вод після їх коагуляції від 3 до 3,5 $м^3/год·м^2$, вод середньої каламутності – від 3,6 до 4,5, а каламутних вод – від 4,6 до 5,5 $м^3/год·м^2$. Ці навантаження на 20-25% більше тих, за якими визначається площа зони при відсутності тонкошарових модулів. Таким чином, варіант реконструкції, який передбачає зміну висоти положення вікон для відведення осаду в накопичувачі осаду і збільшення за рахунок цього продуктивності освітлювача на 10-20% технологічно можливий.

Збільшення вагової концентрації досягається багаторазовими контактами пластівців осаду з грубодисперсними домішками вихідної води. Тут застосовні ті ж прийоми, що і при поліпшенні осадження пластівців в камері пластівцеутворення відстійників, тобто багатократне змішування осаду з водою. На рис. 12.15 приведена схема освітлювача з рециркуляцією осаду, в якій використаний той же прийом, що і в камерах пластівцеутворення з рециркулятора. У зв'язку з додатковим спучуванням осаду при роботі рециркулятора, в області освітлення осадоущільнювача доцільно встановити тонкошарові модулі. Рециркуляція особливо ефективна при очищенні малокаламутної і кольорової води, після коагуляції якої утворюються пластівці з дуже малою ваговою концентрацією твердих частинок. Рециркуляція дозволяє підвищити висхідну швидкість в освітлювачі на 20-30% і більше.

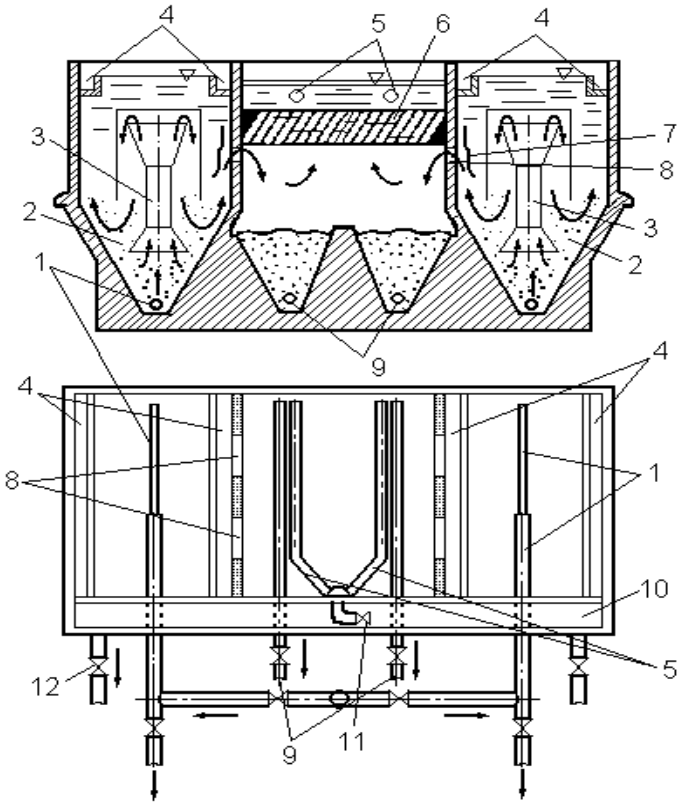


Рисунок 12.15 – Освітлювач коридорного типу з рециркуляцією осаду і тонкошаровими модулями: 1, 12 – подача вихідної і відведення освітленої води; 2 – шар зваженого осаду; 3 – рециркулятор; 4 – жолоби збору освітленої води; 5 – перфоровані труби для відводу освітленої води з осадоущільнювача; 6 – тонкошарові модулі; 7 – захисні козирьки; 8 – вікна відведення надлишку осаду з робочих коридорів в осадоущільнювачі; 9 – перфорірованні труби скидання

осаду з осадоущільнювачем; 10 – бічна кишеня збору освітленої води; 11 – регулююча засувка

Площа дзеркала води осадоущільнювача становить не менше 15-20% від площі освітлювачів. При невеликій реконструкції є можливим подавати частину води в осадоущільнювачі і використовувати їх як додаткові освітлювачі. Періодично подача води в осадоущільнювачі тимчасово припиняється, вони використовуються за своїм прямим призначенням і надлишок осаду випускається по муловим трубопроводах.

Зменшення коефіцієнта використання об'єму освітлювачів досягається удосконаленням систем відведення очищеної і, особливо, подачі коагульованої води. Для гасіння швидкісного напору труби подачі та розподільні труби розміщують в шарі щебню з фракціями від 30 до 50 мм завтовшки 120 мм або фракціями 4-12 мм завтовшки до 300 мм (рис. 12.16). Додатковий ефект досягається при утворенні добре сформованих пластівців, що виносяться з контактної середи (шару щебню). В результаті продуктивність освітлювачів суттєво підвищується.

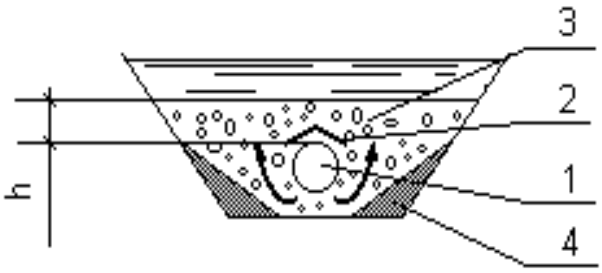


Рисунок 12.16 – Деталь розподільчої системи освітлювача: 1 – трубопровід подачі; 2 – захисний козирок; 3 – щебінь; 4 – підбетонка

Швидкі фільтри. Швидкі фільтри з зернистим завантаженням є автомодельними, тобто мають здатність зберігати постійний ефект очищення при зміні швидкостей фільтрування. критерієм автомодельності є умова $X^1 \geq X^1_{min}$, де X^1 – розмірний параметр:

$$X^1 = \frac{x}{V^{0,7} d^{1,7}},$$

де x – товщина шару завантаження, см; V – швидкість фільтрування, м/год; d – еквівалентний діаметр гранул завантаження, мм.

Припустиме значення X^1_{min} при фільтруванні коагульованої води в двоступінчастій схемі очищення визначається експериментально і найчастіше становить 15-20. Тому при гідравлічному перевантаженні звичайно не спостерігається зниження якості фільтрату, але скорочується тривалість міжпромивочного періоду. Останню обставину і лімітує можливість форсування фільтрів.

Режим роботи фільтрів обумовлений тривалістю захисного часу t_3 і тривалістю міжпромивочного періоду, значення якого відповідає моменту досягнення граничних втрат напору $t_н$. З міркувань санітарної надійності приймають $t_н$=(0,7….0,8) t_3.

Тривалість міжпромивочного періоду прирівнюють до $t_н$, і від нього залежить кількість промивок фільтра за добу, яке, як правило, не повинно перевищувати трьох. Перетворюючи і спрощуючи відомі формули визначення значень t_3 і $t_н$, знаходимо орієнтовну залежність захисного часу і часу досягнення граничних втрат напору від швидкості фільтрування:

$$\frac{t_{3(2)}}{t_{3(1)}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1,7} \frac{x - X_0 V_2^{0,7} d^{1,7} \beta}{x - X_0 V_1^{0,7} d^{1,7} \beta},$$

$$\frac{t_{н(2)}}{t_{н(1)}} = \frac{H_{\max} - H_{02}}{H_{\max} - H_{01}} \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1,7}.$$

де X_0 – коефіцієнт, що залежить від ефекту освітлення води при фільтруванні (табл. 12.2); β – емпіричний коефіцієнт, що залежить від властивостей води; $H_{пр}$ – граничні втрати напору, см; H_0 – втрати напору в завантаженні після промивання, см. Індекс «1» ставиться до проектного режиму, а індекс «2» – до режиму фільтрування при перевантаженні.

Таблиця 12.4

Значення коефіцієнтів X_0 і K

E, %	97	95	90	85	80
X_0	4,2	3,7	3,0	2,2	1,8
K	1,86	1,69	1,51	1,45	1,36

Приклад 12.4.

Фільтр, для якого x=150 см, d=1 мм, розрахований на швидкість фільтрування V=8 м/год, ефект очищення $Э$=95% (X_0=3,7), β=0,4. Граничні втрати напору $H_{пр}$ =150 см, втрати напору H_{01}=60 см, $t_{3(1)}$=15 год, t_{H1}=12 год. Визначити t_{H2} і $t_{3(2)}$. Якщо V_2=12 м/год, H_{02}=85 см.

Рішення:

$$t_{3(2)} = 15\left(\frac{8}{12}\right)^{1,7} \frac{150 - 3,7 \cdot 12^{0,7} \cdot 1^{1,7} \cdot 0,4}{150 - 3,7 \cdot 8^{0,7} \cdot 1^{1,7} \cdot 0,4} = 7,44 \text{ год},$$

$$t_{н(2)} = 12 \frac{150 - 85}{150 - 60} \left(\frac{8}{12}\right)^{1,7} = 4,5 \text{ год}.$$

Розрахунок свідчить про неможливість підвищення швидкості

фільтрування до 12 м/год по експлуатаційним міркуванням, так як кількість промивок фільтрів досягне 6 за добу, що пов'язано зі зростанням витрат води на промивку і ускладненням роботи операторів. Крім того, коефіцієнт санітарної надійності зменшується від 0,8 до 0,6. Зауважимо, що підвищення швидкості в межах, зазначених у прикладі, не призведе до погіршення якості фільтрату.

Реконструювати фільтри з метою підвищення їх продуктивності можна або за рахунок збільшення товщини шару завантаження *x*, або зміною гранулометричного складу і однорідності фільтруючого завантаження, або за рахунок того й іншого одночасно. Відповідно до теорії фільтрування Д.М. Мінца:

$$t_3 = \frac{\beta}{\alpha}\frac{1}{V^{1,7}d^{0,7}}\frac{1}{K}\left(\frac{x}{\beta} - x_0 V^{0,7} d^{1,7}\right),$$

$$t_н = \frac{H_{\max} - H_n}{\varphi H_0 f(A)}\frac{\beta}{\alpha}\frac{x}{V^{1,7}d^{0,7}},$$

де α, β – емпіричні коефіцієнти, що залежать від властивостей води і осаду; K – коефіцієнт, що залежить від ефекту освітлення при фільтруванні (табл. 12.4); $f(A)$ – експериментальний коефіцієнт, який залежить від якості води, осаду і гранулометричного складу зернистого завантаження фільтрів; φ – ступінь однорідності завантаження. Інші позначення вказані вище.

Завдання полягає в збереженні проектних або прийнятних по умовам експлуатації значень t_3 і $t_н$ зі збільшенням швидкості фільтрування. При цьому значення коефіцієнтів α, β, $f(A)$ не змінюються, а можливості зміни $H_{дод}$ обмежуються висотною схемою. Збільшення $H_{дод}$ не повинно привести до підтоплення відстійників або освітлювачів. Початковий тиск після промивання H_0 буде змінюватися в залежності *x* або складу завантаження.

Резерв, який можна використовувати для збільшення товщини шару завантаження, є тільки у фільтрів з дренажем великого опору і гравійним підтримуючим шаром, товщина якого становить близько 0,6 м. Якщо замінити перфоровані розподільні труби дренажу щілинними і відмовитися від підтримуючого шару, то товщина завантаження збільшиться на 40-50 см. Це дозволяє підвищити швидкість фільтрування на 1-1,5 м/год і, відповідно, продуктивність фільтрів – на 10-20%.

Щілинні дренажі виконуються з нержавіючої сталі або поліетилену високої щільності. Щілини нарізаються шириною на 0,1 мм менше мінімального діаметра гранул завантаження. Сумарна площа щілин знаходиться в межах 1,5-2,0% площі фільтра (рис. 12.17).

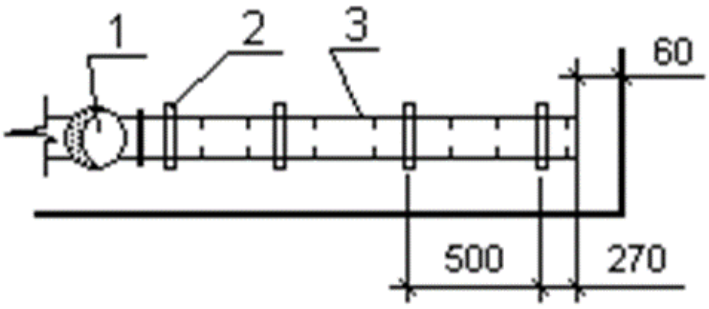


Рисунок 12.17 – Щілинний дренаж: *1*- коллектор; 2 - хомут на підтримуючій стійці; 3 - щілинна труба

З наведених формул випливає, що підвищення швидкості фільтрування компенсується зменшенням діаметра фракцій завантаження. Зменшення крупності завантаження однозначно пов'язане зі зменшенням її гряземісткості і це вимагає підвищення ступеня очищення у відстійниках або освітлювачах.

Альтернативою є переобладнання одношарових фільтрів в двошарові. Верхній шар завантаження з крупнозернистого матеріалу виконує функції передфільтру, знижуючи концентрацію забруднюючих речовин в декілька разів, а необхідний ступінь доочистки досягається при фільтруванні через нижній шар дрібнозернистого матеріалу, що має малу гряземісткість.

Переобладнання одношарових фільтрів на керамзито-піщані двошарові при збереженні без зміни загальної товщини фільтруючого шару, дозволяє підвищити їх продуктивність на 15-20%.

Нехай швидкий фільтр завантажений кварцовим піском з еквівалентним діаметром 0,7-0,8 мм шаром 0,7 м. За табл. 21 ДБН В.2.5-74:2013 [46] швидкість фільтрування для такого фільтра рекомендується 5 м/год. При реконструкції замінимо дренаж фільтра на щілинний, відмовимося від підтримуючого шару і замінимо завантаження на двошарове: з керамзиту діаметром 0,9-1,1 мм шаром 0,5 м і кварцового піску з еквівалентним діаметром 0,7-0,8 мм шаром 0,7 м. Згідно з [46] швидкість фільтрування фільтра, що реконструюється, приймається 7,0 м/год, тобто на 40% більше, ніж до реконструкції. Зрозуміло, в цьому випадку слід замінити дренаж, збільшити пропускну здатність трубопроводів, продуктивність системи промивки, підняти водозбірні лотки і т.д.

Негативний вплив зменшення крупності завантаження за час доведення до граничних втрат напору знижується, якщо збільшується однорідність завантаження і $\varphi \rightarrow 1{,}0$. Однак, як зазначається в [64], отримання однорідного завантаження призводить до його подорожчання, так як великий відсоток піску йде у відсів при підготовці матеріалу, що фільтрує.

Продуктивність фільтрів великою мірою залежить від якості фільтруючих матеріалів: міжзернової пористості P,% і коефіцієнта форми $\alpha_ф$ Збільшення пористості підвищує гряземісткість, а коефіцієнта форми – затримуючу здатність завантаження.

У типових проектах, за якими проводилося будівництво більшості водопровідних станцій, завантажувальним матеріалом являвся кварцовий пісок (P=40%, $\alpha_ф$=1,17). Багато місцевих фільтруючих матеріалів мають кращі показники якості.

У ряді випадків заміна фільтруючого завантаження на більш ефективну при невеликій реконструкції трубопроводів дозволяє збільшити продуктивність фільтрівна 20-30% і більше.

12.2.2. Реконструкція зі зміною технологічної схеми

Реконструкція існуючих споруд не завжди виявляється достатньою і тоді слід розглянути можливість їх заміни більш ефективними.

Споруди першого ступеня очищення (відстійники або освітлювачі) можуть бути реконструйовані і перебудовані у флотатори. Площа, яку займає флотатор при даній витраті значно менша, ніж площі, займані іншими спорудами, так як у флотаторів найбільше питоме навантаження на 1 м^2 площі дзеркала води.

Таблиця 12.5

Питомі навантаження, $q_{пит}$

Вид споруди	$q_{пит}$, м^3/м^{2}год	Літературне джерело
Горизонтальні відстійники	1,3-2,2	[46]
Те ж з тонкошаровими модулями	3,0-5,5	[61]
Освітлювачі зі зваженим осадом	2,5-4,3	[46]
Флотатори	6,0-8,0	[65]

Примітка: більші значення відносяться до каламутних, а менші - до маломутних вод.

Флотаційні установки мають ряд переваг в порівнянні з відстійникоми або освітлювачами. Крім інтенсифікації очищення вони ефективно видаляють з води фітопланктон, що дозволяє відмовитися від мікрофільтрів, а також нафтопродукти і масла.

Застосовується напірна флотація з коефіцієнтом рециркуляції 0,08-0,1. Вода у флотатор надходить з існуючої камери утворення пластівців. При реконструкції схем з освітлювачами необхідно додатково передбачити камери утворення пластівців.

Флотаційні установки крім камер утворення пластівців і флотаційних камер включають сатуратори і насосні установки для приготування водоповітряного розчину.

У сатураторах розміщується насадка з кілець Рашига; стиснене повітря підводиться від ресивера компресорної станції (рис. 12.18).

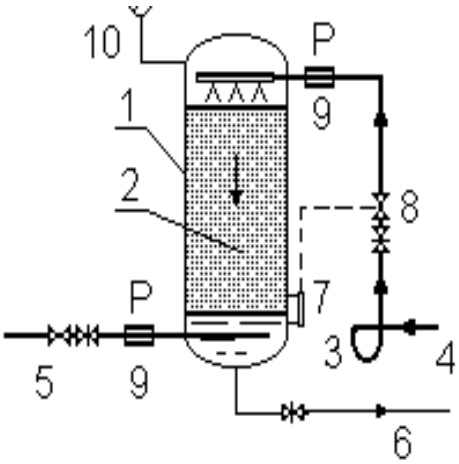


Рисунок 12.18 – Установка сатуратора:1 – напірний бак; 2 – насадка (кільця Рашига); 3 – насосний агрегат; 4 – очищена вода після фільтрації; 5 – стиснене повітря з ресивера; 6 – водоповітряний розчин; 7 – рівнемір; 8 – регулюючий клапан; 9 – витратомір; 10 – манометр

На рис. 12.19 показана принципова схема флотаційної установки на базі реконструйованого горизонтального відстійника.

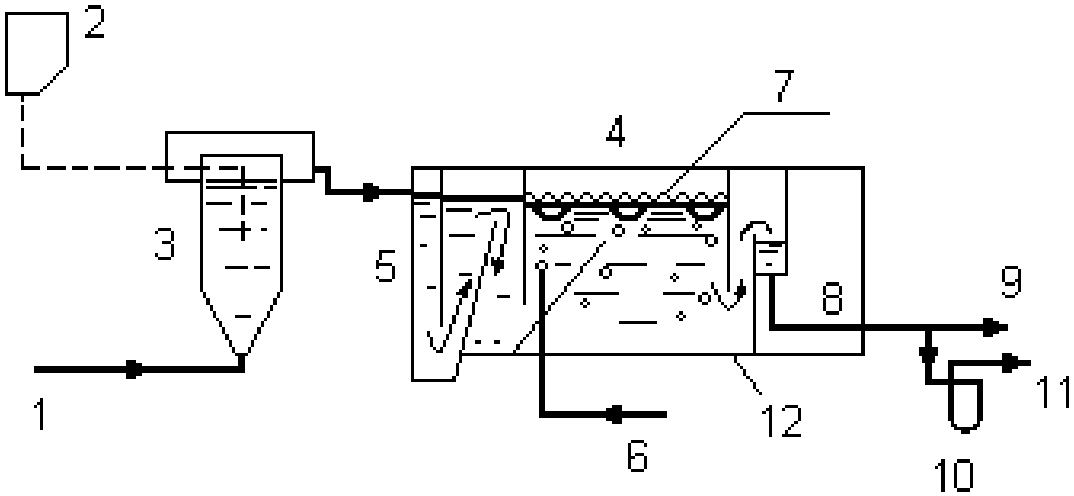


Рисунок 12.19 – Схема флотаційної установки при реконструкції відстійника: 1 – подача сирої води; 2 – розчинний бак; 3 – змішувач; 4 – існуючий відстійник; 5 – вихрова камера пластівцеутворення; 6 – водоповітряний розчин з сатуратора; 7 – флотаційна камера; 8 – очищена вода; 9 – подача на фільтри; 10 – насосний агрегат; 11 – подача в сатуратор; 12 – відстійник

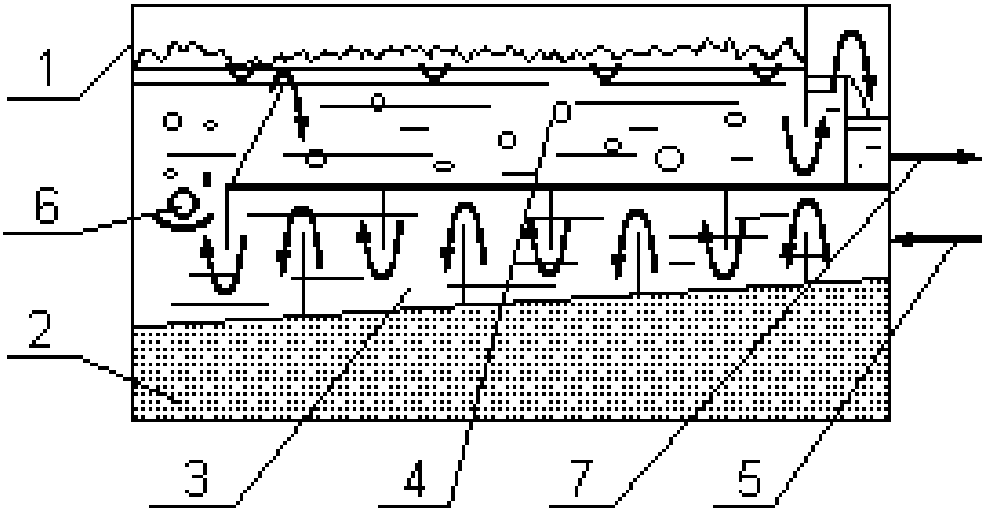


Рисунок 12.20 – Схема флотатора при реконструкції освітлювача коридорного типу: 1 – корпус освітлювача; 2 – забетонована трапецеїдальна частина освітлювача; 3 – камера пластівцеутворення; 4 – флотаційна камера; 5 – подача коагульованої води; 6 – розподільча система водоповітряного розчину; 7 – трубопровід очищеної води

На рис. 12.20 приведена схема реконструкції освітлювача коридорного типу. Трапецеїдальна частина освітлювача засипається і бетонується. Інший об'єм утворює дві зони: нижню, обладнану як камера пластівцеутворення, і верхню, що використовується як камери флотації. Аналогічно переулаштовується і осадоущільнювач.

Для проектування приймаються наступні значення основних характеристик флотаційних установок:

- тривалість перебування води у флотаційній камері від 20 до 30 хв;
- глибина шару води у флотаційній камері (робоча глибина) 1,5-2,5 м; тиск в сатураторі 0,6-0,8 мПа [65].

Залежно від форми в плані споруди, що реконструюється, флотаційні камери можуть бути круглими або прямокутними.

Ширина прямокутної флотаційної камери приймається не більше 6,0 м, довжину слід приймати в 1,5-3,0 рази більше ширини. Детальні вказівки з проектування флотаційних установок містяться в [65].

Збільшення продуктивності водопровідної станції достягається шляхом переходу на двоступеневе фільтрування. Схема очищення при двоступеневому фільтруванні включає: сітчасті барабанні фільтри, вхідну камеру зі змішувальними пристроями, контактні передфільтри, фільтри другого ступеня. Таким чином, при реконструкції необхідно додатково передбачити сітчасті фільтри і переулаштувати відстійники або освітлювачі в передфільтри.

Крім збільшення продуктивності станції, перехідна технологія двоступеневого фільтрування забезпечує стабільний і високий ефект очищення води, маневреність роботи споруд при коливаннях якості води джерела, економію коагулянту [66].

Двоступеневе фільтрування рекомендується для очищення води малої і середньої каламутності і кольоровості. Принципова схема очищення (рис. 12.21) вписується в висотну схему станції, що реконструюється. Контактні передфільтри завантажуються піском щільністю 2,6-2,65 г/см^3 шаром товщиною 2,0-2,2 м і обладнуються дренажем великого опору і гравійним підтримуючим шаром.

Швидкість фільтрування і параметри завантаження наведені в табл. 12.6.

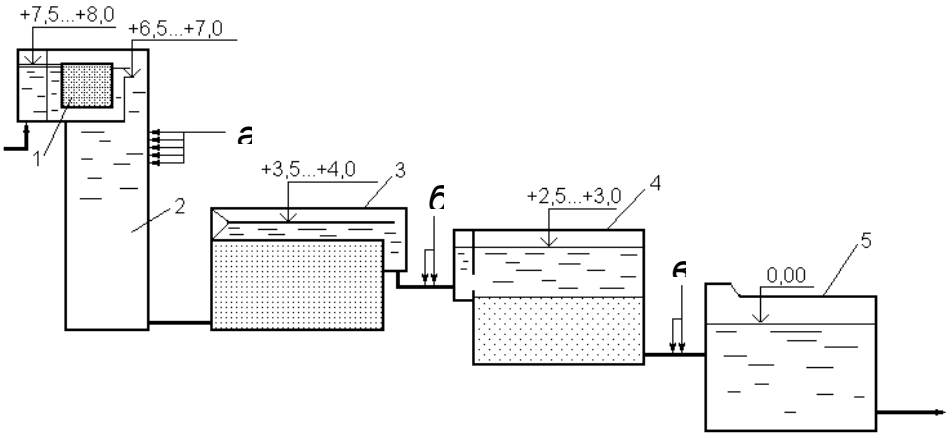


Рисунок 12.21 – Принципова схема станції з двоступінчастими фільтрами: а - подача хлору, вапна, коагулянту, флокулянта; б - додаткова подача коагулянту; в - подача хлору, соди; 1 - сітчасті барабанні фільтри; 2 - вхідна камера зі змішувачем; 3 - контактні префільтри; 4 - фільтри; 5 - резервуар чистої води

Таблиця 12.6

Параметри передфільтрів з піщаним завантаженням [65]

Вихідна вода (після введення реагенту)		Еквівалентний діаметр завантаження, мм	Коефіцієнт неоднорідності (загальний)	Швидкість фільтрування	
суспензії, мг/л	кольоровість, град			нормальний режим	форсований режим
250-300	150-250	1,2-1,3	2,0-2,2	5,5	6,5
150-200	100-150	1,1-1,2	-	6,0	7,0
100-150	до 100	1,0-1,1	-	6,5	7,5

Швидкості фільтрування вказані для тривалості фільтроциклу 12 годин. Фільтри другого ступеня не реконструюються або реконструюються, але при цьому швидкості фільтрування приймаються на 15-20% більше, ніж за нормативами [46].

Передфільтри можуть мати плаваюче завантаження з пінополістиролу. Як відомо, плаваюче завантаження має високу грязеємність, що дозволяє підтримувати високі швидкості фільтрування, здешевити і спростити процес промивки.

Головна перевага плаваючих завантажень полягає у здатності довільно

фракційно по висоті утворювати багатошаровий фільтр, що характеризується підвищеною грязеємністю, крім того, плаваюче завантаження легко промивається в низхідному потоці води. Спінювання гранул полістиролу проводиться на місці його застосування шляхом обробки парою або водою температурою до +105 °С [94].

Фільтри з двошаровим плаваючим завантаженням і з висхідним фільтраційним потоком забезпечують достатню очистку води при високих швидкостях фільтрування на другому ступені. Рекомендовані параметри фільтрів наведені в табл. 5.7 [94].

Таблиця 12.7

Параметри префільтрів з двошаровою плаваючою завантаженням [64]

шар	характеристика фільтруючого шару					швидкість фільтрування, м/рік		промивання	
	діаметр гранул, мм			коефіцієнт неоднорідності	товщина, м				
	мінімальний	максимальний	еквівалентний			нормальна	форсована	інтенсивність, л/см^2	витрата
Верхній	0,5	1,00	0,7	1,7	0,6	8	10	12-15	50
	1,0	2,00	1,4	1,6	1,0	7	9		
	1,0	1,25	1,1	1,1	1,0-1,2	8	10		
	0,6	1,00	0,75	1,5	0,5	8	10		
Нижній	1,1	1,40	1,20	1,2	0,3	-	-	-	-

Розміри фільтрів рекомендується приймати не більше 6х6 м по умовам промивання. Надфільтровий простір робиться загальним або взаємозв'язаним для всіх фільтрів, або розбитим на секції по 3-4 фільтра. На рис. 12.22 один з чотирьох фільтрів показаний в режимі промивання.

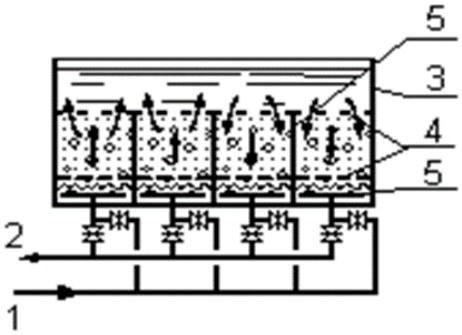


Рисунок 12.22 – Схема переобладнання горизонтального відстійника на блок передфільтр: 1 – подача води; 2 – подача промивної води; 3 – корпус відстійника; 4 – сітки; 5 – дренаж; 6 – перегородки

Реконструкція зі зміною технологічної схеми очищення завжди вимагає великого обсягу монтажних робіт і відключення водопровідної станції.

ВИСНОВОК

Реконструкція – ефективний спосіб посилення і удосконалення об'єктів для підвищення їх продуктивності і поліпшення якості експлуатації. При реконструкції реалізуються приховані і невикористані виробничі можливості об'єктів. Об'єкти, які входять в системи водопостачання та водовідведення, технологічно зв’язані, і часто реконструкція носить не локальний, що відноситься тільки до даного об'єкта, характер, а виконується в інтересах всієї системи.

При реконструкції передбачається виявлення лімітуючих елементів, що обмежують переведення об'єкта на необхідний виробництвом режим. Якщо встановлені причини, за якими елемент являється лімітуючим, шляхи вирішення завдання конкретизуються і звужуються. Це в достатній мірі ілюструється прикладами, які приведені в даній монографії.

Проектне рішення по реконструкції повинно базуватися на знанні закономірностей функціонування того чи іншого об'єкта. Необхідні технологічні розрахунки виконуються по загальновідомим методами, згідно з діючими нормативами. Проектування повинне бути різноманітним, з техніко-економічним порівнянням і обґрунтуванням оптимального рішення.

Список використаних джерел

1. Water Reality in Ukraine and Worldwide / L. Dolina, P. Mashykhina, A. Karpo, A. Mishchenko // Наука та прогрес транспорту. – 2017. – № 5 (71). – С. 7–18.
2. Методологический подход к решению вопросов реконструкции очистных сооружений / Гогина, Е. С., Саломеев В. П., Ружицкая О. А., Побегайло Ю. П., Макиша Н. А. // Водоснабжение и санитарная техника. - 2013. - № 6. - С. 33-37.
3. Долина, Л. Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов : монография / Л. Ф. Долина. – Д. : Континент, – 198 с.
4. Долина, Л. Ф. Осадки сточных и питьевых вод: проблемы и решения : монография / Л. Ф. Долина, П. Б. Машихина. – Д. : Континент, 2014. – 211 с.
5. Долина, Л. Ф. Реакторы для очистки сточных вод : учеб. пособ. – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2001. – 82 с.
6. Хоружий П.Д. Реконструкция систем водоснабжения : Расчет и проектирование / П. Д. Хоружий, М. В. Шарков. - Киев : Будівельник, 1983. - 144 с.
7. Долина, Л. Ф. Современная технология и сооружения для очистки нефтесодержащих сточных вод : монография / Л. Ф. Долина. – Д. : Континент, 2005. – 296 с.
8. Синев, О. П. Расширение и реконструкция очистных сооружений / О.П. Синев, А.И. Мацнев, А.П. Игнатенко. – К.: Будівельник, 1981.– 45 с.
9. Долина, Л. Ф. Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов : монография. – Д. : Континент, 2008. – 227 с.
10. Реконструкция и интенсификация работы канализационных очистных сооружений / Воронов Ю.В., Саломеев В.П., Ивчатов А.Л. и др. – Москва Стройиздат 1990г. 224 с.
11. Интенсификация процессов обезвоживания/В. С. Каминский, М. Б. Барбин, Л. Ф. Долина и др.—М., Недра,. 1982. 224 с.
12. Реконструкция цеха обработки осадков канализации очистных сооружений г. Петродворца / Ф.В. Кармазинов и др. // Водоснабжение и санитарная техника. - 2013. - N 12. - С. 38-43.
13. Реконструкция цеха обработки осадков Кронштадской станции аэрации / Ф. В. Кармазинов и др. // Водоснабжение и санитарная техника. - 2005. - N 4. - С. 33-36.
14. Реконструкция канализационных очистных сооружений г. Пушкина / Ф. В. Кармазинов и др. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006. – № 9, ч.1. – С. 2–5.
15. Яковлев, С. В. Водоотведение и очистка сточных вод/ С. В. Яковлев, Ю.В. Воронов. – М.: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2002. - 703 с.

16. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / Запольський А. К., Мішкова-Клименко Н.А., Астрелін І.М., Брик М.Т.. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.
17. Кравченко В.С. Водопостачання та каналізація. – К: Кондор, 2003. — 288 с.
18. Орлов В.О. Сільсько-господарське водопостачання та водовідведення: Підручник / В.О. Орлов, А.М. Зощук - Рівне: УДУВГП, 2002. – 203с.
19. Бестраншейные методы восстановления трубопроводов / С.В. Храменков; О.Г. Примин; В.А. Орлов. – М.: Прима-ПрессМ, 2002. – 284с.
20. Соколов Л. И. Ресурсосберегающие технологии в системах водного хозяйства промышленных предприятий : учебное пособие для вузов / Л. И. Соколов. - Москва: Изд-во АСВ, 1997. – 254 с.
21. СанПиН 2.1.5.980–00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод.
22. Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung - AbwV). – v.17, 2004. – Germany.
23. Design of Municipal Wastewater Treatment Plants: WEF Manual of Practice No. 8 ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 76, Fifth Edition.
24. *Tserashchuk M. Erforschung der Grundlagen der Abbauvorgnge beim Belebungsverfahren bei tiefen Temperaturen unter Bercksichtigung der russischen Abwasserbeschaffenheit. Deutschland, Bochum*
25. Долина, Л. Ф. Новые методы и оборудование для обеззараживания сточных вод и природных вод : монография / Л. Ф. Долина. – Д. : Континент, 2003. – 218 с.
26. Татура А.Е. Реконструкция систем и сооружений водоснабжения и водоотведения. – Ижевск: ИжГТУ, 2003. — 178 с.
27. Долина, Л. Ф. Очистка вод от остатков лекарственных препаратов / Л. Ф. Долина, О. П. Савина // Наука та прогрес транспорту. – 2018. – № 3 (75). – С. 36–51.
28. Баренбойм, Г. М. Загрязнение природных вод лекарствами / Г. М. Баренбойм, М. А. Чиганова. -Москва : Наука, 2015. - 283 с.
29. Шпаков А. Антибиотики и стероиды отравляют сточные воды /А. Шаков // Газета "Коммерсантъю – №110, 1999. С. 9
30. Клиническая фармакология: национальное руководство / Ю.Б. Белоусов, В.Г. Кукес и др. – М.: ГЭОТОР-Медиа, 2009. — 976 с.
31. Кофман В. Я. Новые окислительные технологии очистки воды и сточных вод / Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – №11. – С. 70-77.
32. Долина, Л. Ф. Очистка вод от пластика / Л. Ф. Долина, О. П. Савина, Д. А. Долина // Наука та прогрес транспорту. – 2019. – № 2 (80). – С. 27–40.
33. Accumulation of Microplastic on Shorelines Woldwide: Sources and Sinks / Mark Anthony Browne, Phillip Crump ,Stewart J. Niven ,Emma Teuten ,Andrew Tonkin ,Tamara Galloway, and Richard Thompson // *Environ. Sci. Technol.* – 2011. – V. 45., Issue 21 – P. 9175–9179

34. Policy: Classify plastic waste as hazardous / Chelsea M Rochman, Mark Anthony Browne, Benjamin S Halpern, Brian T Hentschel, Eunha Hoh, Hrissi K Karapanagioti, Lorena M Rios-Mendoza, Hideshige Takada, Swee Teh, Richard C Thompson // Nature. – 2013, Vol. 494(7436). – P.169-71
35. Картрайт, Питер С. Новые проблемы загрязнения питьевой воды / Питер С. Картрайт// Вода и водоочистные технологии. - 2018. - № 1 (87). - С. 4-12
36. Кузина, Л. В. Тевризова, В. И., Загрязнение мирового океана бытовым мусором / Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века. – Минск : ИВЦ Минфина, 2018. – Ч. 1. – С. 61-63.
37. Shivika Sharma, Subhankar Chatterjee. Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review / Environmental Science and Pollution Research. – 2017. – volume 24, P. 21530–21547
38. Светлейшая, Е. М. Вода в пластике и пластик в воде / Е. М. Светлейшая // Вода и водоочистные технологии. – 2017. – № 3 (85). – С. 4–8.
39. Прокофьева, Е. С. Пластик и его влияние на здоровье современных потребителей / Е. С. Прокофьева, М. Н. Махонько, Н. В. Шкробова // Бюллетень медицинских Интернет-конференций. – 2013. – Т. 3, вып. 11. – С. 1176–1178.
40. Масанов, А. Ю. Биоразлагаемые пластики: текущее состояние рынков и перспективы / А. Ю. Масанов // Вестник химической промышленности. – 2017. – № 3 (96). – С. 42–45.
41. Dolina L. F., Kozachyna V. A. Increasing efficiency of the wastewater treatment plant of khorol factory for baby food / Water and Water Purfication Technologies. Scientific and Technical News. – 2019. – № 1. – P. 16-24.
42. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація зовнішні мережі та споруди: основні положення проектування. – К: Укрархбудінформ. – 134 с.
43. КП «Кривбасводоканал». Головні завдання реконструкції споруд та мереж водовідведення. Кривий Ріг, 2005 р.
44. Біляєв М.М. Споруди систем водопостачання :Ч. ІІ: Водозабори з поверхневих джерел. / М.М. Біляєв, Є. Д. Коренюк. // Д. Вид-во Маковецький Ю.В. - 2010. - 175с.
45. Біляєв М.М. Споруди систем водопостачання :Ч. І: Водозабори з підземних джерел. / М.М. Біляєв, Є. Д. Коренюк. // Д. Вид-во Маковецький Ю.В. - 2003. - 221 с.
46. ДБН В.2.5–74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди.
47. Карелин, В.Я. Насос та насосные станции / В.Я. Карелин, А.В. Минаєв: – 2-е изд., Переаб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.
48. Орлов В.О. Водопостачання та водовідведення / Підручник. Затверджено МОН // Орлов В.О., Тугай Я.А., Орлова А.М. — К., 2011. — 359 с.
49. Кожинов, И.В. Наладка и интинсификация работы городских систем подачи и распределения воды / И.В. Кожинов, В.В. Колесов, П.С. Майзельс и др. – М.: Стройиздат, 1978. – 109 с.

50. Казанцев, Б.К. Реконструкция систем подачи и распределения воды / Б.К. Казанцев, Н.Н. Беляев, В.В. Колесов // Водоснабжение и сантехника. – 1999. – № 6. – С. 22–23.
51. Курганов, А.М. Гидравлические расчеты систем водосанбжения и водоотведения: Справочник / А.М. Курганов, Н.Ф. Федоров. – 3-е изд. Перераб. и доп. – Л.: Стройиздат., Ленингр. отделение, 1986. – 440 с.
52. Degremont. Технический справочник по обработке воды. В 2 т. Том 1. перевод с французского, СПб.: Новый журнал, 2007. — 878 с
53. Degremont - Технический справочник по обработке воды. Том 2. СПб.: Новый журнал, 2007. — 920 с.
54. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: Справ. пособие. М.: Стройиздат, 1984. – 116 с
55. Балыгин, В.В. Обеспечение надежности работы водозаборных сооружений / В.В. Балыгин, С. К. Станков, И.Д. Козлов, В.А. Кочетков // Водоснабжение и сантехника. – 1999. – № 3. – С. 29–30.
56. Сааринен, Р. Комплексные насосные станции фирмы «Сарлин» / Р. Сааринен, С. Хавиа // Водоснабжение и сантехника. – 1995. – № 27. – С. 25–27.
57. Гумен, С.Г. Опыт ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» и фирмы «Сарлин» в реконструкции канализационных насосных станций / С.Г. Гумен, Б.В. Васильев, Р. Сааринен, С. Хавиа // Водоснабжение и сантехника. – 1999. – № 26. – С. 39–40.
58. Березин, С. Насосные станции с погружными насосами фирмы «Flygt» / С. Березин // Водоснабжение и сантехника. – 1997. – № 21.
59. Хоружий П.Д. и др. Эксплуатация систем водоснабжения и канализации: Справочник.-К.: Будівельник, 1993. – 232 с
60. Рабинович, Г.Р. Проектные решения станции водоподготовки с применением озонирования и адсорбции / Г.Р. Рабинович, Е.А. Беляева // Водоснабжение и сантехника. – 1997. – № 6. – С. 8–11.
61. Николадзе, Г.И. Водоснабжение: Учеб. для вузов / Г.И. Николадзе, М.А. Сомов:– М.: Стройиздат, 1995. – 688 с.
62. Душкин С.С.Улучшение технологии очистки природных и сточных вод. - К.: Вища школа, 1998. – 148 с
63. Рудник, В.П. Експлуатація систем водопостачання / В.П. Рудник, П.М. Петімко, В.Д. Семенюк, Ю.С. Сергєєв. – Київ: Будівельник, 1983. – 126 с.
64. Орлов В.О., Шевчук Б.И. Интенсификация работы водоочистных сооружений. – К.: Будівельник, 1989. – 128с
65. Технические указания на проектирование, монтаж и эксплуатацию флотационных установок для осветления природных вод. – М.: АКХ им. К.Д. Памфилова, 1979. – 27 с
66. Рекомендації на застосування технології очищення вод двоступінчастим фільтруванням. – М.: АКХ ім. К.Д. Памфілова, 1983. – 24 с.

67. Яковлев, С.В. Регулируемые канализационные системы / С.В. Яковлев, В.А. Загорский, А.Н. Пахомов, В.И. Миланичев // Водоснабжение и сантехника. – 1998. – № 9. – С. 13–15.
68. Руководство по обеспечению качества питьевой воды. – Женева: Всемирная организация здравохранения, 2004. – т.1. – 121с
69. Кравченко В.С. Водопостачання і каналізація: Підручник. – Рівне: Вид-во РДТУ, 2002. – 285 с.
70. Орлов В.О. Водопостачання промислових підприємств: Навчальний посібник / В.О. Орлов, Л.Л. Литвиненко, А.М. Орлова. — К. : Знання, 2014. — 278 с.
71. Тугай А.М Розрахунок і проектування споруд систем водопостачання. /А.М. Тугай.,В. О. Терновцев, Я.А. Тугай. – К.: КНУБА, 2001. – 256 с
72. Долина Л.Ф. Technology for Water Purification From Residues of Drugs and Plastic / Л.Ф. Долина, П. Б. Машихина, Д.А. Долина // Наука та прогрес транспорту. – 2019. – № 4 (82). – С. 26–36.
73. Тугай А.М. Водопостачання / А.М. Тугай, В.О. Орлов// Рівне: РДТУ, 2001. – 429 с.
74. Л.В.Крамаренко. Технологія очищення природних вод: Навчальний посібник. -Харків: ХНАМГ, 2008. - 145 с
75. Шевченко М.А., Лизунов В.В. Технология обработки води. Киев, Будівельник, 1980.– 116 с
76. Гончаров, В.А. Экологические проблемы водных ресурсов Алтая / В.А. Гончаров, В.В. Евстигнеев, А.В. Самарин, А.П. Кротов // Водоснабжение и сантехника. – 1996. – № 8. – С. 13–14.
77. Долина, Л. Ф. Защита вод от радиоактивного загрязнения : монография / Л. Ф. Долина, Е. Ю. Гунько, П. Б. Машихина. — Днепропетровск : Лира, 2016. — 477 с.
78. Тугай А.М. Водоснабжение. Водозаборние сооружения. / К.: Вища школа, 1984. 200 с.
79. Бо, Д. Пилотные испытания по питьевой водоподготовке в условиях Москворецкого водоисточника / Д. Бо, Г.Н. Герасимов, А.В. Коверга, А.В. Завадский // Водоснабжение и сантехника. – 1999. – № 9.
80. Biliaiev M.M. Computer simulation of biological wastewater treatment processes in aerotanks with plates/ M. M. Biliaiev, M. V. Lemesh, V. V. Biliaieva, P. B. Mashykhina, Z. M. Yakubovska // Наука та прогрес транспорту. – 2020. – № 5 (89). – С. 5–14.
81. Кульский Л.А., Душкин С.С. Магнитное поле и процессы водообработки. – К.: Наукова думка, 1988
82. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. – К. Вища школа, 1986. – 352 с
83. Ніколадзе, Г.І. Водопостачання / Г.І. Ніколадзе. – 3-е изд. – М.: Стройиздат, 1989. – 496 с.

84. Тугай А.М., Тугай Я.А. Водопостачання. Джерела та водозабірні споруди // Українсько- фінський інститут менеджменту і бізнесу. К., 1998. С.148-155.
85. Water in Changing World // The United Nations World Water Development Report 3 (WWDR3). – Paris: UNESCO, 2009, - 432 p
86. Arkhipchuk V.V., Goncharuk V.V. // J. Water Chem. and Technol. – 2004. – № 4. – P. 403–414
87. Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною". ДСанПіН 2.2.4-171-10. затверджено наказ міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010 №400. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 1 липня 2010 р. за N 452/17747
88. Тугай А.М. Розрахунок і конструювання водозабірних вузлів / Тугай А.М., Орлов В.О.// К. _Будівельник, 1978. 234 с
89. Миклашевский Н.В., Королькова С.В. Чистая вода. Системы очистки и бытовые фильтры. – С. - Пб.: Изд. группа «Арлит», 2000.
90. Правила технічної експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених пунктів України. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 21 липня 1995 р.за № 231/767. Із змінами, внесеними згідно з Наказом Державного комітету з питань житлово-комунального господарства № 2 від 04.01.2005 Наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства № 191 від 27.06.2008 Наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства № 302 від 27.11.2015.
91. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води. – К.: Вища школа, 2005
92. Душкин С.С., Гриценко А.В., Внукова Н.В., Сорокина Е.Б. Водоснабжение, вдоотведение и улучшение качества воды: Уч. пособие. – Х.: ХНАДУ, 2003. – 154 с
93. Грабовский П.А., Ларкина Г.М., Прогульный В.И. Очистка природных вод (учебное пособие). – Одесса: ОГАСА, 2003.– 267 с
94. Василенко А.А., Грабовский П.А., Ларкина Г.М., Полищук А.В., Прогульный В.И. Реконструкция и интенсификация сооружений водоснабжения и водоотведения (учебн. пособие) Одесса: ОГАСА. – 2008.– 308 с

Наукове видання

ДОЛИНА Леонід Федорович
МАШИХІНА Поліна Борисівна
КОЗАЧИНА Віталій Анатолійович

РЕКОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Монографія

Українською мовою

Матеріал друкується в авторській редакції

Підписано до друку 18.01.2021. Формат 60х80/16. Папір офсетний. Умовн. друк. арк.12,5 Обл.-вид.11,7 Тираж 300 пр.Зам №504

Видавництво
“Журфонд”
49000, Дніпро, пр. Д. Яворницького, 60.
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
ДК №684 від 21.11.2001 р.

Відруковано в ПП Вахмістров О.Є
Адреса видавництва та друкарні:
49000, м. Дніпро, вул.
Писаржевського, 18.