

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

**С. М. Епоян, Т. С. Айрапетян**

**ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ТА ОЧИЩЕННЯ ВОДИ НА**  
**ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
зі спеціальності*

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



**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2024**

**Епоян С. М.** Технології підготовки та очищення води на промислових підприємствах : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології / С. М. Епоян, Т. С. Айрапетян ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 136 с.

Автори:

д-р техн. наук, проф. С. М. Епоян,  
канд. техн. наук, доц. Т. С. Айрапетян

Рецензенти:

**Т. О. Шевченко**, кандидат технічних наук, доцент (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова);

**Г. І. Благодарна**, кандидат технічних наук, доцент (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

*Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очищення вод, протокол № 1 від 29.08.2023*

© С. М. Епоян, Т. С. Айрапетян, 2024

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
ЗМ 1 ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ВОДИ ДЛЯ ПОТРЕБ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	7
1 ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДИ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ.....	7
1.1 Загальні поняття про споживачів та системи водопостачання.....	7
1.2 Характеристика природних вод як джерела водопостачання. Основні показники якості води.....	9
1.3 Вимоги до якості води, що ставлять різні споживачі.....	14
1.4 Водопідготовка на промислових підприємствах, основні завдання та методи підготовки води.....	16
2 ПОПЕРЕДНЄ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ.....	19
2.1 Коагуляція і прояснення води. Основне обладнання попередньої обробки води.....	19
2.2 Фільтрування води.....	26
2.3 Хімічна обробка води. Реагентне пом'якшення води. Схеми установок.....	29
2.4 Схеми установок для пом'якшення та знекремнення води методом осадження.....	32
3 ОБРОБКА ВОДИ МЕТОДОМ ІОННОГО ОБМІНУ.....	37
3.1 Технологія іонного обміну. Фізико-хімічні основи процесу.....	37
3.2 Катіонообмінний метод зм'якшення води.....	40
3.3 Основні типи іонообмінних апаратів.....	44
4 СПЕЦІАЛЬНІ МЕТОДИ ПІДГОТОВКИ ВОДИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	49
4.1 Методи знезалізнення та деманганації води. Вибір методів, схеми установок.....	49
4.2 Видалення з води розчинених газів. Типи дегазаторів.....	55
ЗМ 2 ОСНОВНІ МЕТОДИ ТА СПОРУДИ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД .....	64
5 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ З ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД.....	64
5.1 Класифікація методів очищення промислових стічних вод.....	64
5.2 Усереднення концентрації забруднень і витрати стічних вод. Конструкції усереднювачів.....	66
6 МЕХАНІЧНА ОЧИСТКА ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД.....	71

6.1 Відстоювання. Типи відстійних споруд, їх конструктивні особливості.....	71
6.2 Відкриті гідроциклони, флокулятори .....	79
6.3 Фільтрування стічних вод.....	84
<b>7 ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ОЧИСТКИ. ОЧИСТКА МЕТОДОМ ФЛОТАЦІЇ.....</b>	<b>90</b>
7.1 Сутність флоатації. Загальні відомості про флоатацію, формування флоатаційного агрегату.....	90
7.2 Види флоатації. Схема напірної флоатації.....	92
<b>8 ХІМІЧНІ ТА ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ МЕТОДИ ОЧИСТКИ.....</b>	<b>96</b>
8.1 Основні способи нейтралізації. Реагенти, установки для нейтралізації.....	96
8.2 Обробка стічних вод електрофлоатацією.....	101
8.3 Очистка промислових стічних вод методами електрокоагуляції та електрофлоотокоагуляції.....	102
<b>ЗМ З ВОДОПОСТАЧАННЯ І ВОДОВІДВЕДЕННЯ ДЕЯКИХ ВОДОЄМКИХ ПІДПРИЄМСТВ.....</b>	<b>104</b>
<b>9 ЗВОРОТНІ СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....</b>	<b>104</b>
9.1 Використання води у зворотних системах водопостачання.....	104
9.2 Баланси води і солей у зворотних циклах водопостачання.....	106
9.3 Умови багаторазового використання води в системах виробничого водопостачання.....	108
9.4 Стабілізація іонного складу води в системах зворотного водопостачання .....	111
<b>10 ПІДГОТОВКА ВОДИ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ</b>	<b>115</b>
10.1 Основні споживачі води на підприємствах теплоенергетики.....	115
10.2 Системи охолодження конденсаторів .....	117
10.3 Значення водопідготовки для систем водопостачання підприємств теплоенергетики.....	119
<b>11 ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ .....</b>	<b>121</b>
11.1 Джерела утворення стічних вод. Основні види забруднень.....	121
11.2 Загальна характеристика методів очищення стічних вод харчової промисловості .....	125
11.3 Локальна очистка стічних вод харчової промисловості.....	126
<b>СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>134</b>

## ВСТУП

Технічна вода використовується в різноманітних галузях промисловості, сільського господарства, енергетики. Найбільші обсяги води використовуються в металургійному комплексі, енергетиці, хімічній та харчовій промисловостях. Кожна з цих сфер господарської діяльності включає системи водопостачання та водоспоживання, які значно різняться між собою і, відповідно, по-різному впливають на стан природних водних об'єктів.

Водне господарство кожного промислового підприємства має специфічні особливості використання води, свої джерела її забруднення і, отже, вимагає розробки й упровадження конкретних технологічних рішень проблеми очищення води з метою її повторного використання. Водне господарство промислових підприємств України є на сьогодні найбільш перспективним для наукових досліджень як у сфері захисту навколишнього середовища, так і стосовно збереження матеріальних ресурсів.

До води, яка використовується в промисловості, висуваються специфічні вимоги залежно від її призначення. Якість води для промисловості регламентується великою кількістю різних державних і галузевих документів. Досягнення регламентованих показників якості води є завданням промислових підприємств, які використовують для цього відповідні технології.

Вимоги до якості води, яку використовують у промисловості, визначаються технологією виробничих процесів, що зумовлює різноманіття можливих варіантів систем водного господарства промислових підприємств. За вмістом різних хімічних елементів і сполук, розчинених і нерозчинених домішок, газів і солей, придатна для промислового водопостачання вода може значно відрізнятися від якості питної води. Технологія її підготовки здебільшого також істотно відрізняється від вживаної в комунальному водопостачанні. Це стосується першою чергою глибокого пом'якшування і знесолення води, видалення біогенних елементів, стабілізації і дегазації води, знезалізнення, знекремнення тощо.

Системи водопідготовки та очищення води є важливим елементом підприємств теплоенергетики, оскільки від якості води, що надходить на живлення котлів, залежить надійність і ефективність їх роботи. Вода в робочому циклі електростанцій постійно контактує з металевими частинами котла, парової турбіни, конденсатора. При цьому може відбуватись виділення розчинених у воді домішок та проходити хімічна взаємодія води з металом. Розчинені у воді домішки можуть стати причиною серйозних неполадок у

роботі енергетичного обладнання: утворення накипних відкладень, корозії системи, спінювання котлової води та винесення солей з парою. Як наслідок, устаткування теплової установки виходить з ладу, знижується ефективність і стабільності роботи котла. Для попередження вказаних явищ потрібно дотримуватись нормальною водного режиму, який передбачає забезпечення певних якісних показників.

Грамотне виконання робіт з розробки процесів водоочищення, проектування, конструювання та експлуатації водоочисного обладнання неможливе без знання основ хімічних та фізичних процесів, що відбуваються в апаратах, принципів раціонального використання ресурсів та завдань охорони навколишнього середовища.

Мета викладання навчальної дисципліни «Технології підготовки та очищення води на промислових підприємствах» – сформувати у здобувачів комплекс знань в галузі сучасних технологій водопідготовки та очищення води на промислових підприємствах, комплекс умінь та навичок, необхідних для обґрунтованого вибору та проектування станцій водоочищення.

# ЗМ 1 ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ВОДИ ДЛЯ ПОТРЕБ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

## 1 ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДИ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

### 1.1 Загальні поняття про споживачів та системи водопостачання

Промислові підприємства витрачають значну кількість води, а деякі підприємства вимагають навіть безперервної подачі води. До найбільш значних виробничих споживачів належать металургійні, нафтопереробні, хімічні підприємства, теплоелектростанції, що використовують воду для охолодження; підприємства целюлозно-паперової і гірничодобувної промисловості, де значну кількість води використовують для промивки сировини і продукції.

*Система водопостачання* промислових підприємств становить комплекс споруд, устаткування і трубопроводів, що забезпечують забір води з природного джерела, очищення та її обробку, транспортування і подачу води споживачам необхідної кількості та якості. У системах технічного водопостачання передбачають також споруди й устаткування, необхідні для прийому відпрацьованої води та підготовки її для повторного використання, а також станції очищення стічних вод.

Характерною особливістю промислового водопостачання є дотримання вимог, що ставляться до води, яку споживають. Різні і вимоги до вільних напорів на вводах, які визначаються типом устаткування й установок, що використовуються, висотою виробничих будівель. Велике значення має надійність подачі води, особливо для безперервних виробництв, наприклад доменного процесу.

Вимоги виробничих споживачів щодо забезпечення їх водою (обсяги водоспоживання, вимоги до якості води та надійності її подачі) обумовлюють особливий підхід до вибору насосного устаткування, джерела й системи водопостачання.

Іноді системи виробничого водопостачання значно ускладнюються тим, що окремі виробничі споживачі, які входять до складу підприємства, пред'являють різні вимоги до якості води або до напору, під яким вона надходить. Тому доводиться споруджувати декілька систем виробничих водопроводів.

Кількість і якість води для виробничих потреб залежать від характеру виробництва, схеми технологічних процесів, обладнання, що використовують, можливих джерел водопостачання.

Споживачі технічної води в промисловості та її призначення у виробничих процесах дуже різноманітні. Навіть на одному й тому ж підприємстві воду можуть використовувати для різних потреб.

#### *Виробничо-технічне споживання води*

Виділяють декілька груп споживачів такої води. При цьому вода витрачається:

1) як теплоносії для охолодження продуктів виробництва і технологічних апаратів, з метою забезпечення необхідного температурного рівня процесів або устаткування (наприклад, захист устаткування від прогару, для конденсації водяної пари в паротурбінних установках, охолодження компресорів тощо). У цьому випадку вода зазвичай не забруднюється, а тільки нагрівається. Ця група водоспоживачів найзначніша, на низці виробництв витрачається 70–90 % всього обсягу виробничої води;

2) для виробництва пари в парових котлах, системах випарного охолодження та інших установках. На цю групу споживачів витрачається від 2 % до 20 % води;

3) на промивку різних матеріалів, машин, деталей, мокре очищення газів, вентиляційних викидів тощо. Наприклад, воду використовують для промивки, замочування та зволоження у целюлозно-паперовій промисловості, текстильній, шкіряній промисловості, у виробництві штучного волокна тощо;

4) на гідротранспорт (транспортування потоком води лотками або жолобами шлаку, золи, сировини тощо), гравітаційне збагачення матеріалів, гідрозоловидалення. Вода при цьому також сильно забруднюється, головним чином механічними домішками;

5) на приготування розчинів, електrolітів тощо, що є характерним для хімічної та рудо-збагачувальної промисловості, електрохімічного виробництва тощо;

6) для комплексного використання. У цьому випадку вода слугує охолоджуючим середовищем, поглинаючим і транспортує (наприклад, очистка димових газів, мокре гасіння коксу, грануляція шлаків тощо).

Основні напрями використання води у технологічному процесі:

- *вода використовується як сировина для кінцевого продукту.*

Наприклад, у харчовій промисловості, у виробництві косметичних засобів,



лікарських препаратів тощо. У цьому випадку від води, що застосовується, безпосередньо залежить якість одержуваного продукту і його конкурентні переваги;

- *вода використовується у технологічному процесі.* У цьому випадку від параметрів води може залежати надійність і термін роботи устаткування;
- *вода супроводжує технологічний процес* (наприклад, оборотна вода систем охолодження, нагрівання, кондиціонування тощо).

## **1.2 Характеристика природних вод як джерела водопостачання.**

### **Основні показники якості води**

Потреби підприємств у воді різних категорій задовольняються з природних джерел, що повинні відповідати таким основним вимогам:

- забезпечувати безперебійне отримання необхідної підприємству кількості води з урахуванням перспективи розвитку підприємства;
- подавати воду такої якості, яка найбільшою мірою відповідає вимогам споживачів або дозволяє досягти її за рахунок простої обробки вихідної води;
- забезпечувати можливість подачі води споживачам з найменшими затратами;
- володіти такою потужністю, щоб розрахунковий відбір води не порушував екологічну систему, що склалася.

Властивості води визначаються концентрацією окремих домішок, сукупність яких визначає якість води.

Природні води є складною багатокомпонентною системою. Води поверхневих і підземних джерел містять гази, різні мікроорганізми, різні домішки як органічного, так і неорганічного походження.

Підземні води містять дуже мало завислих речовин. Вони зазвичай безбарвні, але часто мають підвищену твердість, відрізняються значним вмістом солей заліза та інших елементів, іноді сильно мінералізовані.

Характерними особливостями вод поверхневих джерел є висока каламутність (особливо в період весняного паводку), високий вміст органічних речовин, значна забарвленість (кольоровість), малий солевміст і невелика твердість (за винятком води морів і деяких озер).

Уже кілька століть розробляють системи класифікації природних вод для характеристики якості води. Найпоширенішими є класифікаційні системи С. О. Щукарева, О. А. Алекіна і Л. А. Кульського.

Класифікація С. О. Щукарева ґрунтується на принципі розділення води за переважаючим вмістом одного або декількох з трьох катіонів ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) і трьох аніонів ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ). Така класифікація дуже проста для порівняння різних за хімічним складом вод, але дуже громіздка (49 класів, 4 групи).

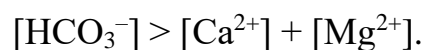
Класифікація природних вод, запропонована О. А. Алекініним основана на принципі розділення води за переважаючими іонами і за співвідношенням між ними. Відповідно до цієї класифікації за переважаючим вмістом того чи іншого аніону природні води поділяють на 3 класи:

- гідрогенкарбонатні води (здебільшого поверхневі води – води річок, озер);
- хлоридні води (води океанів, морів, солоних озер);
- сульфатні води (деякі колодязні води).

Кожен клас природних вод за переважним вмістом катіону поділяють на 3 групи: кальцієва вода; магнієва вода; натрієва вода.

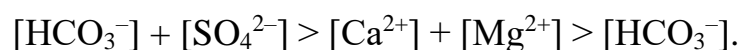
Наприклад, поверхневі води України є в основному гідрокарбонатно-кальцієві, морські – хлоридно-натрієві, деякі колодязні – сульфатно-магнієві.

Групи своєю чергою поділяються на *типи у відповідності до кількісних характеристик аніонів та катіонів*. Так, до *першого типу* відносяться води, у яких концентрація йонів  $\text{HCO}_3^-$ , виражена у ммоль·екв/дм<sup>3</sup>, більша, ніж сумарна концентрація катіонів кальцію і магнію:



Води цього типу слабо мінералізовані, для них характерний надлишок гідрогенкарбонат-іонів.

Води *другого типу* характеризуються вищою сумарною концентрацією гідрогенкарбонат- і сульфат-іонів, яка перевищує сумарну концентрацію катіонів кальцію і магнію, і у той же час є вищою, ніж концентрація одного гідрогенкарбонат-іону:



До цього типу вод відносяться підземні води, а також води рік і озер малої і середньої мінералізації.

Для води *третього типу* характерна вища концентрація хлорид-іонів у порівнянні з іонами натрію та (або) вища сумарна концентрація катіонів кальцію і магнію, що перевищує сумарну концентрацію гідрогенкарбонат- і сульфат-іонів:



Води цього типу зазвичай сильно мінералізовані.

*Четвертий тип* вод характеризується відсутністю гідрогенкарбонат-іонів.

Води цього типу є кислими і відносяться до класів хлоридних і сульфатних вод.

Класифікація О. А. Алекіна не є єдиною системою, що враховує хімічний склад природних розчинів, і має певні недоліки. Наприклад, у ній не враховується присутність у природних водах розчинних органічних сполук, загальна концентрація яких у воді річок і озер іноді досягає 100 мг/дм<sup>3</sup>. В основному це гумусові кислоти і їхні солі (продукти мікробіологічного розкладу рослинних і тваринних залишків), вуглеводні, феноли, білки, вуглеводи. Усього з осадових порід, ґрунтів виділено понад 500 органічних сполук. Багато в чому саме присутність органічних речовин обумовлює своєрідний колір природних вод водойм і річок. Однак основний процес розчинення органічних сполук у природних водах пов'язаний із процесом комплексоутворення, що має вплив на міграцію елементів.

Розглянута класифікація не враховує присутність розчинених газів. Кількість і природа розчиненого газу впливає на фізико-хімічні процеси, що протікають у природних водоймах.

Класифікація Л. А. Кульського за фазово-дисперсним станом домішок води наведена в таблиці 1.1. За фізико-хімічним складом і розмірами (дисперсністю) забруднюючих речовин виділяють чотири групи домішок:

- грубодисперсні (розмір більший за 10<sup>-4</sup> мм);
- колоїдно розчинені (розмір від 10<sup>-4</sup> мм до 10<sup>-6</sup> мм);
- молекулярні розчини (розмір менший за 10<sup>-6</sup> мм, вони розподілені у воді у вигляді іонів, молекул);
- іонні розчини (розмір від 10<sup>-6</sup> мм до 10<sup>-8</sup> мм), головним чином мінеральні солі, що збагачують воду іонами.

До *першої групи* входять домішки, що перебувають у завислому стані, це досить крупні частинки (частинки погано розчинних глин, пісок, карбонатні породи, нерозчинні гідроокиси металів), які не стійкі й легко розшаровуються і входять до складу суспензії.

До *другої групи* входять колоїдні та високомолекулярні сполуки (мінеральні частинки гумусових речовин, що надають воді забарвлення. Це домішки органічного походження – продукти розкладання органічних речовин,

гумінові речовини; або мінерального походження – кремнекислота, сполуки заліза тощо.

До *третьої групи* (молекулярно-дисперсні домішки) входять розчинені у воді гази ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2S$ ), а також катіони та аніони солей, кислот, лугів ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $OH^-$  тощо).

*Четверта група* об'єднує речовини, що дисоціюють у воді на іони. До них належать солі (зокрема солі твердості), основи і кислоти.

Найчастіше в природних водах зустрічаються гідрокарбонати, хлориди і сульфати лужно-земельних і лужних металів, меншою мірою – їх нітрати, нітрити, силікати, фториди, фосфати тощо.

Вода характеризується складом та властивостями, які визначають її придатність для конкретних видів споживання. Зазвичай оцінку якості вод проводять на основі системи показників.

Досить умовно всі показники якості води можна розділити на інтегральні та показники якості води, що характеризують конкретний вміст окремих речовин (наприклад, летких фенолів, гумінових кислот, діоксиду карбону, сірководню тощо) або йонів ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $F^-$ ,  $HCO_3^-$  тощо) у воді.

Інтегральні показники якості води зумовлені наявністю в ній багатьох речовин, як органічних, так і неорганічних, розчинених або у вигляді зависей чи колоїдів. До інтегральних показників відносяться запах, смак, каламутність (прозорість), кольоровість, окисно-відновний потенціал, окисність (перманганатна чи дихроматна), швидкість поглинання кисню, загальний вміст азоту та фосфору, органічний карбон, твердість, буферна місткість (кислотність і лужність) тощо.

*Основні показники якості природних вод:*

- фізичні (температура, вміст завислих речовин або каламутність, вміст розчинених газів, забарвленість, запах тощо);
- хімічні (твердість, лужність, активна реакція, окисність, наявність хлоридів, сульфатів, сухий залишок тощо);
- біологічні та бактеріологічні (загальна кількість бактерій, коли-індекс).

Каламутність – основний показник якості води природних водотоків (річок, струмків). Каламутність є наслідком вмісту у воді завислих частинок мінерального і органічного походження.

Величина рН – один з найважливіших показників якості води для визначення її стабільності, накипутворюючих і корозійних властивостей, прогнозування хімічних і біологічних процесів, що відбуваються в природних водах. Зазвичай для більшості природних вод величина рН змінюється в межах 6,5–8,5.

Санітарно-бактеріологічні показники – це загальний вміст бактерій у 1 дм<sup>3</sup>, число бактерій групи кишкової палички, число термостабільних кишкових паличок, патогенних мікроорганізмів, коліфагів, число патогенних кишкових найпростіших та число гельмінтів.

Хімічний склад води зазвичай характеризують іонним складом, жорсткістю, лужністю, окисністю, рН, сухим залишком, загальним солевмістом тощо.

Про кількість солей, що містяться в природних водах, можна судити за величиною сухого залишку і втратою маси при прожарюванні.

Сухий залишок (мг/дм<sup>3</sup>) характеризує вміст розчинних у воді мінеральних і органічних домішок, нелетких за певної температури. Визначають у процесі випарювання 1 дм<sup>3</sup> попередньо профільтрованої води і подальшого просушування залишку за температури 105 °С.

Мінералізація (загальний солевміст) – сумарний вміст усіх знайдених у процесі хімічного аналізу води мінеральних речовин.

Завдяки великій розчинності хлористих солей іони хлору містяться майже у всіх водах. Окрім іонів Cl<sup>-</sup> у природних водах часто зустрічаються іони SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Сульфати і хлориди в певних концентраціях є причиною корозійної активності (агресивності) води.

За вмістом іонів (солей) у воді визначають загальний ступінь мінералізації (М):

$$M = \sum \text{катіонів} + \sum \text{аніонів, мг/дм}^3.$$

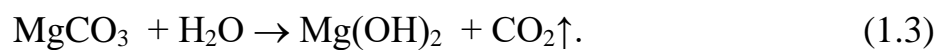
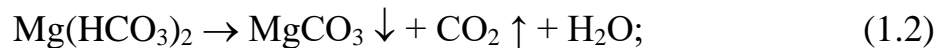
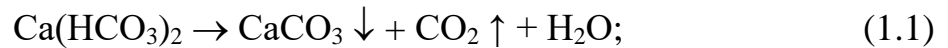
Під лужністю води розуміють суму гідроксильних іонів (ОН<sup>-</sup>), що містяться у воді, і аніонів слабких кислот, наприклад вугільної (іонів HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>). У більшості природних вод переважають вуглекислі сполуки, тому зазвичай виділяють лише гідрокарбонатну і карбонатну лужність.

*Твердість* природних вод обумовлюється наявністю в них солей кальцію і магнію.

Загальна твердість води – сума карбонатної (тимчасової) та некарбонатної (постійної) твердості. Перша зумовлена присутністю у воді кальцію і магнію

гідрогенкарбонатів, друга – наявністю сульфатів, хлоридів, силікатів, нітратів і фосфатів цих металів.

Карбонатна твердість майже повністю усувається кип'ятінням води, під час якого відбувається розпад гідрогенкарбонатів з утворенням карбонової кислоти. При цьому в осад випадають кальцію карбонат і магнію гідроксид:



Із розчинених у воді газів найбільш важливими для оцінки її якості є карбонова кислота, кисень, сірководень, азот і метан. Вуглекислота, кисень і сірководень за певних умов додають воді корозійних властивостей щодо бетону і металів.

Карбонова кислота зустрічається в таких формах: у формі недисоційованих молекул  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , гідрогенкарбонатів ( $\text{HCO}_3^-$ ), карбонатів ( $\text{CO}_3^{2-}$ ).

Карбонова кислота може перебувати у таких станах: вільна і зв'язана карбонова кислота.

Частину вільної карбонової кислоти, що перебуває в рівновазі з гідрогенкарбонатами, називають рівноважною. Надлишкова вільна карбонова кислота дуже активна і її називають агресивною.

### **1.3 Вимоги до якості води, що ставлять різні споживачі**

Залежно від того, у яких виробництвах і технологічних процесах використовують природну чи оборотну воду, до неї висувають певні вимоги за хімічним складом, фізичними і санітарно-бактеріологічними показниками. Наприклад, якщо вода є теплоносієм, то основними вимогами до неї є відсутність солей, що зумовлюють карбонатну твердість, розчиненого кисню і розчиненого вуглекислого газу. Наявність бікарбонатів магнію та кальцію призводять до утворення накипу, а розчинені гази – до корозії апаратури.

Для споживачів 1-ї групи (див. розділ 1.1), які використовують воду для охолодження, гранична температура води не повинна перевищувати 30 °С (оптимальне значення – 15 °С). Вода не повинна містити (мг/л): механічних домішок більше 50–100; сульфатів – 40; сірководню – 0,5; масел – 1–2; кисню – 4–6; сухого залишку – 1000. Карбонатна твердість води, що подається споживачам цієї групи, не повинна перевищувати 2–3 мг-екв/л.

Для споживачів 2-ї групи (виробництво пари в парових котлах) вода має бути хімічно очищеною. Загальний вміст солей не повинен перевищувати 100-2000 мг/кг залежно від тиску пари, що виробляється.

Групи 3-тя та 5-та вимагають відсутності у воді солей та оксидів заліза.

Загальні вимоги до якості води для виробничих потреб такі:

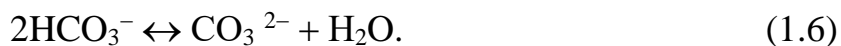
1. Вода не повинна призводити до утворення відкладень суспензії в трубопроводах і холодильниках. Відкладення призводять до зменшення коефіцієнтів теплопередачі, звужують поперечний переріз потоку, збільшують опір руху води і загалом знижують ефективність охолодження і техніко-економічні показники роботи системи охолодження. Загальні вимоги до гранулометричного складу і кількості суспензії повинні бути ув'язані зі швидкостями руху води в системі.

2. Вода не повинна призводити до біологічних обростань у системі. В оборотних і прямоточних системах охолодження цьому сприяє температура води до 45–50 °С. Біологічні обростання утворюють відкладення в елементах систем водопостачання, інтенсифікують процес випадання суспензії, змінюють властивості води і засмічують трубопроводи, знижують ефективність роботи охолоджувальних пристроїв.

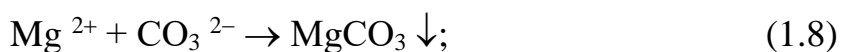
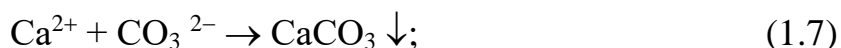
3. Вода не повинна викликати відкладень накипу. Утворення накипу є наслідком високої температури води. Для оборотних систем охолодження-нагрівання вода, що містить бікарбонати кальцію і магнію, призводить до дисоціації цих солей:



Своєю чергою іон  $\text{HCO}_3^-$  дисоціює з утворенням:



У разі нагрівання, а потім охолодження води у відкритих охолоджувачах  $\text{CO}_2$  йде з системи. Внаслідок цього вуглекислотна рівновага порушується, виникає надлишок іонів  $\text{CO}_3^{2-}$ . За наявності у воді іонів кальцію  $\text{Ca}^{2+}$  і магнію  $\text{Mg}^{2+}$  утворюються нерозчинні сполуки, які випадують в осад:



Як показує практика, шар накипу в системах охолодження складається на 70–80 % з  $\text{CaCO}_3$  і на 20–30 % з  $\text{MgCO}_3$  і  $\text{SiO}_2$ . За відсутності вільних іонів кальцію  $\text{Ca}^{2+}$  і магнію  $\text{Mg}^{2+}$  у воді і наявності вільної вуглекислоти вода стає

агресивною відносно бетону, відбувається його руйнування внаслідок вилугування іонів кальцію і магнію, що входять до складу бетону. Наявність суспензії і біологічних обростань збільшує інтенсивність накипоутворення.

4. Вода не повинна викликати інтенсивну корозію трубопроводів і обладнання. Швидкість корозії збільшується за низьких рН, підвищеного солевмісту і зменшення твердості води, збільшення концентрації хлоридів і сульфатів, кисню, а також інших агресивних газів  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  і з підвищенням температури і тиску води.

Дуже важливою класифікацією оборотної води, яка використовується для цілей охолодження, є класифікація за її здатністю утворювати накип у системах водопостачання при чергуванні циклів «нагрівання – охолодження». З цього погляду воду для виробничих цілей поділяють на:

- *термостабільну*, що не дає накипу під час багаторазового нагрівання 40–50 °С. Зазвичай це вода з карбонатною жорсткістю  $J_{\text{K}} < 3,5$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;
- *умовно термостабільну*, яка не утворює накипу під час перших циклів «нагрівання – охолодження», а в процесі наступних циклів відрізняється інтенсивним формуванням накипу. Для такої води характерна карбонатна твердість  $3,5 \geq J_{\text{K}} \leq 5,5$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;
- *нетермостабільну*, яка під час перших циклів «нагрівання – охолодження» інтенсивно утворює накип навіть за наявності у воді вільної вуглекислоти. Для такої води характерна висока карбонатна твердість  $J_{\text{K}} > 5,5$  мг-екв/дм<sup>3</sup>.

#### **1.4 Водопідготовка на промислових підприємствах, основні завдання та методи підготовки води**

У промисловості, комунальній енергетиці та сільському господарстві країни працюють тисячі парових та водогрійних котлів середніх та низьких параметрів. Їхня надійна робота багато в чому визначається веденням раціонального водно-хімічного режиму.

До основних галузей, де установка промислової водопідготовки є необхідною умовою для ефективної роботи, відносяться: котельні, ТЕЦ, а також харчова промисловість, медицина, сільське господарство. У галузі теплоенергетики обов'язковою умовою є використання пом'якшеної води для водогрійних і парових котлів.



Основним завданням підготовки води в котельнях є боротьба з корозією й накипом. Корозія поверхонь нагрівання котлів, підігрівачів і трубопроводів теплових мереж викликається киснем і вуглекислою, які проникають у систему разом із живильною й підживлювальною водою. При нагріванні й випарюванні води з неї випадають різні розчинені солі, частина з яких осаджується на поверхнях нагрівання у вигляді щільного шару з низькою теплопровідністю (накипу). Вимоги, що ставляться до води, яка використовується в парових і водогрійних котлах (ВК), різні, оскільки в парових котлах вода випаровується, а у ВК – тільки нагрівається.

Загалом всю сукупність методів водопідготовки можна поділити на три великі групи: це методи, що основані на фізичних, хімічних і фізико-хімічних процесах.

До фізичних методів водопідготовки ставляться такі методи, при яких не протікають хімічні реакції у розчині (наприклад, відстоювання, фільтрування, вплив на воду випромінювання та магнітного поля).

До хімічних методів відносяться такі методи, при яких відбувається обробка води різними реагентами з протіканням хімічних реакцій.

Фізико-хімічні методи водопідготовки характеризуються одночасним протіканням як фізичних, так і хімічних процесів. Типовими фізико-хімічними методами є сорбційні процеси (адсорбція, фізична сорбція, хемосорбція, іонний обмін) і електродіаліз. Методи водопідготовки вибираються при проведенні проектних робіт на підставі зіставлення складу вихідної води (її якості), регламентованого нормативними документами або визначеного споживачем води. Після попереднього підбору методів очистки води перевіряється можливість та умови їх застосування. Для цього в рамках проекту проводиться певна науково-дослідна робота (лабораторна перевірка), результатом якої є кількісні та якісні параметри процесу підготовки води, реальна технологічна і апаратурно-технологічна схеми. Як правило, оптимальний результат досягається застосуванням декількох методів водопідготовки. Крім цього особливу увагу приділяють економії процесу, мінімізації кількості відходів і їх токсичності.

Існуючі методи водопідготовки реалізуються в таких основних технологічних прийомах:

- видалення завислих домішок;
- видалення заліза і марганцю;

- видалення органічних забруднень;
- пом'якшення води;
- знесолення;
- видалення мікробіологічних забруднень;
- корегування складу води (корегування рН, фторування, стабілізація).

Вибір методу обробки води, складання загальної схеми технологічного процесу при застосуванні різних методів, визначення вимог, що пред'являють до її якості, залежать від складу вихідної води, типу електростанції, її параметрів (парових котлів, турбін), системи теплофікації і гарячого водопостачання.

Вміст у природних водах домішок різного ступеня дисперсності викликає необхідність очистки в декілька етапів.

Спосіб обробки води, ступінь її очищення, технологічна схема, розрахункові параметри очисних споруд залежать від якості води в джерелі, призначення водопроводу, параметрів пари, продуктивності станції або величини витрати підживлювальної води та місцевих умов.

### *Питання для самоперевірки*

1. На які потреби використовують воду у промисловості?
2. Охарактеризуйте основні групи виробничо-технічних споживачів води.
3. Класифікації природних вод, що використовуються для характеристики їх складу.
3. Які показники використовують для оцінки якості природних вод?
5. Поняття твердості води. Види твердості.
6. Як класифікується вода за твердістю?
7. Що таке лужність води, присутністю яких сполук вона зумовлена?
8. Які вимоги ставляться до води, що використовують для охолодження?
9. Які вимоги ставляться до води, що використовують для виробництва пари в парових котлах?
10. Які причини нормування вмісту іонів кальцію і магнію у водах теплоенергетичних установок?
11. Основні методи водопідготовки на підприємствах.

## 2 ПОПЕРЕДНЄ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

### 2.1 Коагуляція і прояснення води. Основне обладнання попередньої обробки води

Поверхневі води, які часто застосовують як вихідну воду, потребують попереднього очищення. У результаті вода очищується від грубодисперсних та колоїдних домішок.

На сьогодні попереднє очищення води на установках водопідготовки здійснюють при поєднанні таких процесів: коагуляції та прояснення; коагуляції, вапнування і прояснення; коагуляції, вапнування, магнезійного знекремнення та прояснення води.

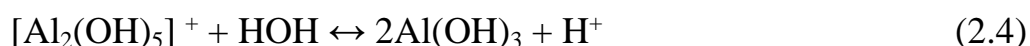
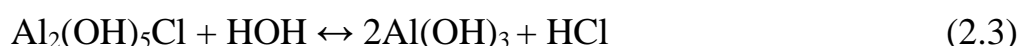
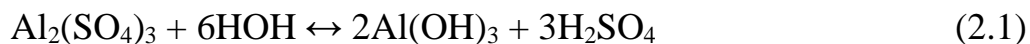
Коагуляція – процес укрупнення колоїдних частинок, що завершується випаданням речовин в осад, який видаляється осадженням або фільтруванням.

Колоїдні розчини вирізняються високою стійкістю. Це означає, що колоїдні частинки не здатні до мимовільного з'єднання у великі утворення та випадання з розчину.

Причина цього в тому, що колоїдні частинки несуть однойменний електричний заряд, що перешкоджає їхньому з'єднанню та укрупненню. Тому вводять штучні колоїдні системи, які мають позитивний заряд. Найчастіше – це солі алюмінію або заліза, а також їхні суміші. Отже, при коагуляції проходить процес укрупнення завислих та колоїдних частинок за рахунок їхнього взаємного злипання під дією молекулярних сил. Завершується процес утворенням великих пластівців із наступним їх видаленням із води.

Коагулянти гідролізуються з утворенням золь гідроокисів, які мають розвинену поверхню і які сорбують на ній різні домішки.

Гідроліз сульфату алюмінію, гідроксохлориду алюмінію і хлориду заліза можна представити у вигляді сумарних реакцій:



Коагуляція – досить складний процес, чутливий до змін умов його протікання. Найбільш важливими є доза коагулянту, рН води, температура води.

Відстійники застосовують для осадження грубодисперсних домішок за рахунок сил тяжіння. Залежно від напрямку руху води відстійники поділяють на вертикальні, горизонтальні, радіальні.

Вертикальний відстійник є циліндричним резервуаром з конічним днищем. У центральній його частині проектується циліндрична камера утворення пластівців 6. Стічна вода підводиться центральною трубою. Для кращого розподілу води і запобігання утворення мулу трубу роблять з розтрубом і розподільним щитом. Осадження відбувається у висхідному потоці, швидкість якого становить 0,5–0,6 м/с.

Горизонтальний відстійник – прямокутний залізобетонний резервуар (рис. 2.1). Воду подають у торець відстійника, де вона рівномірно розподіляється по перерізу зони прояснення дірчастою передньою перегородкою.

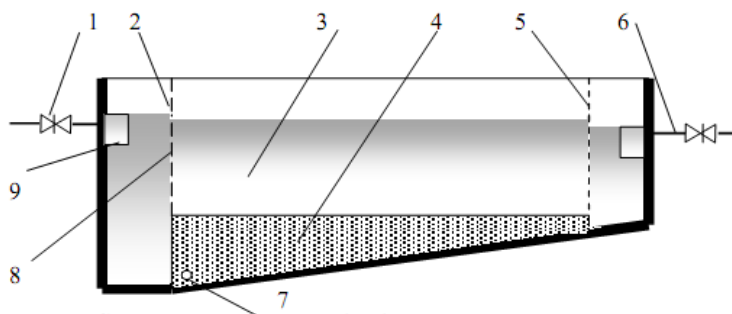


Рисунок 2.1 – Схема горизонтального відстійника:

1 – подавання води; 2 – передня розподільна перегородка; 3 – зона прояснення; 4 – зона накопичення та ущільнення осаду; 5 – задня розподільна стінка; 6 – трубопровід відведення відстоюної води; 7 – трубопровід для виведення осаду; 8 – отвори в розподільній перегородці; 9 – лоток

На рисунку 2.2 наведено принципову схему коагуляційної установки з прояснювачем.

Вихідна вода після підігріву її до температури 25–30 °С надходить до прояснювача разом або окремо з розчином коагулянту. У трубопровід вихідної води перед прояснювачем вводиться розчин кислоти або луги для створення оптимального значення рН, а у випадку застосування як коагулянту сульфату заліза ( $Fe^{2+}$ ) вводиться розчин хлору для окислення двовалентного заліза у тривалентне.

Прояснювач є апаратом, у якому одночасно протікають хімічні реакції, пов'язані із введенням реагентів, а також фізичні процеси формування утвореного осаду (шламу) в обсязі води прояснювача і фільтрації обробленої води через цей шар.

Прояснювачі використовуються для реалізації осадження домішок при обробці води коагулянтами, гашеним вапном, содою.

За схемою, представленою на рисунку 2.2, у прояснювачі відбувається утворення пластівців та прояснення води. Освітлена вода надходить у проміжний бак, з якого насосами подається на освітлювальні фільтри для остаточного звільнення від тонкої зависі, не затриманої в прояснювачі. Для більш глибокого видалення органічних речовин з коагульованої води її після освітлювальних фільтрів пропускають через сорбційні фільтри, завантажені активованим вугіллям.

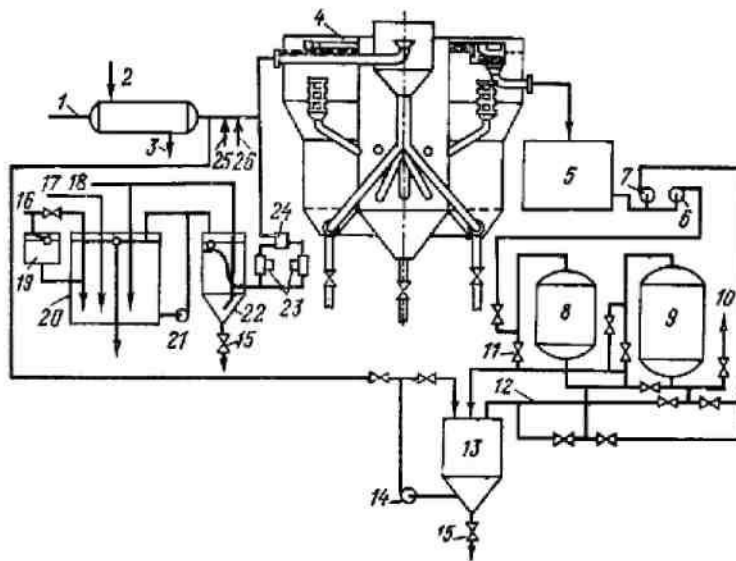


Рисунок 2.2 – Принципова схема коагуляційної установки з прояснювачем:  
 1 – вихідна вода; 2 – грюча пара; 3 – конденсат; 4 – прояснювач; 5 – бак коагульованої води; 6 – насос коагульованої води; 7 – насос для промивки фільтрів; 8 – освітлювальний фільтр; 9 – адсорбційний фільтр; 10 – освітлена вода; 11 – скид промивної води; 12 – скид першого фільтрату; 13 – бак для скиду промивних вод; 14 – насос для перекачки промивних вод у прояснювач; 15 – дренаж; 16 – технічна вода; 17 – гаряча вода або пара для розчинення коагулянту; 18 – стисле повітря для перемішування; 19 – бачок постійного рівня; 20 – бак мокрого зберігання коагулянту; 21 – перекачувальний насос коагулянту; 22 – витратний бак коагулянту; 23 – насоси-дозатори розчину коагулянту; 24 – повітряний ковпак; 25 – ввід хлору; 26 – ввід кислоти або лугу для створення необхідного значення рН

Прояснювачі із завислим осадом зазвичай поліпшують якість очищення води завдяки пропусканню води, особливо при вапнуванні, відразу ж після

змішування з реагентами через наявний шар осаду, у якому відбувається контактна коагуляція та стиснене осадження. При стисненому осадженні окремі частинки осаду перебувають у постійному русі завдяки гідродинамічній силі або швидкості потоку. Зменшення швидкості потоку викликає зменшення висоти підняття частинок осаду, робить осад більш щільним і, навпаки, при збільшенні швидкості потоку частинки підіймаються вище і шар осаду стає менш щільним. Граничну швидкість потоку, при якій шар осаду не розмивається, можна вважати швидкістю стисненого осадження.

Прояснювачі із завислим осадом можуть бути з вертикальним осадоущільнювачем; з піддонним осадоущільнювачем; без осадоущільнювача; з природним відбором осаду; з примусовим відсмоктуванням осаду.

Прояснювачі із осадоущільнювачем забезпечують більш надійний і стабільний процес очищення води.

У теплоенергетиці при вапнуванні води використовують прояснювачі із завислим осадом, що представлено на рисунку 2.3.

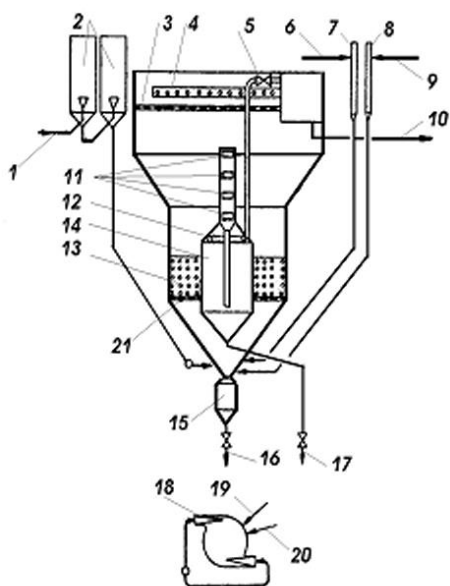


Рисунок 2.3 – Схема освітлювача із завислим осадом ЦНДІ:

1 – подача вихідної води;

2 – повітровідділювачі; 3 – решітка;

4 – водозбірний жолоб; 5 – засувка повертання води із шламівідділювача;

6, 9 – підведення коагулянту та вапна;

7, 8 – повітровідділювачі реагентів;

10 – відведення очищеної води;

11 – шлакоприймальні вікна; 12 – колектор проясненої води; 13 – гасник турбулентного потоку; 14 – шламівідділювач;

15 – брудозбірник; 16 – періодична продувка;

17 – безперервна продувка; 18 – сопло для вводу вихідної води; 19, 20 – подача реагентів; 21 – решітка

Конструкція промислових освітлювачів передбачає здійснення двох описаних процесів. Для першого процесу необхідно інтенсивне перемішування, для другого – створення зон руху оброблюваної води зі швидкістю, меншою, ніж швидкість вільного осадження пластівців.

Вихідна вода, підігріта до температури 30–35 °С подається розподільчою системою у повітровідділювач, де звільняється від бульбашок повітря. Із повітровідділювача опускною трубою через тангенціально спрямоване введення з регулюючим пристроєм вода надходить у зону змішування води і реагентів. Вапняне молоко і розчин коагулянту надходять у змішувач радіально спрямованими трубопроводами, а розчин флокулянту (ПАА) – у верхню частину камери змішувача.

Патрубки подачі води і реагентів мають тангенціальне підведення для організації обертального руху потоку з метою кращого перемішування води і реагентів.

Процес утворення пластівців починається у зоні змішування. У міру руху води пластівці збільшуються в розмірі, утворюючи товщу контактного середовища, що підтримується у зваженому стані висхідним потоком води.

Шлам осідає під дією сили тяжіння та виводиться з освітлювача з продувкою. Пройшовши верхню розподільну решітку, вода зливається в кільцевий жолоб, з якого надходить у розподільний пристрій, змішується з потоком освітленої води, що виходить із шламоущільнювача, і відводиться в бак, звідки насосами попадається на механічні фільтри для остаточного прояснення.

Під час виходу із зони змішувача починається активне виділення продуктів хімічної взаємодії, формування центрів кристалізації, наростання на останніх пластівців важкорозчинних сполук (зона контактного середовища). Контактне середовище утворює своєрідний шламовий фільтр (шар), сформований з великих частинок, що знаходяться в завислому стані. Висхідний потік дрібніших частинок агрегується на частинках шламового шару, ще збільшуючи їх. Процес укрупнення завершується на рівні шламоприймальних вікон. Шлам, утворений в зоні контактного середовища, безперервно видаляється разом з водою в шламоущільнювач через шламоприймальні вікна або шламоприймальні труби. Після зони контактного середовища основний потік проходить зону прояснення, де швидкість оброблюваної води знижується внаслідок дренажу її частини в шламоущільнювач.

Далі потік освітленої води проходить через верхню розподільну решітку і зливається через отвори в приймальний кільцевий жолоб, звідки вода відводиться в бак вапнової води. Шлам осідає в нижній частині шламоущільнювача і трубопроводами видаляється під час продувки.

Разом з вапном може застосовуватися також сода. Ці процеси проводяться в прояснювачі, де осад, що утворився в результаті вапнування і коагуляції, фільтрується через завислий у висхідному потоці води шар шламу. Застосування вапна дозволяє знизити лужність і твердість води, що обробляється і, як наслідок, скорочення витрат реагентів (кислоти і луку) для регенерації іонообмінних фільтрів при подальшому хімічному знесолюванні.

Разом з тим, використання вапна призводить до утворення великого обсягу шламових вод, що виводяться з продувкою прояснювача, утилізація яких є серйозною проблемою. Для утилізації шламових вод можуть застосовуватись фільтри-преси різної конструкції (отриманий на фільтр-прес шлам вивозиться на полігон відходів). Крім того, шламові води можна направити на золовідвал пиловугільної ТЕС. Своєю чергою застосування різних коагулянтів веде до збільшення концентрації сульфат-іонів і хлорид-іонів, що стає додатковим навантаженням на перший ступінь знесолення.

### **Технологічні схеми водопідготовки**

Поєднання необхідних технологічних процесів і споруд складає технологічну схему поліпшення якості води. Технологічні схеми, що використовують в процесі водопідготовки, можна класифікувати за такими ознаками:

- використанням реагенту (реагентні та безреагентні);
- ефектом освітлення;
- числом технологічних процесів і числом ступенів кожного з них;
- характером руху оброблюваної води (напірні та безнапірні).

Процеси оброблення води із використанням реагентів відбуваються інтенсивніше і ефективніше. Безреагентні технологічні схеми (з гідроциклонами, акустичними, намивними і повільними фільтрами), як правило, застосовують для водопостачання невеликих водоспоживачів за забарвленості вихідної води до 50 град.

За ефектом освітлення розрізняють:

- технологічні схеми для повного або глибокого освітлення води;
- для неповного або грубого освітлення.

У першому варіанті очищена вода відповідає вимогам питної води. У другому варіанті вміст суспензії в очищеній воді набагато більший – 50–100 мг/дм<sup>3</sup>. Як правило, таку грубо освітлену воду використовують для охолодження різноманітного виробничого устаткування.



За числом технологічних процесів і числом ступенів кожного з них технологічні схеми поділяють на одно-, двох- і багатоступінчасті.

При каламутності води до 120 мг/л, забарвленості до 120 град ПКШ та будь-якій продуктивності станції може бути використана схема з контактними прояснювачами (рис. 2.4, а). Вихідну воду попередньо очищують від планктону на барабанних сітках або мікрофільтрах, змішують у трубопроводі з хлором і подають у контактний резервуар, де окислюються органічні речовини. З резервуару вода надходить у змішувач, де змішується з коагулянтном і далі вода надходить в контактний прояснювач із зернистою засипкою, де, рухаючись знизу вгору, прояснюється й збирається в резервуарі чистої води.

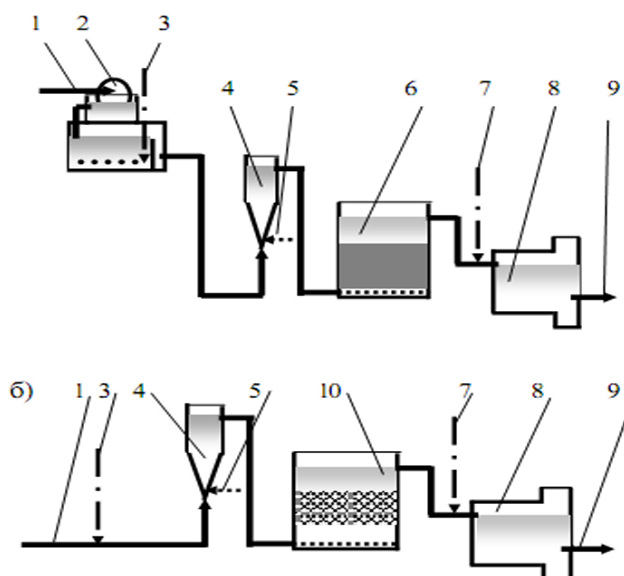


Рисунок 2.4 – Одноступеневі реактні схеми освітлення і знебарвлення води:  
а – з контактними освітлювачами; б – з контактними пінополістирольними фільтрами;

1 – подача води на очищення; 2 – мікрофільтр; 3 – введення первинного хлору;  
4 – змішувач; 5 – введення коагулянту; 6 – контактний освітлювач;  
7 – введення вторинного хлору; 8 – резервуар чистої води; 9 – подача води на насосну станцію; 10 – контактний пінополістирольно-вугільний фільтр

При каламутності вихідної води до 100 мг/л, забарвленості до 100 град ПКШ і будь-якій продуктивності станції можна використовувати схему з контактними пінополістирольними або пінополістирольно-вугільними фільтрами (рис. 2.4, б), на які вода, змішана з реагентами, надходить після змішувача. Проходячи через шар плаваючого пінополістиролу знизу вгору,

вода прояснюється й знебарвлюється, а в шарі активованого вугілля дезодорується.

При продуктивності станції до 5 000 м<sup>3</sup>/добу рекомендується схема з вертикальними відстійниками (перший ступінь очистки) і швидкими фільтрами (другий ступінь очистки).

У воду, яку подають на очищення, вводять розчин хлору для окислення органічних речовин та коагулянт. Зі змішувача вода перетікає в камеру утворення пластівців водоворотного типу. Камера розташована в плані в центральній частині відстійника. У воді, що виходить із камери в нижню частину відстійника, утворюються пластівці, основна маса яких осідає у відстійнику при висхідному вертикальному її русі. Доочищення води від залишків зависі (каламутність води на виході із відстійника 8–15 мг/л) завершується на швидких фільтрах.

При продуктивності станції більше 30 000 м<sup>3</sup>/добу замість вертикальних використовують горизонтальні відстійники. Перед ними в схемі обов'язково влаштовуються камери утворення пластівців, конструкція яких залежить від якості вихідної води. Вода з добре сформованими пластівцями після камери рухається повільним горизонтальним потоком через відстійник і пластівці осідають по всій довжині в нижній частині відстійника. Інші споруди в цій схемі такі самі, як у попередній. В інтервалі продуктивності від 5 000 м<sup>3</sup>/добу до 30 000 м<sup>3</sup>/добу замість відстійників широко використовують прояснювачі із шаром завислого осаду.

У теплоенергетиці при каламутній воді віддається перевага прояснювачам із завислим осадом на першому етапі реагентної очистки та напірним фільтрам на другому етапі. При малокаламутній воді попередня реагентна схема передбачає напірні фільтри з одношаровою або двошаровою засипкою при окислюваності до 15 мг/л.

## **2.2 Фільтрування води**

Фільтрування застосовується для глибокого видалення з води грубодисперсних домішок, пластівців коагулянту і зкоагульованих колоїдних частинок. При фільтруванні води тверді частинки затримуються на поверхні або товщі фільтруючого матеріалу.

Характерними гідравлічними показниками в цьому процесі є швидкість фільтрування, м/год (витрата води в м<sup>3</sup>/год, що проходить через 1 м<sup>2</sup> площі

фільтра); інтенсивність промивки, л/с·м<sup>2</sup> (витрата води в л/с, що промиває 1 м<sup>2</sup> площі фільтра).

Характеристикою засипки є *брудомісткість*, яка показує кількість забруднень у кг, затриманих 1 м<sup>3</sup> засипки або 1 м<sup>2</sup> площі фільтра.

Освітлювальні фільтри, які застосовуються на водопідготовчих установках, за типом поділяють на вертикальні та горизонтальні.

За тиском води над фільтруючим шаром фільтри поділяють на *самопливні або відкриті*, що працюють під тиском, створюваним різницею рівнів води у фільтрі і збірному баку освітленої води, і *напірні або закриті*, що працюють під напором, створюваним насосом або високо розташованим баком;

За кількістю послідовно працюючих фільтруючих шарів фільтри розрізняють

- одношарові, у яких фільтруючий шар складається з одного матеріалу (дрібний гравій, кварцовий пісок, активоване вугілля, антрацит, напівспалений доломітовий вапняк);

- двошарові;

- багатошарові, у яких фільтруючий шар з різних матеріалів.

За кількістю паралельно працюючих камер фільтри можуть бути однокамерні, двокамерні та трикамерні.

У схемах обробки води на ТЕС, промислових і опалювальних котелень найбільшого поширення набули вертикальні напірні освітлювальні фільтри діаметром до 3400 мм продуктивністю до 90 м<sup>3</sup>/год.

*Напірні фільтри* становлять закриті резервуари циліндричної форми, що можуть витримувати значний тиск (рис. 2.5). Основні елементи напірних фільтрів такі самі, як у безнапірних фільтрах – фільтрувальне завантаження і підтримуючі шари, дренажна система, призначена для відведення проясненої води й подачі промивної води, розподільний пристрій для стислого повітря тощо. Фільтри розраховані на тиск 0,4–0,6 МПа.

Фільтр складається з корпусу, верхнього та нижнього розподільних пристроїв, трубопроводів, запірної арматури, пробовідбірною пристроєм та фільтруючого завантаження. Дренажно-розподільні пристрої є найважливішим елементом конструкції освітлювального фільтра. Верхній дренажно-розподільний пристрій призначений для підведення у фільтр і рівномірного розподілу за площею поперечного перерізу води. Нижній дренажно-розподільний пристрій забезпечує відведення освітленої води та рівномірний

розподіл за перерізом фільтра води для промивання і стисненого повітря. Трубопроводи та запірні арматури дозволяють у процесі експлуатації перемикаєти потоки води та стиснутого повітря.

Корпус такого фільтра є сталевим циліндром зі штампованими еліптичними днищами, розрахований на тиск 6 атм. У циліндричній частині корпусу є люки для огляду та ремонту фільтра та для вивантаження фільтруючого матеріалу.

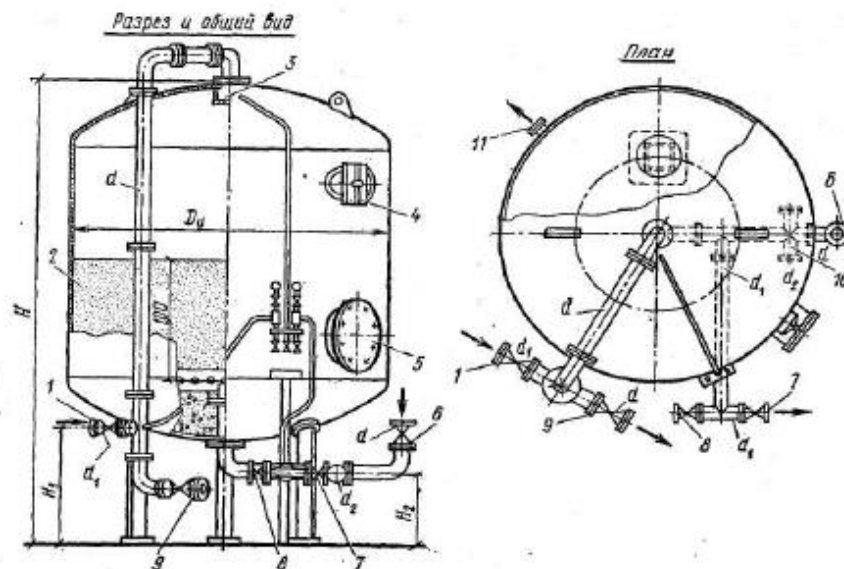


Рисунок 2.5 – Напірний вертикальний фільтр із зернистим завантаженням:

1 – подача води на очищення; 2 – фільтруючий шар із зернистого завантаження; 3 – верхній розподільний пристрій; 4 – контрольний еліптичний лаз; 5 – круглий лаз; 6 – підведення промивної води; 7 – відведення першого фільтрату; 8 – відведення очищеної води; 9 – відведення промивної води; 10 – підведення стислого повітря; 11 – штуцер для гідравлічного вивантаження і завантаження фільтру

Висота шару фільтруючого матеріалу становить зазвичай 1 000–1 200 мм. Вода на очищення подається під напором у верхню частину камери фільтра. Потім у спадному потоці вода проходить фільтруючий шар, освітлюється і через трубчастий дренаж видаляється під залишковим напором за межі фільтра. У міру забруднення фільтруючого шару, при збільшенні його опору до 0,15 МПа, фільтр виводиться на промивку, що полягає в подачі води й стиснутого повітря зворотним струменем – знизу нагору. подача повітря потрібна для розпушення зерен фільтруючого матеріалу й кращого відмивання їх від забруднень.

Напірні фільтри мають швидкість фільтрування 5–12 м/год, тривалість фільтроциклу 12–48 год.

У практиці водопостачання використовуються також спеціальні сорбційні фільтри, які призначені для затримування органічних домішок, для зниження інтенсивності присмаків і запахів. Принцип їхньої роботи такий самий, як у швидких фільтрів.

Сорбційне очищення води можна виконувати за допомогою сорбентів природного або штучного походження. Природні сорбенти зазвичай представлені глинистими породами, цеолітом та іншими породами. Природні сорбенти, звичайно, використовуються для знебарвлення води, видалення неорганічних домішок та особливо токсичних хлорорганічних речовин, проте мають великий коефіцієнт неоднорідності, за певних умов можуть забезпечити великий опір при наявності дрібних фракцій. Найбільше використання в практиці водоочищення знаходять штучні сорбенти – активоване вугілля. При цьому використовуються порошкове та гранульоване вугілля.

### **2.3 Хімічна обробка води. Реагентне пом'якшення води.**

#### **Схеми установок**

Хімічна обробка води, зокрема на теплових електростанціях, проводиться з метою запобігання утворенню накипу та появи шламу, зменшення корозійних властивостей води.

Основні методи хімічної обробки води:

- *реагентний*, при якому у воду вводяться певні реагенти з метою перетворення розчинених речовин у малорозчинні з наступним їх затриманням методом осадження та фільтрування. Найчастіше – це попередня, неповна обробка води;

- *термохімічний* – при якому у воду так само вводяться певні реагенти з метою перетворення розчинених речовин у малорозчинні сполуки, але ще з підігрівом води, найчастіше його відносять до реагентного методу;

- *іонообмінний*, при якому іонообмінні матеріали забирають з води одні іони, а повертають у воду інші;

- *термічний*, при якому вода перетворюється на пару, потім конденсується, а розчинені речовини залишаються в концентраті.

На хімічну обробку повинна поступати вода, попередньо очищена від колоїдних та завислих речовин, органічних домішок, у тому числі від кольоровості, в окремих випадках – знезаражена.

Недостатня така попередня обробка води значно підвищує навантаження на споруди хімічної обробки та підвищує собівартість очищення, а в окремих випадках навіть знижує якість хімічно обробленої води.

Попередній етап підготовки води зазвичай передбачає такі процеси:

- прояснення – зменшення каламутності, видалення колоїдних і завислих частинок;
- знебарвлення – зменшення кольоровості;
- дезодорація – зменшення інтенсивності запаху й присмаку;
- знезараження – знищення бактерій і вірусів, які містяться у воді;
- знезалізнення – зменшення концентрації заліза (може також відноситися і до другого етапу очищення).

На наступному етапі (хімічної обробки води) залежно від вимог споживачів, зокрема типу котлів, використовуються такі основні процеси:

- пом'якшення – видалення з води солей кальцію і магнію ( $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ ), що зумовлюють твердість;
- знесолення – видалення з води розчинених солей;
- знекремнення (видалення із води кремнієвої кислоти та її солей);
- дегазація – видалення з води газів, першою чергою кисню і вільної вуглекислоти;
- стабілізаційна обробка води (хімічна обробка з метою зменшення корозійних властивостей води і запобігання випадінню солей).

Усі ці процеси достатньою мірою пов'язані між собою. Дуже часто для зменшення навантаження на споруди хімічної підготовки води на попередньому етапі разом із проясненням проводиться часткове пом'якшення, знесолення, знекремнення, зниження лужності реагентним методом.

**Реагентний метод пом'якшення води** полягає у зв'язуванні іонів кальцію і магнію хімічними речовинами в малорозчинні та осідаючі сполуки (карбонат кальцію й гідроксид магнію). Залежно від використаної хімічної речовини застосовують вапняний, вапняно-содовий, їдко-натровий, фосфатний методи пом'якшення води.

За допомогою реагентного методу з води видаляється основна маса солей тимчасової та постійної твердості. Однак повністю усунути твердість цим

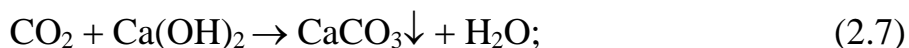
методом не вдається через певну розчинність  $\text{CaCO}_3$  і  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , тому його застосовують лише для відносно неглибокого пом'якшення (до 1,4–1,8 мг-екв/л).

Реагентне пом'якшення води здійснюють як без її підігрівання, так і з підігрівання. При підігріванні і введенні певного надлишку реагентів (10–20 %) кінцева твердість може бути знижена до 0,35–1 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

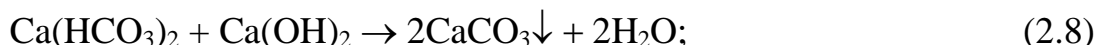
Пом'якшення води вапнуванням (декарбонізація) застосовується при високій карбонатній і низькій некарбонатній твердості, а також у випадку, коли не потрібно видаляти з води солі некарбонатної твердості.

При вапнуванні у воду вводять у вигляді розчину гашене вапно  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , яке зв'язує вільний вуглекислий газ і катіони, що видаляються з води у важкорозчинні сполуки. При цьому протікають такі процеси:

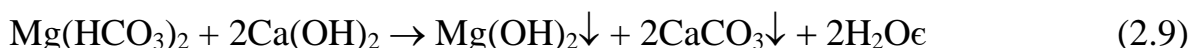
а) видалення вільної вуглекислоти



б) видалення кальцієвої карбонатної твердості



в) видалення магнієвої карбонатної твердості

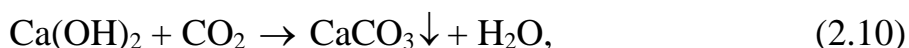


З метою поглиблення процесу зниження лужності та процесу видалення з води грубодисперсних та колоїдних домішок одночасно з вапнуванням застосовують коагуляцію. Як коагулянт зазвичай використовують сульфат заліза  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Одночасно зі зниженням лужності відбувається зменшення сухого залишку та твердості обробленої води. При вапнуванні, поєднаному з коагуляцією, досягається також знезалізнення та часткове знекремнення (на 30–40 %). Для більш повного видалення сполук кремнію ( $\text{SiO}_3^{2-}$ ) (до 0,8–1,5 мг/л) разом із вапном у воду додають оксид магнію ( $\text{MgO}$ ).

При обробці вод з великою некарбонатною твердістю в окремих випадках доцільним є додаткове введення соди. При дозуванні  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  у воді зростає концентрація карбонат-іонів, що дозволяє знизити не тільки карбонатну твердість, як при вапнуванні, але й некарбонатну.

Сутність вапняково-содового методу пом'якшення води зводиться до таких процесів:

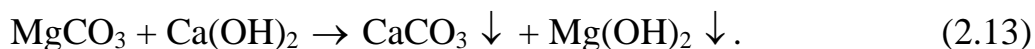
Гашене вапно реагує з розчиненим у воді вуглекислим газом:



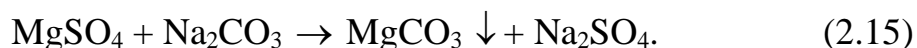
а також вступає в реакцію з гідрокарбонатами кальцію і магнію:



При надлишку вапна карбонат магнію взаємодіє з ним з утворенням гідроксиду магнію, що випадає в осад:



Видалення солей некарбонатної твердості відбувається таким чином:



Потім  $\text{MgCO}_3$  реагує з  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з утворенням  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .

Процес содо-вапнування залежить від складу вихідної води, температури, дози реагента, значення рН.

Содо-вапняний метод більш ефективний при підвищеній температурі. У результаті застосування цього методу з підігрівом води до 35-50 °С можна отримати воду із залишковою твердістю 0,1–0,3 мг-екв/дм<sup>3</sup>, вміст кремнієвої кислоти зменшується до 2 мг/ дм<sup>3</sup>, лужність води становить 0,8–1,2 мг-екв/л.

## 2.4 Схеми установок для пом'якшення та знекремнення води методом осадження

Реагентне пом'якшення води проводиться на установках, до складу яких входять реагентне господарство, змішувач або вихровий реактор, прояснювач із завислим осадом або відстійники з камерами утворення пластівців, швидкі (прояснювальні) фільтри, пристрої для стабілізаційної обробки пом'якшеної води.

Ефективність обробки води методами осадження визначається швидкістю процесу виділення розчинених у воді речовин у тверду фазу, що пов'язане із процесами кристалізації. Використання осаду як контактної середовища при обробці методами осадження дозволяє скоротити тривалість обробки води, підвищити швидкість її руху в апаратах, зменшити витрату реагентів і поліпшити якість обробленої води. Саме тому в схему вводиться реактор (спірактор) із зернистою контактною масою, який є ефективним для пом'якшення води вапном або вапняно-содовим методом.

Як контактну масу застосовують пісок або мармурову крихту з розміром зерен 0,2–0,3 мм, з розрахунку 10 кг на 1 м<sup>3</sup> об'єму реактора. Швидкість руху води у нижній вузькій частині вихрового реактора дорівнює 0,8–1 м/с;



швидкість висхідного потоку у верхній частині на рівні водовідвідних пристроїв – 4–6 мм/с. Тривалість перебування води у вихровому реакторі становить 5–15 хв.

Схема пом'якшення води з вихровими реакторами та фільтрами застосовується при  $\frac{Ca^{2+}}{20} > Ж_k$ ; освітлювачі або тонкошарові відстійники передбачаються при  $\frac{Ca^{2+}}{20} < Ж_k$ . У цьому випадку розчин коагулянту ( $FeCl_3$ ,  $FeSO_4$ ) вводиться після реактора.

У технологічних схемах реагентного пом'якшення води з прояснювачами замість вихрових реакторів можуть бути застосовані вертикальні змішувачі. Таку схему застосовують для пом'якшення каламутних вод, що містять велику солей магнію.

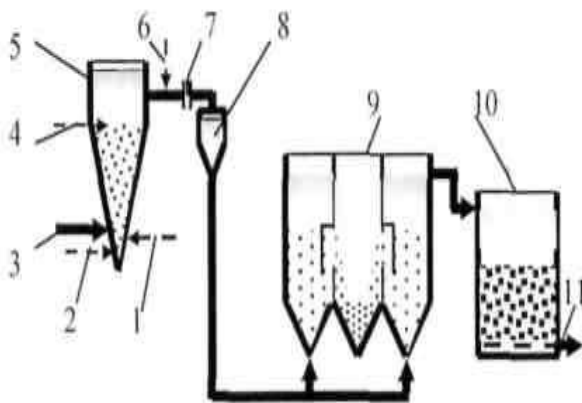


Рисунок 2.6 – Схема вапняно-содового зм'якшення води:

- 1 – введення вапна; 2 – введення соди;
- 3 – подача вихідної води;
- 4 – подача контактної маси;
- 5 – вихровий реактор; 6 – введення коагулянту; 7 – шайбовий змішувач;
- 8 – повітровідділювач;
- 9 – прояснювач із завислим осадом;
- 10 – фільтр; 11 – відведення води

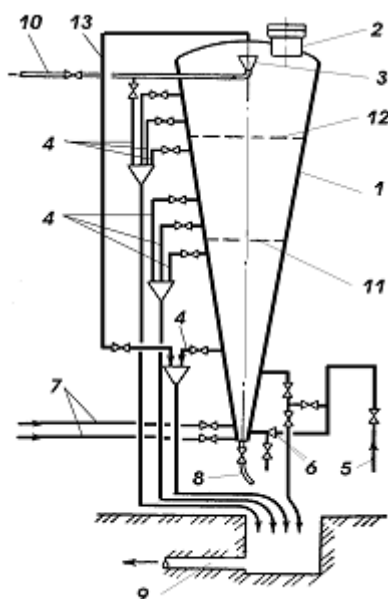


Рисунок 2.7 – Вихровий реактор:

- 1 – корпус; 2 – лаз; 3 – збірна лійка;
- 4 – трубки з контрольними кранами для продувки шламу; 5 – подача вихідної води;
- 6 – сопло; 7 – подача вапняного молока;
- 8 – продувка великих часток контактної маси;
- 9 – дренажна труба; 10 – відведення води;
- 11, 12 – рівні контактної маси відповідно для підземних і поверхневих вод; 13 – випуск повітря

Утворення осаду в процесі пом'якшення води реагентними методами відбувається в дві стадії.

Перша стадія – процес утворення малорозчинних сполук  $\text{CaCO}_3$  і  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  відбувається практично миттєво.

Друга стадія – процес кристалізації утворених осадів і агломерація їх у пластівці – значно триваліша за часом. Загальний час пом'якшення визначається інтенсивністю перебігу другої стадії.

Конструкція промислових прояснювачів (ВТІ) (рис. 2.8) передбачає здійснення двох описаних процесів. Для першого процесу необхідно інтенсивне перемішування, для другого – створення зон руху оброблюваної води зі швидкістю, меншою, ніж швидкість вільного осадження пластівців.

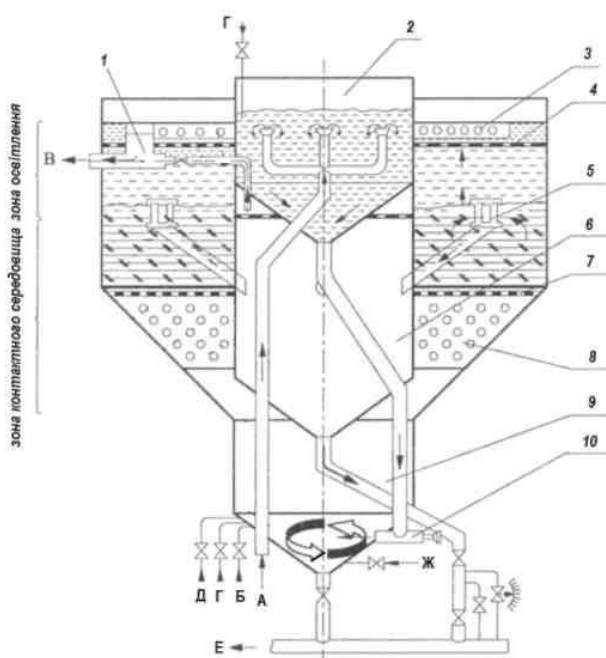


Рисунок 2.8 – Схема прояснювача ВТІ для вапнування води:

*А – вхід води; Б – вхід вапняного молока; В – вихід зм'якшеної води; Г – вхід коагулянту; Д – вхід флокулянту; Е – вихід иламу; Г, Ж – промивні води освітлювальних фільтрів; 1 – розподільний пристрій; 2 – відділювач повітря; 3 – кільцевий жолоб; 4 – верхня горизонтальна решітка; 5 – шламоприймальні вікна; 6 – шламоуцілювач; 7 – нижня горизонтальна решітка; 8 – вертикальна перегородка; 9 – змішувач; 10 – регулюючий пристрій*

Доза коагулянту приймається 25–35 мг/л із подальшим уточненням у процесі експлуатації.

**Термохімічний метод пом'якшення** ґрунтується на нагріванні води до температури 100–165 °С та введенні реагентів (вапна, соди). При більшій

температурі води утворюються великі та важкі пластівці, які краще затримуються у відстійниках або прояснювачах із шаром завислого осаду та фільтрах. При цьому витрата вапна значно зменшується через видалення вільної вуглекислоти під час підігріву. Підігрів води здійснюють у водонагрівачах.

У цьому випадку доцільною є схема з прояснювачами із шаром завислого осаду на першому ступені очищення та прояснювальними і сорбційними фільтрами на другому.

#### *Знекремнення води, основні методи*

Воду, що містить кремнекислоту, не можна використовувати для підживлення котлів високого й надвисокого тиску, у хіміко-фармацевтичній промисловості, при виробництві капрону й текстилю, при переробці кольорових металів. Вона є основним компонентом складних силікатних накипів (до 50 % кремнієвої кислоти, до 30% оксидів заліза, міді й алюмінію і до 10 % оксиду натрію), які здатні відкладатися на стінках котлів і теплообмінних апаратів. Кремнієва кислота утворює накип з катіонами кальцію, магнію, натрію, заліза, амонію.

Вода, що містить кремнекислоту, ускладнює роботу котлів, турбін, а також різних теплообмінних апаратів, знижує якість продукції, тому необхідно здійснювати попереднє знекремнення води. Глибина знекремнення води для живлення котлів залежить від їхнього робочого тиску, температури й конструкції. Вміст кремнієвої кислоти в підживлювальній воді зазвичай становить до 0,05-0,1 мг/дм<sup>3</sup> (за SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>).

Кремнекислі сполуки видаляють з води за рахунок їх сорбції гідрооксидами магнію, заліза, алюмінію. При звичайному вапнуванні кількість утвореного гідроокису магнію недостатня для забезпечення необхідного ефекту знекремнення. Тому необхідно додатково вводити гідроокис магнію. Можна вводити готовий гідроокис магнію, але це дуже дорогий реагент. Тому найбільш поширеним є каустичний магнезит (MgCO<sub>3</sub>), який частіше дозують у сухому вигляді. Вапнування при магнезіальному знекремненні здійснюють з метою зниження лужності води та підтримання рН води в межах 10,1–10,3. При рН <10 дисоціація H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> проходить дуже слабко і, відповідно, важко видалити кремнекислі сполуки.

Процес краще проходить при підігріві води. Схему установки для знекремнення води наведено на рис.10.3. Висоту шару завислого осаду приймають 2–2,5 м, шар проясненої води над осадом приймають також 2–2,5 м,

на осадкоушільнювач потрапляє 30–40 % води, тривалість контакту реагенту з водою 60–90 хв, вміст кремнієвої кислоти в очищеній воді 0,3–0,5 мг/л.

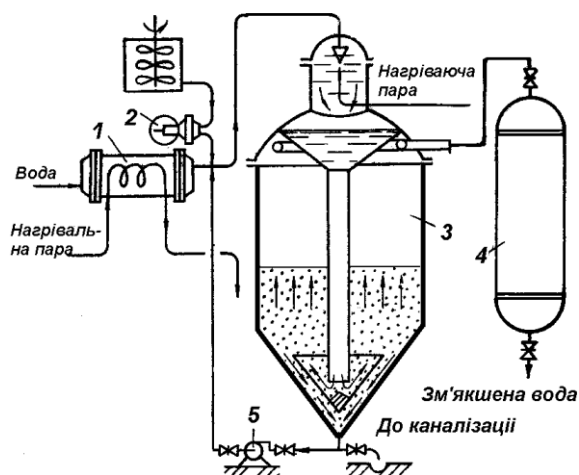


Рисунок 2.9 – Схема установки для знекремнення води:

1 – підігрівач; 2 – дозатор; 3 – прояснювач із завислим осадом;  
4 – фільтр; 5 – насос

Замість каустичного магнезиту можливо використання доломіту  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , який може бути напівобпаленим (вміст  $\text{MgO}$  становить 25–30 %) і обпаленим (вміст  $\text{MgO}$  30–40 %). Особливістю цього реагенту є те, що з нього можна одержати одночасно окис магнію і кальцію.

Фільтраційне знекремнення води передбачає фільтрування води через магнезіальний сорбент, який отримують з каустичного магнезиту шляхом розчинення його соляною кислотою  $\text{HCl}$  і хлористим магнієм  $\text{MgCl}_2$ , висушуванням цієї маси, подрібненням на зерна крупністю 0,5–1,5 мм. При фільтруванні зі швидкістю до 10 м/год у фільтраті знижується вміст кремнієвої кислоти з 5–7 мг/л до 0,2–0,5 мг/л, знижується кальцієва твердість і бікарбонатна лужність, зростають карбонатна лужність і магнієва твердість. Проте цей спосіб не отримав широкого розповсюдження. Недолік методу – заміна завантаження фільтра через кожні 6 місяців, оскільки сорбент не регенерується.

Знекремнення води солями заліза й алюмінію передбачає використання установки, до складу якої входять – камера реакції, прояснювач із завислим осадом та фільтр. Використовуються коагулянти, відповідно сірчанокисле залізо або хлорне залізо, алюмінат натрію або сульфат алюмінію. Дози реагентів встановлюють великі – 150–200 мг/л, обов'язкове підлогування: для залізних реагентів  $\text{pH} = 7,8\text{--}8,3$ , для алюмінієвих – більше 8,5. Залізні

коагулянти забезпечують часткове знекремнення, алюмінат натрію – до концентрації кремнієвої кислоти – 0,5–2 мг/л.

### *Питання для самоперевірки*

1. Для чого застосовують коагуляцію при очищенні води?
2. Які фактори, що впливають на процес коагуляції?
3. З яких основних етапів складається процес водопідготовки?
4. Охарактеризуйте основні методи усунення твердості води.
5. Напишіть основні хімічні реакції процесу вапнування води.
6. Основні технологічні процеси й споруди, що використовують при підготовці води.
7. Наведіть принципову схему прояснювача з основними потоками води, реагентів та шламу.
8. Конструкція і принцип роботи безнапірних швидких кварцових і напірних фільтрів.
9. Поясніть принцип дії установки для реагентного пом'якшення води з вихровим реактором.
10. Чи можна проводити одночасно такі види обробки природної води, як коагуляція і вапнування?

## **3 ОБРОБКА ВОДИ МЕТОДОМ ІОННОГО ОБМІНУ**

### **3.1 Технологія іонного обміну. Фізико-хімічні основи процесу**

Технологія іонного обміну застосовується для більш глибокого пом'якшення води, оскільки реагентним методом можна знизити загальну твердість води тільки до 0,4-0,8 мг-екв/л. У результаті іонообмінної технології видаляється та частина солей, що залишилися у воді, а також, якщо потрібно, з води видаляються аніони (хлориди, сульфати тощо).

Іонний обмін є процесом взаємодії розчину з твердою фазою (іонітом), здатної обмінювати іони, які містяться в ній, на еквівалентну кількість інших іонів, що перебувають у вихідній воді та мають заряд того ж знаку. Для цього оброблювана вода пропускається через фільтри. Просочуючись через зерна іоніту, вода обмінює частину іонів, розчинених у ній електролітів на еквівалентну кількість іонів іоніту, у результаті цього змінюється іонний склад як води, що фільтрується, так і самого іоніту.

Основна область використання технології іонообмінного обміну є водопідготовка (пом'якшення і демінералізація води) та очищення

промислових стічних вод. Найбільші споживачі такої води – електроенергетика, виробництво напоїв, виробництво напівпровідників, фармацевтичні виробництва.

Здатність іонітів до іонного обміну пояснюється їхньою будовою – специфічною структурою. Іоніти складаються з каркасу, що несе позитивний або негативний заряд, і рухливих протиіонів, які компенсують своїми зарядами заряд каркаса і можуть стехіометрично обмінюватися на іони того ж заряду, що містяться у водному розчині.

Іонний обмін, як і будь-яка хімічна реакція, підпорядковується загальним термодинамічним законам рівноваги. При контакті розчину електроліту з іонітом відбувається іонний обмін, який протікає до рівноваги.

Реакції іонного обміну підпорядковуються правилам, що характерні для реакцій звичайних електролітів, зокрема правилам еквівалентності обміну іонів та зворотності цього процесу.

Тривалість робочого циклу іонітних фільтрів визначається обмінною ємністю іоніту, тобто його здатністю до іонного обміну. Після використання до заданої межі обмінної ємності іоніту необхідним є її відновлення шляхом видалення затриманих ним іонів з води, що обробляється, і заміщення їх іонами, які цей іоніт віддавав воді в період робочого циклу. Таким чином, відновлення виснаженого іоніту є процесом іонного обміну, що проводиться у зворотному порядку.

Іонообмінні матеріали характеризуються низкою показників їх якості, з яких основними є: робоча ємність поглинання, фракційний склад (розмір зерен), насипна вага та коефіцієнт набухання.

*Обмінна ємність* є найважливішою технологічною характеристикою іонітів. Вона виражається кількістю іонів, поглинених одиницею маси або одиницею об'єму іоніту.

Обмінна ємність залежить від умов регенерації, іонної форми, природи іонів, що поглинаються, рН середовища, швидкості потоку середовища, геометричних характеристик шару.

Розрізняють повну та робочу обмінні ємності катіоніту.

У технології очищення води обмінну ємність катіоніту виражають у грам-еквівалентах затриманих іонів на  $1 \text{ м}^3$  іоніту, що є в набрякломому стані після перебування у воді.

Обмінна ємність, визначена в момент вирівнювання концентрації іона, що поглинається у воді та фільтраті, називається повною.

На відміну від робочої обмінної ємності, повна обмінна ємність іоніту характеризується кількістю іонів, яка може бути поглинена іонітом при повній заміні всіх обмінних іонів. Величина повної обмінної ємності такого іоніту постійна і виражається, як і робоча обмінна ємність, у грам-еквівалентах іонів, поглинених 1 м<sup>3</sup> набряклого іоніту.

Робоча обмінна ємність має менше значення – це та кількість грам-еквівалентів катіонів, що затримує 1 м<sup>3</sup> катіоніту до моменту проскоку у фільтрат катіонів.

Робоча обмінна ємність катіоніту залежить від виду катіонів, що уловлюються з води, співвідношення сольових компонентів в оброблюваній воді, значення рН води, висоти шару катіоніту, швидкості фільтрування, режиму експлуатації катіонітних фільтрів та питомої витрати регенеруючого реагенту. Так, при великих швидкостях фільтрування робоча обмінна ємність катіоніту знижується внаслідок зменшення тривалості контакту між водою та катіонітом.

Обмінна ємність, віднесена до всього об'єму катіоніту, завантаженого у фільтр, називається ємністю поглинання фільтра.

У технології водопідготовки для видалення певних іонів з води застосовують два процеси:

- катіонування – видалення катіонів. Залежно від обмінного іона процеси отримали назву водень-катіонування (обмінний катіон H<sup>+</sup>) або Na-катіонування (обмінний катіон Na<sup>+</sup>);
- аніонування – видалення з води аніонів. Обмінними іонами при аніонуванні є аніони OH<sup>-</sup> та Cl<sup>-</sup>.

Процеси катіонування води мають самостійне застосування у схемах пом'якшення води). Аніонування застосовують лише у комплексі з катіонуванням у схемах знесолення води.

Якість іонітів визначається низкою фізико-хімічних та технологічних властивостей, найважливішими з яких є фракційний склад, насипна маса, хімічна стійкість, механічна міцність, обмінна ємність, кислотність або основність.

У технології іонного обміну застосовуються іоніти із діаметром зерен 0,3–1,5 мм. У вологому стані іоніти набухають та збільшують свій обсяг, що треба враховувати при заповненні фільтрів. Ступінь набухання залежить від матеріалу іоніту, іонної форми, рН та інших факторів і становить 1,05–2.

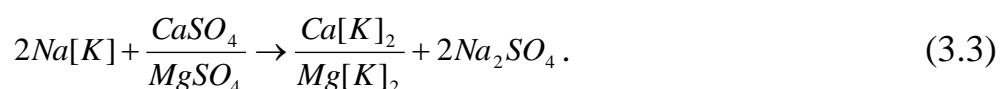
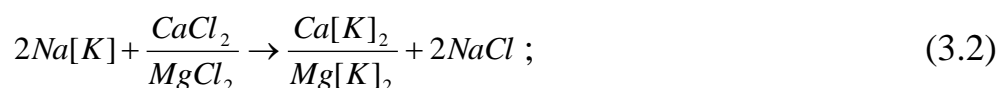
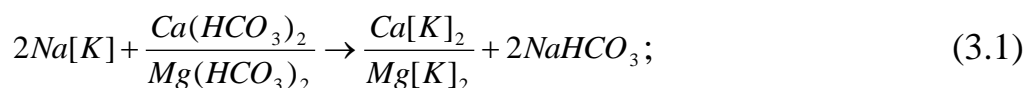
### 3.2 Катіонообмінний метод зм'якшення води

Залежно від виду катіонів, використовуваних як обмінні, розрізняють натрій-катіонування, водень-катіонування (Н-катіонування) та амоній-катіонування.

Із катіонітів найбільш широко застосовують сульфовугілля, а також катіоніт марки КУ-2, що є синтетичною смолою і має більш високу обмінну ємність, ніж сульфовугілля, більш високу хімічну стійкість до кислот, лугів, органічних розчинників.

Видалення з води катіонів шляхом Na-катіонування полягає у фільтруванні її через шар катіоніту, який містить як обмінні іони катіони  $\text{Na}^+$ . При цьому катіоніт поглинає з води катіони  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$ , що обумовлюють твердість води, а у воду з катіоніту переходять іони  $\text{Na}^+$ .

Процес Na-катіонування описується такими реакціями:



Загальна твердість води знижується в процесі одноступеневого Na-катіонування до 0,05–0,1 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Проте для багатьох котлів, і першою чергою для екранованих потрібен більш високий ступінь обробки води, тому використовують послідовне Na-катіонування на двох ступенях, яке забезпечує зниження загальної твердості води до 0,01 мг-екв/л. На очищення повинна поступати вода після попередньої очистки з каламутністю не більшою за 5–8 мг/л, окисністю не більше 15 мг/л.

Однак схема одноступеневого Na-катіонування має певні недоліки, що обмежують її застосування: неможливість глибокого пом'якшення води (до 0,01–0,02 мг-екв/л), висока питома витрата солі на регенерацію, неповне використання ємності катіоніту.

Більш глибокого пом'якшення води, економії солі і збільшення фільтроциклу досягають двоступеневим Na-катіонуванням. У цьому випадку після Na-катіонітових фільтрів I ступеня остаточно твердість становить 0,1–0,2 мг-екв/л при звичайній швидкості фільтрування 15–25 м/год, після Na-катіонітових фільтрів II ступеня твердість води знижується до 0,02–0,01 мг-екв/л.



Серед більшості різних іонообмінних процесів на ТЕС найбільш часто після попередньої очистки застосовують одноступеневе чи двоступеневе Na-катіонування для підготовки живильної води випарників-пароутворювачів і підживлення закритих теплових мереж.

Швидкість фільтрування залежно від твердості вихідної води для фільтрів I ступеня становить від 5 м/год до 25 м/год, а для II ступеня – до 60 м/год.

Основним недоліком процесу Na-катіонування є незмінність значення лужності води, тому цей процес може мати самостійне значення лише при підготовці води для підживлення тепломережі та додаткової води для котлів низького та середнього тиску за порівняно низької лужності вихідної води.

Для кількісної оцінки обмінної здатності катіоніту введено поняття «обмінна ємність». Тобто кожен катіоніт має певну обмінну ємність, яка виражається кількістю катіонів, які катіоніт може обміняти протягом циклу фільтрування.

У процесі фільтрування іонообмінна смола Na-катіонітових фільтрів поступово насичується солями твердості і через певний час фільтри необхідно регенерувати, тобто відновлювати їх іонообмінну здатність. Для відновлення катіонів натрію через фільтр пропускають розчин кухонної солі NaCl.

При цьому протікають такі реакції:



Регенерацію іонообмінних фільтрів проводять зазвичай за протиточною схемою. При цьому оброблювана вода й регенераційний розчин рухаються у протилежних напрямках.

У результаті регенерації Na-катіонітових фільтрів утворюються стічні води, що містять кухонну сіль, а також солі кальцію і магнію (CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>). Хімічний склад стічних вод від регенерації Na-катіонітових фільтрів характеризується високим солевмістом і високою жорсткістю. Ці води складають основний об'єм хімічно забруднених стічних вод, що утворюються в процесі хімічної підготовки води.

### **Водень-катіонування (H-катіонування)**

H-катіонування застосовується в схемах зм'якшення та хімічного знесолення води.

При пропусканні води через катіоніт у H-формі відбуваються реакції обміну всіх присутніх у воді катіонів на катіон водню. Частина катіонів водню

взаємодіє з присутнім у воді бікарбонатним аніоном, утворюючи вуглекислоту та воду. Решта катіонів водню врівноважує аніони кислот, що залишилися у воді, з утворенням мінеральних кислот.

*H*-катіонітові фільтри подібні до *Na*-катіонітових за принципом роботи. Регенерація *H*-катіоніту проводиться 4–6 % розчином кислоти ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Для відновлення властивостей катіоніту використовують сірчану кислоту  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

У процесі *H*-катіонування води значно знижується рН фільтрату за рахунок кислот, що утворюються внаслідок процесу. Вода на виході з фільтра має кислу реакцію.

Видалення двоокису вуглецю, що виділяється під час реакцій пом'якшення, здійснюють у дегазаторах з кислототривкими керамічними насадками розміром 25 мм × 25 мм × 4 мм і щільністю зрошення 60 м<sup>3</sup>/год на 1 м<sup>2</sup> площі дегазатора.

У разі потреби видалення тільки карбонатної твердості (лужності) води використовують технологію *H*-катіонування з «голодною» регенерацією, за якої витрата кислоти становить 1,05–1,1 г-екв/г-екв. Особливістю роботи катіонітів при «голодній» регенерації є здатність їх обмінювати катіони, пов'язані лише з бікарбонат-іонами, тобто руйнувати карбонатну твердість (лужність) води. При цьому катіони, пов'язані з аніонами сильних кислот, на катіон водню не обмінюються. Ефективне застосування цього методу можливе при обробці сирій води при співвідношенні бікарбонат-іону до іонів сильних кислот 3:1.

### **Водень-натрій катіонування**

*H*-*Na*-катіонування використовують для зниження твердості, загальної лужності і мінералізації води. *H*-*Na*-катіонування може бути паралельним (рис. 3.1) або послідовним (рис. 3.2). Спільне водень-натрій-катіонування спочатку як водень-катіонітового, потім, після виснаження катіоніту щодо водню – переходу в нейтральне середовище. – передбачає роботу фільтра як натрій-катіонітового до проскоку твердості.

Таке катіонування передбачає змішування двох потоків води: кислої – після *H*-катіонування і лужної – після *Na*-катіонування, після чого проходить реакція нейтралізації. Залишкову лужність після змішування приймають 0,3–0,4 мг-екв/л. Вільну вуглекислоту, що утворилася, видаляють у декарбонізаторі.

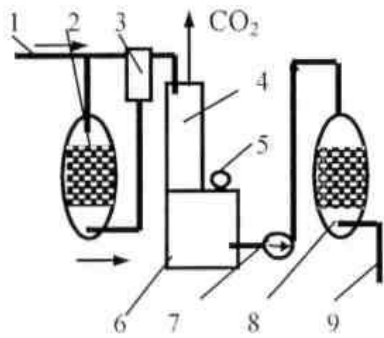


Рисунок 3.1 – Схема послідовного H-Na-катіонування:

1 – подача вихідної води; 2 – H-катіонний фільтр; 3 – змішувач; 4 – декарбонізатор; 5 – вентилятор; 6 – бак; 7 – насос; 8 – Na-катіонний фільтр; 9 – відведення обробленої води

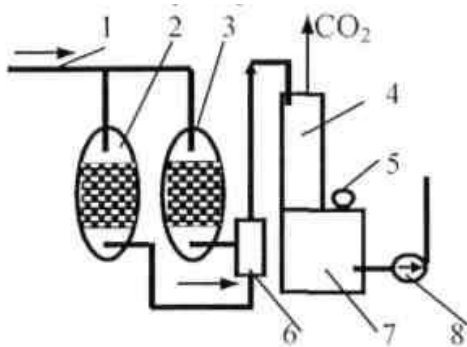


Рисунок 3.2 – Схема паралельного H-Na-катіонування:

1. – подача вихідної води; 2 – H-катіонні фільтри; 3 – Na-катіонні фільтри; 4 – декарбонізатор; 5 – вентилятор; 6 – змішувач; 7 – бак; 8 – насос

При паралельному H-Na-катіонуванні частина вихідної води проходить H-катіонні фільтри, а частина – Na-катіонні фільтри. За такою схемою можна отримати воду із загальною жорсткістю 0,1 мг-екв/л і залишковою лужністю 0,4 мг-екв/л.

Для підготовки води для підживлення закритої тепломережі здебільшого проводиться пом'якшення за схемою одно- або двоступеневого Na-катіонування, може застосовуватися також паралельне H-Na-катіонування, Na-катіонування з підкисленням та подальшою декарбонізацією.

До переваг іонного обміну методу обробки води можна віднести:

- можливість автоматизації;
- надійність роботи при різному солемісті вихідної води;
- поширеність та хороша вивченість методу;
- високий ступінь знесолення очищеної води.

Основні недоліки методу:

- високі питомі витрати реагентів на регенерацію, що зазвичай перевищують стехіометричні у 1,5–3,0 рази);
- утворення значної кількості високомінералізованих стічних вод.

### 3.2 Основні типи іонообмінних апаратів

Усе різноманіття існуючих іонообмінних апаратів для зручності їх розгляду може бути розбите на окремі групи апаратів, близьких за конструкцією, принципом дії та характеристиками. Запропоновано різні варіанти класифікацій іонообмінного обладнання, однак найуспішнішою на сьогодні визнано класифікацію, подану на рисунку 3.3.

Згідно з представленою класифікацією іонообмінне обладнання поділяється на групи за двома основними ознаками: за режимом роботи та за гідродинамічним режимом. Відповідно до цих ознак апарати поділяють на такі групи: періодичної, безперервної, напівбезперервної дії; із суцільним або псевдозрідженим (завислим) шаром іоніту.

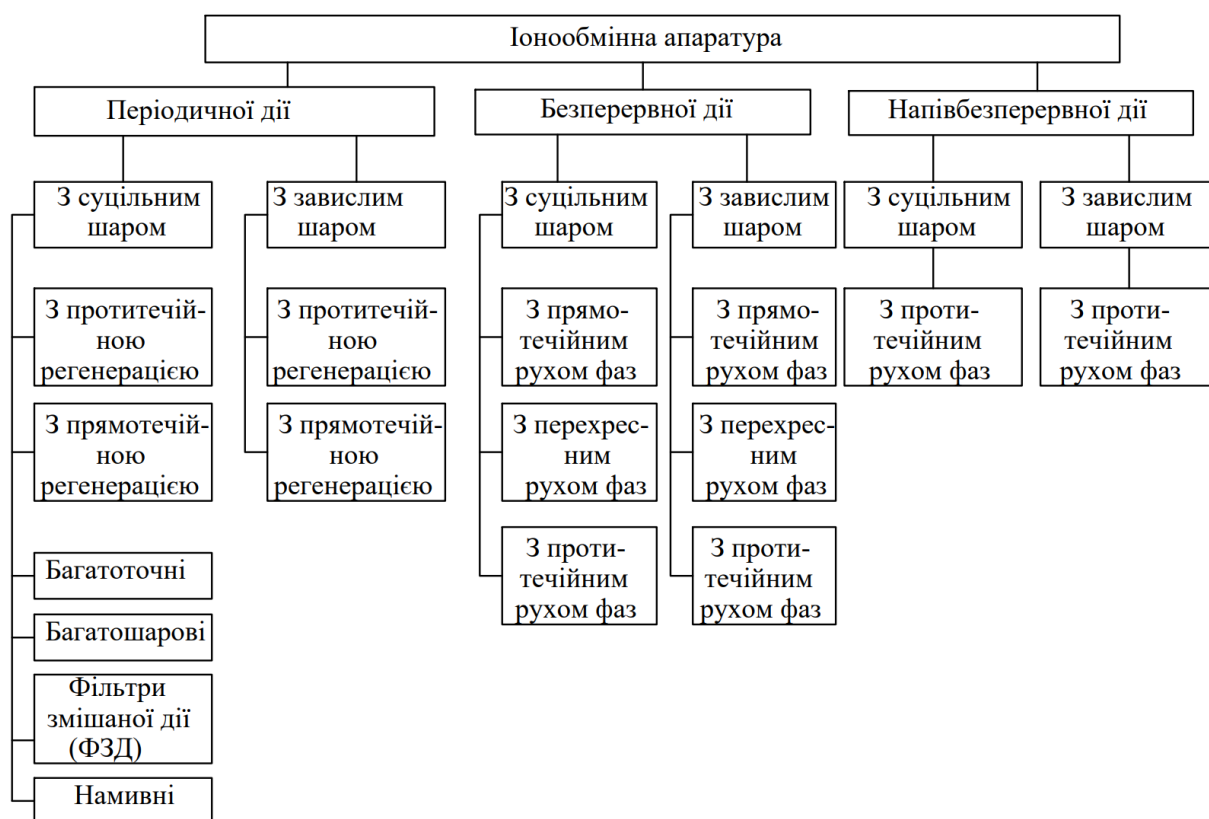


Рисунок 3.3 – Класифікація іонообмінних апаратів

За характером взаємного руху фаз в апараті установки безперервної та напівбезперервної дії можуть бути: з паралельним (прямиотечійним), перехресним (змішаним) та протитечійним рухом. За способом організації пересування іоніту існують апарати з гравітаційним та примусовим рухом іоніту.

Кожна із цих ознак є дуже важливою під час опису апарату, а їх сукупність досить повно характеризує конструкцію. Апарати кожної групи мають позитивні та негативні сторони. Вибір апарату для заданого процесу визначається необхідними технологічними параметрами, масштабами виробництва та надійністю конструкції.

**Апарати періодичної дії** характеризуються тим, що всі технологічні процеси (очищення, розпушування, регенерація, відмивання) проводяться в одному апараті послідовно.

У вітчизняній водопідготовці застосовуються лише апарати періодичної дії із суцільним (щільним) шаром іоніту. Робота таких апаратів заснована на фільтруванні розчину через нерухомий шар іонообмінної смоли, що розміщений всередині апарату.

Такі іонообмінні апарати прості за конструкцією, для їх обслуговування не потрібен кваліфікований персонал. До їх недоліків потрібно віднести великий обсяг самих апаратів та завантаження іоніту, значну витрату реагентів, необхідність підведення до кожного апарату великої кількості комунікацій із запірною арматурою, високі вимоги до надійності цієї арматури, складність автоматизації.

*Апарати із суцільним нерухомим шаром іоніту називають іонообмінними фільтрами.* Усі вони, за винятком наливних фільтрів, близькі за конструкцією та схемою включення.

Іонообмінний фільтр становить вертикальну посудину, частково заповнену іонітом, і має кілька дренажних та розподільчих систем для введення та виведення реагентів. Це простий і надійний апарат, який випускається серійно. Він досі є основним у водопідготовці.

Усі процеси іонообмінного циклу проводять у фільтрі шляхом послідовного пропускання відповідних розчинів через шар іоніту. При цьому оброблюваний розчин пропускають до «проскоку», тобто до того моменту, коли концентрація визначального компонента перевищить норму. Після цього іоніт регенерують, пропускаючи розчин кислоти або лугу, і відмивають водою від залишків регенеруючого розчину. Крім того, періодично завантаження іоніту розпушують потоком води або повітря знизу для усунення каналів, що утворилися в шарі іоніту, застійних зон і видалення механічних забруднень.

Іонообмінні смоли мають можливість регенерації. Після виснаження робочої обмінної ємності іоніту він втрачає здатність обмінюватися іонами та його необхідно регенерувати. Регенерація здійснюється насиченими розчинами,

вибір яких залежить від типу іонообмінної смоли. Процеси відновлення зазвичай протікають в автоматичному режимі. На регенерацію зазвичай витрачають близько 2 годин, з них на розпушування – 10–15 хв, на фільтрування регенеруючого розчину – 25–40 хв, на відмивку – 30–60 хв. Іонообмінне очищення реалізують послідовним фільтруванням води через катіоніти та аніоніти.

Таким чином, більшість іонообмінних процесів включають такі основні стадії:

- 1) робочий цикл;
- 2) зворотна промивка, яка необхідна для розпушування шару іоніту і видалення механічних домішок, затриманих у шарі;
- 3) регенерація – процес переведення іоніту в вихідну форму шляхом пропускання через його шар регенераційного розчину;
- 4) пряма промивка для видалення з колони залишку регенераційного розчину.

Для забезпечення безперервності процесу очищення розчину на кожній операції необхідно встановлювати щонайменше два апарати, один з яких працює в режимі іонного обміну, а інший у цей час регенерується. За високих вимог до надійності (водопідготовка ТЕЦ та АЕС) встановлюють ще резервні апарати.

Місткість іоніту в одиночному фільтрі використовується не повністю, оскільки проскок солей починається задовго до повного насичення його шару. Від відношення товщини зони зміни концентрацій до висоти шару залежить робоча ємність іоніту. Висота робочого шару залежить від кінетики процесу іонного обміну, його швидкості і концентрації розчину.

При збільшенні висоти апарату зростає робоча ємність, проте зростає гідравлічний опір. Тому високі апарати використовують щодо повільних процесів при малих швидкостях розчину. Зазвичай при водопідготовці та водоочищенні висота шару іоніту становить 0,7–1,5 м.

Спосіб проведення регенерації іоніту значною мірою визначає економічність та ефективність всього процесу. Можливі два основні варіанти.

*При прямотечійній регенерації* регенеруючий розчин подають у тому ж напрямку, що й оброблюваний (зазвичай зверху вниз). При цьому чистий регенеруючий розчин спочатку контактує з верхнім шаром найбільш насиченої смоли, а потім – з нижнім, найменш насиченим.

У результаті нижні шари іоніту, що лежать ближче до виходу розчину з апарату, регенеруються гірше за інших, у той час як для забезпечення високої якості очищення необхідно, щоб рівень їх регенерації був високим. Для цього доводиться витратити велику кількість реагентів, що у кілька разів перевищує необхідну стехіометричну кількість.

Ця особливість технології іонного обміну, а також властивості іонітів та регенерантів визначають принципові недоліки іонообмінної технології очищення води: великі витрати реагентів та води для відмивки іоніту від залишків регенераційного розчину та велика кількість стічних вод.

Історично сталося так, що майже всі конструкції іонообмінних фільтрів – прямотечіні (паралельнотечіні), тобто вода і регенеруючий розчин рухаються у фільтрі в одному напрямку.

Значного скорочення витрати реагентів та підвищення економічної ефективності можна досягти, застосовуючи фільтри з протитечіною регенерацією. У випадку протитечіного фільтрування подача регенераційного розчину та води, що обробляється, відбувається у різних напрямках.

Фільтри з протитечіною регенерацією відрізняються від прямотечіних тим, що вони мають нижню та верхню дренажні системи. Принцип роботи фільтра полягає в тому, що регенеруючий розчин і відмивна вода надходять у напрямку, протилежному напрямку фільтрування води. У результаті в апараті створюється такий розподіл ступеня регенерації іоніту, що вода, яка очищається, спочатку контактує зі смолою, що містить деяку кількість забруднень, а потім контактує з більш відрегенованою смолою. На виході розчину з апарату сорбент є максимально чистим. Цим досягається висока глибина очищення при відносно невеликих (у 1,5–3 рази менших, ніж у разі застосування прямотечіних фільтрів) витратах реагентів та відповідному збільшенні концентрації регенератів.

Переваги протитечіного фільтрування були відомі давно, але промислове застосування воно знайшло лише з появою спеціальних конструкцій фільтрів та розвинутого виробництва різноманітних високоефективних іонітів.

Конструкція фільтрів для реалізації протитечіної технології відрізняється такими особливостями: дренажно-розподільні пристрої становлять тарілки з вмонтованими в них ковпачками. Затиснутий шар іоніту перешкоджає перемішуванню матеріалу, завдяки чому найбільш відрегенований шар дозволяє отримати високу якість води. Однорідний

(монодисперсний) гранулометричний склад знижує гідравлічний опір шару, тому протитечійні фільтри можуть працювати за більш високих швидкостей, ніж прямотечійні.

На сьогодні відомо декілька конструкцій протитечійного фільтрування, які принципово розрізняються за напрямками потоків (вони набули широкого поширення за кордоном):

- потік води спрямований знизу нагору, а регенерація – зверху вниз (Schwebbett, Amberpack);

- потік води спрямований зверху вниз, а регенерація – знизу вгору (UP.CO.RE).

Застосування протитечійних іонообмінних технологій дає можливість зменшити витрати води на власні потреби та реагентів на регенерацію фільтрів, як наслідок скорочуються скиди стічних вод та загальна кількість мінеральних компонентів у них. Зменшується необхідна кількість обладнання та обсяг іонообмінних матеріалів.

#### *Питання для самоперевірки*

1. У чому полягає сутність катіонообмінного методу пом'якшення води?
2. Основні типи катіонообмінних матеріалів.
3. Опишіть хімізм катіонообмінного процесу.
4. Переваги й недоліки процесу Na-катіонування при його організації в один і два ступені.
5. Наведіть схему Na-катіонітового пом'якшення води.
6. Що таке повна й робоча обмінна ємкість катіоніту?
7. Якими фізичними та хімічними властивостями визначається якість іонітів?
8. Як здійснюється H-катіонітове пом'якшення води.
9. У чому полягають відмінності паралельнотечійні й протитечійні технології іонного обміну й конструкції фільтрів?



## ТЕМА 4 СПЕЦІАЛЬНІ МЕТОДИ ПІДГОТОВКИ ВОДИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

### 4.1 Методи знезалізнення та деманганації води. Вибір методів, схеми установок

Під знезалізненням або деферизацією розуміють процес вилучення з підземних і поверхневих вод заліза, присутнього у воді у вигляді складних органічних та мінеральних сполук, розчинів двовалентного заліза, карбонатів і бікарбонатів заліза, колоїдних і тонкодисперсних суспензій гідроксидів і сульфідів заліза.

Підвищений вміст сполук заліза у природній воді у концентраціях, що перевищують нормативні, робить її непридатною для пиття та використання у технологічних процесах окремих виробництв текстильної, хімічної, целюлозно-паперової та інших галузей промисловості.

Для знезалізнення води використовують безреагентні, реагентні та катіонообмінні методи.

Катіонообмінний – застосовують одночасно зі зм'якшенням води, полягає в обміні катіонів заліза, кальцію та магнію на катіони натрію та водню завдяки спеціальним засипкам фільтра (іонообмінним смолам).

Вибір тієї чи іншої технології обробки природної води, що містить сполуки заліза, залежить від їх кількості та форми існування, якісного складу води та продуктивності очисних споруд (установок). Метод знезалізнення вибирають залежно від хімічного складу води, ступеня знезалізнення, продуктивності станції, технологічних випробувань.

У практиці водопідготовки зазвичай використовують безреагентні та реагентні методи, які передбачають введення окислювачів заліза. У першому випадку цим окислювачем є кисень повітря, а в другому – у воду вводять розчини хімічних окислювачів (реагентні). Завданням методів є переведення розчинних форм заліза у малорозчинні форми  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , чого досягають окисленням із наступним його осадженням або затриманням у товщі фільтруючої засипки. При окисленні заліза киснем хімізм процесу має вигляд:



Сутність реагентного методу полягає в тому, що розчинні форми заліза потрібно перевести в малорозчинні  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , із введенням у воду окислювачів: хлору, перманганату калію, вапна, соди.

Знезалізнення поверхневих вод, зазвичай, проводиться реагентним способом одночасно з проясненням та знебарвленням. Для видалення заліза з підземних вод найбільшого поширення набули безреагентні методи обробки.

До аераційних пристроїв, призначених для насичення води киснем, видалення частини вільної вуглекислоти, часткового окислення двовалентного заліза в тривалентне, відносяться вакуумно-ежекційні апарати, градирні, бризкальні басейни, баки-аератори.

Сутність безреагентного методу полягає в тому, що в аераційному пристрої воду насичують киснем, при цьому частково видаляється вугільна кислота, частково окислюється залізо. Потім воду відстоюють у резервуарах і фільтрують на фільтрах, де видаляються утворені пластівці гідроксиду заліза. Тобто при використанні цього методу розчинні форми заліза переводяться у малорозчинні  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , які потім видаляються за допомогою аерації спрощеної або на спеціальних пристроях. Використовують як напірні, так і безнапірні фільтри. Цей метод використовується найчастіше, тому що він дешевий та простий. Якщо процес знезалізнення безреагентним методом відбувається погано, то вдаються до реагентного методу. При цьому у вихідну воду вводять окислювачі: хлор, перманганат калію, вапно, соду.

Окислення заліза може проводитись шляхом глибокої та спрощеної аерації.

При глибокій аерації процес окислення заліза починається у аераційних пристроях із значним подрібненням потоку води або повітря для створення найбільшого контакту з повітрям (наприклад, градирнях) і закінчується в проміжних ємностях, резервуарах, відстійниках, де утворюються пластівці гідроксиду заліза. На фільтрах проходить затримка сформованих пластівців гідроксиду заліза за тими самими законами, що і на швидких фільтрах при проясненні води, але додається сорбція непрореагованих іонів двовалентного заліза і кисню. Утворені пластівці мають пухку, нестійку структуру і легко затримуються у верхніх шарах засипки фільтра.

Спрощена аерація проходить у більш простих пристроях, ніж у попередньому випадку. Вода одразу після аерації потрапляє в шар зернистої засипки. При надходженні води після окислювання в засипку процес затримки заліза проходить безпосередньо в засипці одночасно з окисненням. При цьому зерна засипки можуть мати більший розмір, ніж при глибокій аерації.

Швидкість процесу знезалізнення зростає при збільшенні рН води і найбільш швидко закінчується при рН=7,5. Для підняття більшості підземних вод значення рН до 7,5, потрібно видаляти вільну вуглекислоту.

Спрощену аерацію використовують, якщо вміст заліза становить до 10 мг/л, зокрема двовалентного заліза – не менш ніж 70 %, рН – не менш ніж 6,8, вміст сірководню – не більше 2 мг/л і лужність – понад  $L = (1+Fe^{2+}/28)$ , мг-екв/л.

При продуктивності станції до 3200 м<sup>3</sup>/добу та вмісті заліза до 5 мг/л можуть бути використані напірні установки знезалізнення одноступеневі (рис. 4.1). Використовують напірні фільтри діаметром 1, 2, 3, 4 м, які завантажені кварцевим піском.

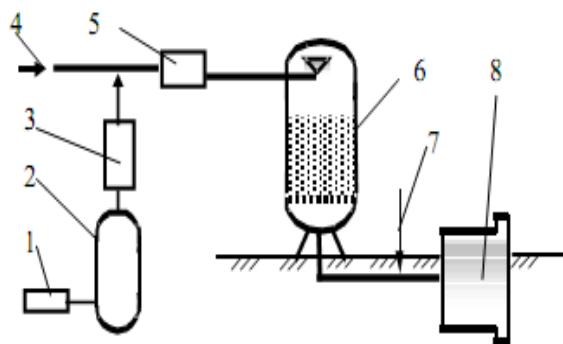


Рисунок 4.1 – Схема напірної установки для знезалізнення води:

- 1 – компресор; 2 – повітрязбірник;
- 3 – редуційний клапан; 4 – подача вихідної води; 5 – змішувач; 6 – напірний фільтр; 7 – введення хлору для знезараження; 8 – резервуар чистої води

Для знезалізнення вод із вмістом заліза 5–15 мг/л застосовують послідовне двоступеневе фільтрування – спочатку крізь контактний фільтр, а потім – крізь прояснювальний. Швидкість фільтрування на контактному фільтрі на 50–60 % більша, ніж на прояснювальному.

На станціях великої продуктивності найчастіше використовуються звичайні (безнапірні) швидкі фільтри з кварцовою засипкою крупністю 0,8–1,8 мм з виливом вихідної води з труби суцільним струменем у бокову кишеню з висоти не менше 0,5–0,6 м. Для покращення аерації пропонується вилив із спеціального жолоба або дірчастої труби.

Можливість використання спрощеної аерації та фільтрування визначається пробним знезалізненням води безпосередньо біля джерела.

Метод знезалізнення підземних вод із великою концентрацією заліза передбачає глибоку аерацію на вентиляторних або контактних градирнях, закінчення процесу окислення заліза в контактному резервуарі і наступному фільтруванні на відкритих фільтрах (рис. 4.2).

Контактна градирня – це споруда з жалюзійними стінками, всередині якої розташовуються ящики з дірчастим дном. В ящики завантажуються шматки

коксу, пемзи, щебеню. Вода у верхній частині розбризкується по площі і профільтровується через декілька таких ящиків, у результаті чого насичується киснем.

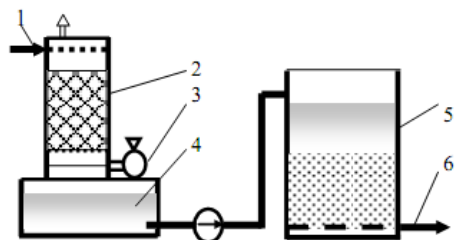


Рисунок 4.2 – Схема установки для знезалізнення з вентиляторною градирнею:  
 1 – подача вихідної води; 2 – вентиляторна градирня; 3 – вентилятор; 4 – контактний резервуар; 5 – відкритий прояснювальний фільтр; 6 – відведення знезалізненої води

Для знезалізнення води від форм заліза, які прийнято називати бікарбонатними, що характеризується вмістом заліза до 10–15 мг/л, рН – до 6, перманганатною окисністю – до 6–8 мг  $O_2$ /л; за відсутності забарвленості води та за концентрації вуглекислоти до 30–50 мг/л основним методом є попередня (спрощена) природна аерація (вилив), іноді з додатковим ежектуванням і фільтруванням через зернисте завантаження (рис. 4.3 а, б).

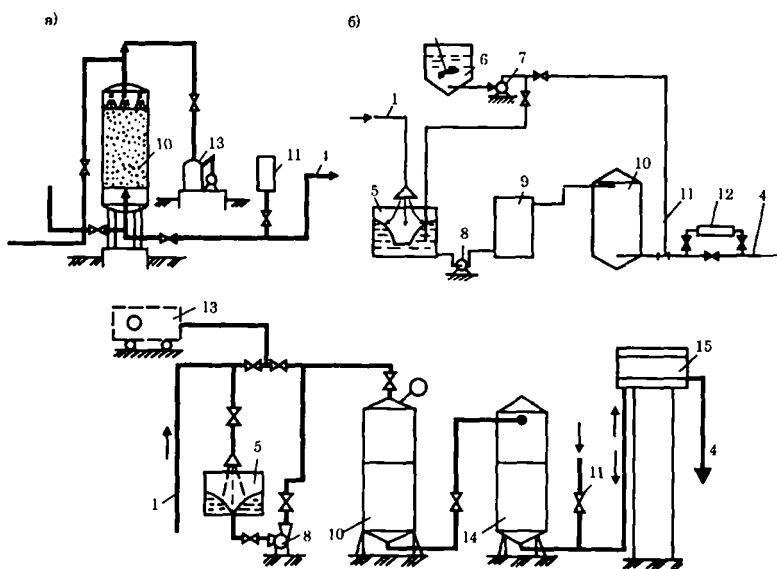


Рисунок 4.3 – Схеми установок знезалізнення природних вод:  
 а – «суха» фільтрація; б – спрощена аерація (установка «Деферит»);  
 в – спрощена аерація з двоступеневим фільтруванням;

1 і 4 – подача вихідної та відведення обробленої води; 1 – вакуумно-ежекційний апарат; 5 – бак-аератор; 6 – реагентне господарство; 7 – насос-дозатор; 8 – насос; 9 – ресивер; 10 – швидкий фільтр; 11 – ввід хлору (варіант); 12 – бактеріцидна установка; 13 – компресор; 14 – швидкий фільтр II ступеня; 15 – водонапірна башта

У тих випадках, коли рН 6,3–6,5, окисність більше 12–15 мг О<sub>2</sub>/л, вода характеризується наявністю забарвленості (доводиться зустрічатися з так званими органічними формами заліза), необхідно застосувати реагентні методи знезалізнення з використанням двоступеневої схеми очищення (рис. 4.3, в). Найбільш ефективно застосування схеми «тонкошаровий відстійник – швидкий фільтр» із введенням лужного реагенту вапна (доза 40–60 мг/л по СаО).

### Деманганація води

Вимоги до вмісту марганцю у воді, що використовується в технологічних процесах деяких виробництв текстильної, паперової та інших галузей промисловості, викликають необхідність деманганації води.

Деякі підземні води характеризується одночасно наявністю заліза та марганцю, тому найчастіше виникає необхідність їх знезалізнення та деманганації. У підземних водах марганець найчастіше зустрічається у формі бікарбонату  $Mn(HCO_3)_2$ , добре розчинного у воді, концентраціях від 0,5 мг/л до 4 мг/л. Джерелами попадання марганцю до поверхневих водотоків, переважно у вигляді  $MnSO_4$ , є стічні води промислових підприємств. За наявності в поверхневих водах гумусових сполук марганець присутній у вигляді стійких, важкоокислюваних органічних комплексів. Методи видалення марганцю з води класифікують на реагентні та безреагентні; окислювальні, сорбційні, іонообмінні та біохімічні.

Таким чином, для видалення з води марганцю використовують ті самі методи, що й при знезалізненні води. Зазвичай сполуки марганцю виділяють з води одночасно зі сполуками заліза. Деманганація води може бути досягнена аеруванням, іноді поєднаним з вапнуванням води, обробкою води сильними окислювачами – хлором, озоном тощо, коагуляцією домішок води сульфатом заліза (III), фільтруванням води через Na-катіоніт або пропусканням води через катіонітові фільтри з марганцевим каталізатором. В усіх цих методах обробки води, крім катіонування, передбачається фільтрування її на напірних чи самопливних фільтрах.

При аеруванні води іони марганцю (II) окислюються в іони марганцю (III) та (IV), які, гідролізуючись, виділяються в осад у вигляді гідроксидів. Для забезпечення повноти видалення марганцю воду необхідно підлужувати до рН > 9,5–10,0.

Загалом, методи видалення марганцю з води класифікують на реагентні та безреагентні; окислювальні, сорбційні, іонообмінні.

Поряд з іншими методами представляють інтерес окислювальні методи деманганації із застосуванням хлору, двоокису хлору, озону, перманганату калію тощо.

Ефективність процесу окислення двовалентного марганцю в діоксид марганцю залежить від співвідношення окислювально-відновного потенціалу  $E$  та рН води.

Ефективним та технологічно простим методом деманганації, що не потребує складного обладнання для приготування та дозування, є обробка перманганатом калію.

Застосування перманганату калію ( $\text{KMnO}_4$ ), що має окислювальні та сорбційні властивості, дозволяє руйнувати стійкі органічні комплекси заліза та марганцю, а також інтенсифікувати процес коагуляції.

Двовалентний марганець окислюється перманганатом калію з утворенням малорозчинного двоокису марганцю, осад якого є сорбентом внаслідок його великої питомої поверхні:



Для окислення 1 мг  $\text{Mn}^{2+}$  необхідно 1,88 мг  $\text{KMnO}_4$ .

Дозу перманганату калію при видаленні марганцю із забарвлених вод приймають більшою на величину, потрібну для окислення органічних речовин, що зумовлюють забарвленість води.

Схему установки для видалення марганцю з води перманганатом калію представлено на рисунку 4.5.

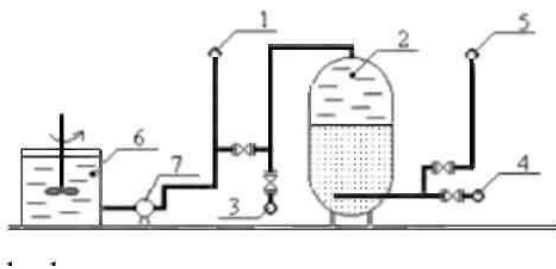


Рисунок 4.5 – Схема установки для видалення марганцю з підземної води перманганатом калію:

*1 – вихідна вода; 2 – напірний фільтр; 3, 4 – скидання та подача промивних вод; 5 – фільтрат; 6 – розчин перманганату калію; 7 – насос-дозатор*

Основними елементами блоку приготування калію перманганату є: баки для приготування робочого розчину  $KMnO_4$ ; пристрої для гідравлічного або механічного перемішування, призначені для інтенсифікації процесу розчинення; насоси-дозатори; склад реагенту.

Окислення киснем повітря з підлужуванням рекомендується до застосування при одночасній присутності у воді заліза та марганцю. За цією технологією вихідна вода аерується в окремій споруді: градирні-дегазаторі, аераційному басейні тощо. При аерації з води видалається значна частина вільного двоокису вуглецю  $CO_2$  і підвищується рН. Подальше підвищення рН проводиться введенням луку (вапна або соди). Очищення води проводиться в одному ступені фільтрів при концентрації забруднень до 3-5 мг/л, або у двох ступенях споруд – при великих концентраціях забруднювача. Очищення води може бути у напірних чи відкритих спорудах. У двоступеневих схемах очищення води іноді потрібне застосування коагулянту і флокулянту для осадження суспензії, що утворюється.

#### **4.2 Видалення з води розчинених газів. Типи дегазаторів**

У багатьох випадках низька якість і зношення обладнання пов'язане з наявністю газів у воді, що використовують у технологічному процесі. Основною метою видалення з води розчинених газів є запобігання корозії обладнання. Кисень  $O_2$ , азот  $N_2$  і діоксид вуглецю  $CO_2$  потрапляють у воду внаслідок контакту її з повітрям.

Під час експлуатації установок з підготовки води надійність і економічні показники роботи обладнання визначаються, насамперед, дотриманням норм водно-хімічного режиму (ВХР). Дотримання норм ВХР дає змогу забезпечувати роботу теплосилового обладнання електростанцій без пошкоджень і зниження економічних показників, що може бути зумовлено корозією внутрішніх поверхонь обладнання, утворенням відкладень на теплообмінних поверхнях і в проточній частині турбіни.

Найчастіше з води доводиться видаляти вуглекислоту, сірководень, кисень, рідше метан. Ці гази належать до корозійно-агресивних, що обумовлює або посилює корозію металів. Розчинена у воді вуглекислота  $CO_2$ , крім того, виявляє агресивну дію по відношенню до бетону.

Так, зокрема, доводиться вирішувати завдання видалення вільної вуглекислоти при водень-катіонітовому пом'якшенні та іонітовому знесолюванні води, а також при знезалізненні та деманганації підземних

бікарбонатних вод. Під час підготовки живильної води, а також води теплоцентралей необхідно видаляти з неї кисень з метою запобігання корозії металу.

Видалення з води розчинених у ній газів, що утворюються в процесі її обробки, називають дегазацією. Сутність дегазації полягає у зменшенні розчинності у воді газів або їх хімічному перетворенні в неагресивні чи нетоксичні сполуки.

Комплекс заходів, пов'язаних із видаленням з води розчинених у ній газів (вільної вуглекислоти  $CO_2$ , кисню  $O_2$ , сірководню  $H_2S$ ) називається **дегазацією** води, у деяких випадках **деаерацією**, а при видаленні вільної вуглекислоти – **декарбонізацією**. Видалення з води тільки кисню називається **знекисненням**.

Усі відомі засоби видалення з води розчинених газів ґрунтуються на двох принципах: *десорбції та хімічного зв'язування* з перетворенням газів у інші нешкідливі речовини.

Існуючі методи дегазації води поділяють на *фізичні й хімічні*, ґрунтуються на застосуванні хімічних реагентів:

- фізичний (зміна температури води або парціального тиску газу, що видаляється);
- хімічний (зв'язування розчинених у воді газів шляхом додавання реагентів);
- біохімічний (використання окисної здатності мікроорганізмів);
- сорбційно-обмінний (витяг розчинених газів шляхом фільтрування через сорбційно-обмінні матеріали).

**Фізичні методи вилучення з води розчинених газів** можуть здійснюватися двома способами:

- 1) вода, що містить вуглекислий газ, приводиться в контакт з повітрям, якщо парціальний тиск газу, що видаляється в повітрі, близький до нуля;
- 2) створюються умови, за яких розчинність газу у воді стає близькою до нуля.

За допомогою першого способу (аерація води) зазвичай видаляється вільна вуглекислота, оскільки парціальний тиск цих газів в атмосферному повітрі наближений до нуля.

Другий спосіб зазвичай застосовують при видаленні кисню, оскільки при значному парціальному тиску кисню в атмосферному повітрі аерацією води кисень з неї видалити не можна, її доводять до кипіння, при якому розчинність



усіх газів у воді падає до нуля. Або воду нагрівають (термічні дегазатори) чи знижують тиск до такого значення, при якому вода кипить при заданій їй температурі (вакуумні дегазатори).

До фізичних методів, застосуванням яких досягають зменшення розчинності газу, відносяться десорбція віддувкою, вакуумна дегазація, термічна дегазація та комбіновані методи.

Сутність *десорбції віддувкою* полягає у тому, що через воду барботують газ, який не містить тієї речовини, яку вилучають (наприклад, для десорбції сірководню застосовують повітря, а десорбції кисню – азот). Парціальний тиск газу, який вилучають, у газі, що барботує, дорівнює нулю. Внаслідок цього виникає різниця парціальних тисків – рушійна сила десорбції. Тому розчинений у воді газ переходить у бульбашку газу, який барботує через воду і виводиться з об'єму рідини.

*Термічна дегазація* ґрунтується на зменшенні розчинності газів за підвищених температур. При вакуумній дегазації – при зменшенні тиску над рідиною пропорційно зменшується парціальний тиск розчиненої речовини, що зумовлює виникнення різниці парціальних тисків (збільшення рушійної сили процесу).

Використання комбінованих методів передбачає здійснення дегазації за одночасного підвищення температури і зменшення тиску. Внаслідок цього відбувається глибока дегазація води.

### **Типи дегазаторів**

Видалення газів із води проводиться в дегазаторах. За конструктивним устроєм, характером руху води і повітря та умовами, у яких здійснюється процес видалення газів, виділяють такі типи дегазаторів:

- *плівкові* – з різними типами насадок, що працюють за принципом протитечії води і повітря, що подається вентилятором або поступає за рахунок природної вентиляції;
- *барботажні* – з подачею повітря у воду через перфоровані повітророзподільні труби, пористі труби, пористі пластини;
- *пінні*, засновані на десорбції газів повітрям з пінного шару або шарів, що створюються в робочій зоні апарату;
- *вакуумно-ежекційні*, засновані на десорбції газів за рахунок вакууму, що виникає в потоці рідини при її ежектуванні;
- *вакуумні*, засновані на десорбції газів при створенні вакууму в

робочій зоні апарату, з підгрівом або без підгріву оброблюваної води й застосуванням вакуумних пристроїв (насосів вакууму, пароструминних або водоструминних ежекторів);

- струменево-плівкові (контактні градирні).

Для видалення з води розчинених газів у водопідготовці в основному застосовують плівкові дегазатори, а в теплоенергетиці – термічні деаератори (дегазатори).

### Декарбонізація

Декарбонізація – один із головних процесів у системі підготовки води. Його завдання – видалення вуглекислого газу, небезпечної речовини для технологічного обладнання теплових (ТЕС) та атомних (АЕС) електростанцій, що викликає корозію поверхні устаткування.

У практиці водопідготовки найчастіше для глибокого видалення вільної вуглекислоти ( $\text{CO}_2$ ), сірководню ( $\text{H}_2\text{S}$ ) та інших газів застосовують *плівкові дегазатори*, завантажені кільцями Рашига, керамічними або пластмасовими кільцями або з хордовою дерев'яною насадкою для збільшення поверхні контакту води, що аерується, і повітря. Сутність методу аерації полягає у продуванні через воду повітря, вільного від  $\text{CO}_2$ . При цьому над поверхнею води, що обробляється, створюється атмосфера, у якій парціальний тиск вуглекислоти дуже малий порівняно з парціальним тиском вуглекислоти у воді.

Плівкові дегазатори працюють в умовах протитоку дегазованої води й повітря, що подається вентилятором, або без примусової подачі повітря. На рисунку 4.6 показано плівковий дегазатор, який завантажений кільцями Рашига.

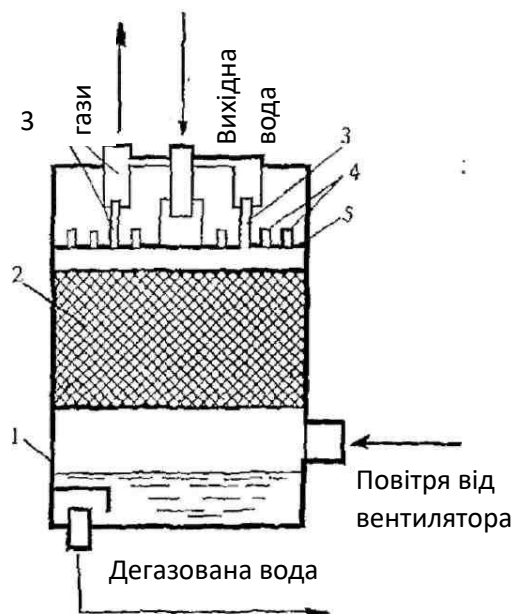


Рисунок 4.6 – Схема плівкового дегазатора:

- 1 – корпус; 2 – насадка з кільць Рашига; 3 – газівідвідний патрубок; 4 – зрощувальні патрубки; 5 – розподільна плита

Вихідна вода потрапляє у верхній відсік дегазатора, рівномірно розподіляється по площі на насадку, проходить її і зливається в піддон, з якого відводиться через гідрозатвор. Гідрозатвор не дає можливості виходити повітрю разом з водою.

Декарбонізатор становить циліндричний сталевий бак, всередині якого розташовується насадка, що складається з дерев'яних дощок, покладених в шаховому порядку із зазором, або з кілець Рашига, що являють собою керамічні кільця розміром 25 мм × 25 мм × 3 мм. Вода подається в декарбонізатор згори через патрубок і зливається через розподільні сопла на поверхню насадки. Оброблювана вода омиває елементи насадки тонким шаром, а назустріч їй рухається повітря, що подається в декарбонізатор вентилятором. Видалений з води CO<sub>2</sub> переходить у повітря і разом з ним виводиться з декарбонізатора в атмосферу. Вода, яка пройшла очищення, стікає в піддон декарбонізатора і через гідравлічний затвор надходить у бак декарбонізованої води, який розташовується під днищем декарбонізатора.

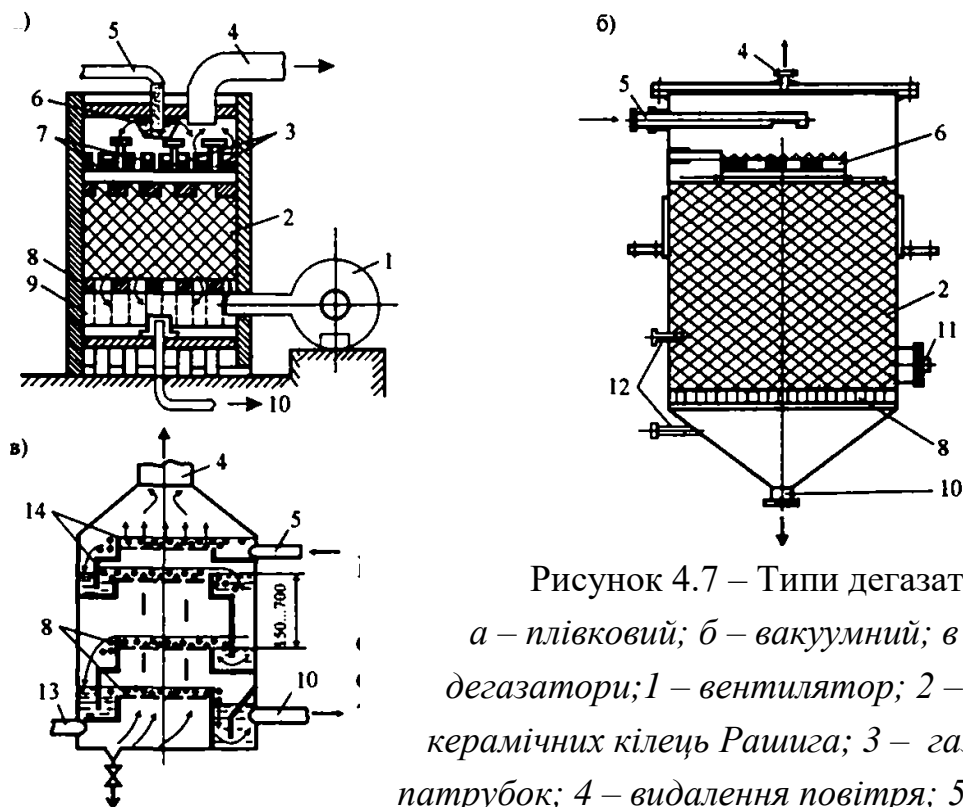


Рисунок 4.7 – Типи дегазаторів:  
*а* – плівковий; *б* – вакуумний; *в* – пінний дегазатори; 1 – вентилятор; 2 – насадка з керамічних кілець Рашига; 3 – газовідвідний патрубок; 4 – видалення повітря; 5, 10 – подача вихідної і відведення дегазованої води; 6 – водорозподільна воронка; 7 – зрошувальні патрубки; 8 – дірчасте днище; 9 – піддон; 11 – люк; 12 – патрубки; 13 – введення повітря; 14 – пінний шар

Розрахунок декарбонізатора полягає переважно у визначенні його геометричних розмірів, необхідної поверхні кілець Рашига чи дерев'яної хордової насадки і визначення напору, створюваного вентилятором.

Після плівкового дегазатора з кільцями Рашига з подачею повітря вентилятором вміст діоксиду вуглецю (IV) у воді становить 3–5 мг/л.

До *струменево-плівкових дегазаторів* без примусової подачі повітря належать контактні градирні із завантаженням зі шматків коксу або гравію, де вихідна вода розподіляється і подається у верхню частину градирні, стікає, контактуючи з повітрям, зверху донизу послідовно проходячи всі яруси, заповнені контактним завантаженням. Такі деаератори використовують для часткового видалення вільної вуглекислоти при продуктивності установки до 50 м<sup>3</sup>/год.

Застосування вакуумних дегазаторів (рис. 4.7, б) є доцільним за необхідності одночасного видалення вуглекислого газу та кисню.

*Дегазатори барботажного типу* вимагають значних експлуатаційних витрат і мають обмежену область застосування.

*Дегазатори пінного типу* є різновидом барботажних дегазаторів. Застосовують їх для видалення вуглекислоти при витратах до 100 м<sup>3</sup>/год. Основним елементом такого дегазатора є перфорована пластина (решітка) з отворами не більше 6 мм, вздовж якої тонким шаром протікає вода, яка спінується потоком повітря, що надходить через отвори. Кількість полиць (ярусів апарата) – не більше 4–5, відстань між полицями – 150–200 мм, ефективність десорбції вільної вуглекислоти 96–97 %. Інтенсивність подачі повітря – 0,35–0,75 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> води.

У *вакуумно-ежекційних апаратах* десорбція розчинених у воді газів відбувається в результаті різкого зниження тиску. У вакуумній камері за рахунок більшої швидкості води відбувається її миттєве закипання, що супроводжується десорбцією розчинених газів.

*Вакуумні дегазатори* застосовують при необхідності одночасного видалення вуглекислоти та кисню або тільки кисню. Вакуумні дегазатори виготовляють сталевими, круглими в плані, з конусним днищем. Контактні насадки всередині апарату розташовують на дірчастому листі з отворами 15–20 мм. Воду подають у дегазатор за допомогою пристрою, що забезпечує тонке й рівномірне розподілення її по поверхні насадки, у ролі якої найчастіше застосовують кільця Рашига. Для спостереження за рівнем води в дегазаторі встановлено водомірне скло. Парогазова суміш відводиться з дегазатора

вакуумним пристроєм, у ролі якого можуть бути використані вакуумні насоси, або парові чи водоструминні ежектори. Найбільш повна дегазація води досягається розбризкуванням води у вакуумі з одночасним підігрівом.

Площу дегазаторів визначають на основі допустимої щільності зрошення, яка залежно від глибини дегазації і типу насадки коливається від  $40 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  до  $60 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ .

У теплоенергетиці на ТЕС, ТЕЦ і АЕС широко застосовують термічну деаерацію, при якій з води видаляють усі розчинні гази.

*Термічна деаерація* – це процес десорбції газу, при якому відбувається перехід розчиненого газу з рідини в пару, що з нею контактує. Такий процес може здійснюватися при дотриманні законів рівноваги між рідкою і газовою фазами.

Процес термічної аерації складається з нагріву води до кипіння, дифузії розчинених газів і десорбції їх у дегазаторах (деаераторах). При цьому повинні бути створені умови для переходу газів з води у паровий простір. Однією з таких умов є збільшення площі поверхні контакту води з паром, щоб максимально приблизити потік води до поверхні розділу фаз. Досягається це подрібненням потоку води на тонкі струмені, краплі або плівки, а також барботуванням пари через тонкі шари води.

Ефективна деаерація досягається при повному відведенні газів, що виділилися за рахунок безперервної вентиляції і відведення їх з деаератора. Газ з деаератора відводиться разом з паром, яку називають випаром. Кількість випару чинить значний вплив на ефект деаерації. Для деаераторів підвищеного тиску кількість випару становить 2–3 кг пари на 1 т води, що деаерується.

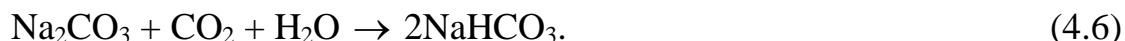
Залежно від робочого тиску деаераторів, що застосовують на ТЕС, дегазатори бувають:

- атмосферні ( $P_{\text{роб}} = 0,12 \text{ МПа}$ );
- вакуумні ( $P_{\text{роб}} = 0,0075\text{--}0,05 \text{ МПа}$ );
- підвищеного тиску ( $P_{\text{роб}} = 0,6\text{--}1,2 \text{ МПа}$ ).

*Хімічні методи дегазації* ґрунтуються на взаємодії розчинених газів із спеціально підібраними і введеними у воду реагентами, внаслідок чого утворюються нетоксичні, неагресивні конденсовані речовини.

Хімічні методи видалення розчинених газів передбачають зв'язування розчинених газів хімічними елементами.

Наприклад, усунення агресивної вуглекислоти в процесі стабілізаційної обробки води при негативному індексі стабільності може бути досягнуто застосуванням їдкого натру (NaOH), соди (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), вапна (CaO), крейди або мармурової крихти (CaCO<sub>3</sub>). При цьому зв'язування вуглекислого газу відбувається за такими хімічними реакціями:



Видалення з води розчиненого кисню (знекиснення води) досягається введенням у воду реагентів-окислювачів: сульфїту натрію (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>), тіосульфїту натрію, сірчастого газу (SO<sub>2</sub>) або гідразину (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) у вигляді гідразин-гідрату (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O) або гідразин-сульфату (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Також застосовують фільтрування крізь легкоокислюючі речовини, наприклад, металеву стружку, оброблену сульфїтом натрію або оксидом сірки.

Сульфїт натрію при введенні його у воду окислюється розчинним у воді киснем до сульфату натрію

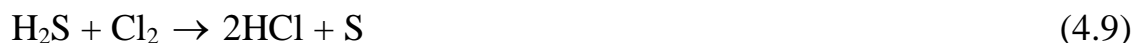


За допомогою гідразингідрату вдається досягти практично повного знекиснення води.



Хімічний спосіб знекиснення з додаванням гідразину вважається найбільш досконалим, але й при цьому найдорожчим, тому цей спосіб застосовують головним чином для остаточного видалення кисню з води після фізичних методів її знекиснення.

Видалення сірководню хімічними методами здійснюється при його вмісті у вихідній воді до 10 мг/л. Як реагенти застосовують сильні окислювачі: хлор, гіпохлорид натрію (NaClO), гіпохлорид кальцію (CaClO<sub>2</sub>), озон, перманганат калію (KMnO<sub>4</sub>). Процес описується такими хімічними реакціями:



На процес окислення чинить вплив рН середовища. Збільшення рН призводить до зниження окислювальної здатності реагентів по відношенню до сірководню.

Недоліки хімічних методів дегазації води:

- застосування реагентів, що ускладнюють і здорожують процес обробки води;
- погіршення якості води при порушенні дозування реагентів.

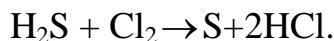
Гідразин  $N_2H_4$  широко використовується для попередження корозії котлів високих та закритичних параметрів.

Під час взаємодії розчиненого кисню з натрію сульфідом утворюється нешкідливий натрію сульфат:  $2Na_2SO_3 + O_2 \rightarrow 2Na_2SO_4$ .

Хімічне вилучення кисню зазвичай здійснюють після попередньої фізичної дегазації води.

Сірководень окислюють киснем повітря, хлором, озоном, перманганатом калію, оксидом хлору, зв'язують гідроксидом заліза. При цьому воду попередньо потрібно підкислити соляною або сірчаною кислотою до рН = 5,5, а після видалення сірководню необхідно стабілізувати воду шляхом підлугування.

Прикладом хімічного методу видалення з води сірководню може бути обробка хлором з окисненням до сірки



Недоліки хімічних методів:

- необхідність застосування реагентів, що ускладнюють та здорожують процес обробки води;
- можливість погіршення якості води при порушенні дозування реагентів. Внаслідок цього хімічні методи видалення газів застосовуються значно рідше за фізичні.

#### *Питання для самоперевірки*

1. Які методи використовують для знезалізнення води?
2. Які типи дегазаторів відомі? Поясніть принцип їх роботи.
3. Які реагенти використовують для хімічного зв'язування розчинених у воді  $O_2$  і  $CO_2$ ?
4. Які фактори впливають на розчинність вуглекислого газу у воді?
5. Поясніть суть фізичних методів видалення вуглекислоти з води.

6. Запропонуйте тип дегазатора для обробки великої кількості води з високим вмістом вільного оксиду вуглецю (IV).

7. Чому після обробки води для підживлення парових котлів потрібна декарбонізація?

8. У чому полягає сутність процесу термічної деаерації?

## **ЗМ 2 ОСНОВНІ МЕТОДИ ТА СПОРУДИ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД**

### **ТЕМА 5 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ З ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД**

#### **5.1 Класифікація методів очищення промислових стічних вод**

Виробничі стічні води поділяють на дві основні категорії: забруднені і незабруднені («умовно чисті»). На промислових підприємствах значну частину води (на окремих виробництвах до 70–90 %) витрачають на охолодження устаткування, готової продукції тощо. Ця вода практично не забруднюється, а лише нагрівається.

Для розробки раціональної схеми водовідведення і оцінки можливості повторного використання виробничих стічних вод визначають їх склад і режим водовідведення. При цьому аналізують фізико-хімічні показники стічних вод і режим надходження в каналізаційну мережу не тільки загального стоку промислового підприємства, але й стічних вод від окремих цехів.

Якість стічних вод характеризується вмістом компонентів, специфічних для даного виду виробництва: загальною кількістю органічних речовин, активною реакцією, інтенсивністю кольору, ступенем мінералізації, наявністю біогенних елементів, режимом притоку, властивостями домішок тощо. Ці дані дозволяють вибрати найбільш раціональний метод очищення стічних вод певного підприємства. Фізико-хімічні показники виробничих стічних вод окремих підприємств свідчать про широкий діапазон коливань складу цих вод, що викликає необхідність ретельного обґрунтування вибору оптимального методу очищення для кожного виду вод.

Виробничі стічні води різних галузей промисловості істотно відрізняються як за складом забруднюючих речовин, так і за їх концентраціями.

Основними критеріями при виборі технології очищення стічних вод промислових підприємств є склад води, а саме наявність у ній тих або інших



забруднювачів. Відповідно до складу води, обсягу її витрати, площі підприємства проєктуються локальні й загальні системи очищення стічних вод промислових підприємств.

Виробничі стічні води характеризуються значною годинною нерівномірністю утворення за кількісними та якісними показниками, а також коливаннями температури, рН, виду та рівня забрудненості у різних потоках.

Одним з основних видів забруднень виробничих стічних вод є нерозчинні (легкі й важкі) мінеральні і органічні домішки, концентрація яких коливається в широких межах. Усереднення концентрації й регулювання витрати стічних вод, а також виділення нерозчинних домішок з води в очисних спорудах становлять завдання механічного очищення. Забезпечується це за рахунок проціджування на решітках, дугових ситах, грохотах та подальшого відстоювання (гравітаційного або відцентрового), фільтрування через спеціальні сітки або піщано-гравійні фільтри.

Для очищення стічних вод промислових підприємств застосовують:

- механічні методи (проціджування, відстоювання стічних вод у відстійниках з використанням або без використання хімічних реагентів залежно від складу стоків; фільтрування);
- хімічні (нейтралізація, коагуляція, флокуляція);
- фізико-хімічні (флотація, сорбція, екстракція, евапорація, а також електрохімічні методи, пов'язані з накладенням електричного поля – електрокоагуляція, електрофлотація);
- комбіновані.

Процес очищення стічних вод виробничого підприємства, як правило, включає кілька стадій, на кожній з яких можливе застосування різних методів очищення стічних вод і відповідного технологічного устаткування.

Основні труднощі при виборі раціональної схеми очищення виникають внаслідок того, що стічні води містять частки різного ступеня дисперсності, а агрегатний стан багатьох в чому визначається температурою, рН розчину, компонентним складом й іншими факторами. Тому основним фактором при виборі методу обробки води є фазовий стан речовини. Фазово-дисперсна характеристика домішок незалежно від типу стоків і місця їхнього утворення дає можливість запропонувати для кожної групи класифікації конкретний специфічний метод переробки.

Внаслідок сильного забруднення промислових стічних вод їхнє очищення від домішок здійснюють у кілька етапів. У всіх випадках очищення стоків першою стадією є механічне очищення, призначене для видалення найбільш великих механічних домішок, суспензій і дисперсно-колоїдних часток. Наступне очищення від хімічних речовин здійснюють різними методами.

При механічному очищенні забезпечується видалення завислих речовин зі стічних вод на 90–95 %, зниження органічних забруднень (БПК<sub>повн</sub>) на 20–25 %. Більш високий ефект механічної очистки стічних вод досягається інтенсифікацією гравітаційного відставання, наприклад, добавкою реагентів, проясненням у зваженому шарі або в тонкому шарі (тонкошарові відстійники).

Для затримання різних речовин, що плавають на поверхні стічних вод (масел, жирів, нафти, смол тощо), застосовують масло-, жиро-, нафто-, смолоуловлювачі.

Для більш повного прояснення стічних вод застосовують фільтрування – пропуск води через шар завантаження, що складається з різного зернистого матеріалу (кварцового піску, подрібненого антрациту, керамзиту тощо) або через сітчасті барабанні фільтри і мікрофільтри, через високопродуктивні напірні фільтри або фільтри із плаваючим завантаженням.

## **5.2 Усереднення концентрації забруднень і витрати стічних вод.**

### **Конструкції усереднювачів**

Графік надходження стічних вод може мати довільний характер. Для стоків підприємств характерні нестабільність їх витрат та складу, що пов'язано з особливостями технологічних процесів. Витрата й забрудненість стоків в обмежений період часу можуть змінюватися від мінімуму до максимуму.

Розрізняють три види нестационарності потоку: залпові скиди висококонцентрованих стічних вод, циклічні та довільні характери коливання.

Витрати й показники якості стоку з певною закономірністю змінюються під час виробничого циклу, що може тривати від декількох хвилин до декількох годин, а потім знову повторюватися. Існують виробничі процеси, при яких стічні води по завершенні циклу «залпом» скидають у каналізацію протягом короткого часу.

У резервуарах-усереднювачах накопичуються і перемішуються стічні води, завдяки чому вирівнюються концентрації забруднень; взаємно нейтралізуються кислі і лужні стоки.

### Типи і конструкції усереднювачів

Усереднювачі зазвичай проектують у складі локальних станцій очищення виробничих стічних вод. Існують усереднювачі контактні і проточні. Зазвичай застосовують усереднювачі проточного типу. У разі періодичного скиду води та невеликих витратах – використовують контактні усереднювачі.

Типи проточних усереднювачів:

- багатоканальні – прямокутні й круглі в плані, з нерівномірним розподілом витрати води по каналах (рис. 5.1 і 5.2);
- усереднювачі-змішувачі барботажного типу та з механічним перемішуванням.

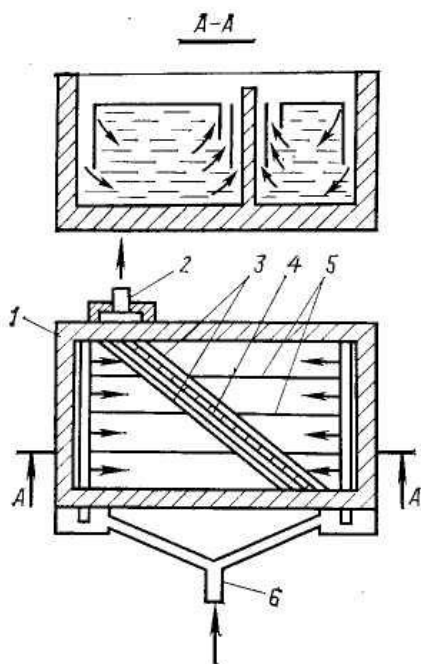


Рисунок 5.1 – Прямокутний багатоканальний усереднювач стічних вод:

- 1 – розподільний лоток;
- 2 – водовідвідний канал;
- 3 – збірні лотки;
- 4 – глуха перегородка;
- 5 – вертикальна перегородка;
- 6 – підведення води;

На рисунку 5.2 представлено багатоканальний усереднювач стічних вод круглий в плані.

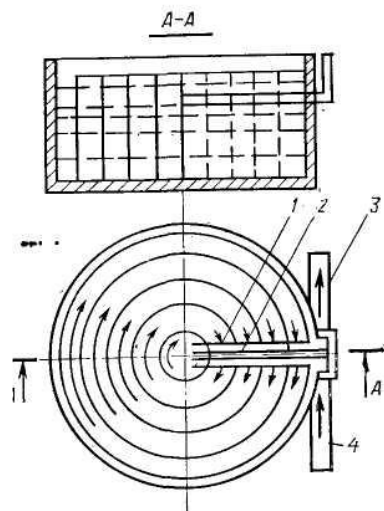


Рисунок 5.2 – Круглий багатоканальний усереднювач стічних вод:

- 1 – розподільний лоток;
- 2 – перегородка, 3 – збірний лоток;
- 4 – підведення води

Усереднення в багатоканальних усереднювачах забезпечується за рахунок механічного перемішування струменями стічної води. Кількість каналів у кожній половині усереднювача становить не менше 5–6.

Вибір раціональної системи усереднення й розрахунок обсягу усереднювачів здійснюють на підставі інформації про характер коливань параметрів вхідних потоків (концентрацій  $C_{en}, (t)$  і витрат  $q_{en}, (t)$ ) з урахуванням вимог щодо припустимих коливань параметрів потоку на виході ( $C_{ex}(t), q_{ex}(t)$ ). Зазначені вимоги зазвичай встановлюють на підставі аналізу максимально припустимих величин  $C_{adm}$  й  $q_{adm}$ , призначуваних залежно від типу наступних апаратів очисних споруд.

За наявності на підприємстві контрольно-вимірювальної апаратури зміни складу стічних вод реєструються безперервно, при відсутності контрольно-вимірювальної апаратури – дискретно, з установленою технологом тривалістю інтервалів між лабораторними аналізами

Конструктивний тип усереднювача обирають залежно від характеру коливань забруднюючих компонентів, виду й кількості завислих речовин, а також динаміки надходження стічних вод (табл. 5.1).

У випадку залпових скидів висококонцентрованих стоків і довільних коливань складу, за наявності завислих дрібнодиспергованих речовин з концентрацією до 500 мг/л, гідравлічною крупністю до 5 мм/с, доцільно застосовувати багатоканальні усереднювачі без примусового перемішування. За необхідності усереднення витрати споруди блокують з акумулюючою ємністю.

Для усереднення стічних вод за концентрацією забруднень в усереднювачах будь-якої конструкції вода повинна перемішуватися за допомогою мішалок, насосів тощо. Найбільш зручними в експлуатації є перфоровані трубчасті барботери.

Таблиця 5.1 – Сфера застосування усереднювачів різних типів

Тип усереднювача	Характер нестационарності	Завислі речовини	
		концентрація, мг/л	гідравлічна крупність, мм/с
багатоканальний	залповий	$\leq 500$	$\leq 5$
барботажний	будь-який	$\leq 500$	$\leq 10$
з механічним перемішуванням	будь-який	$>500$	-

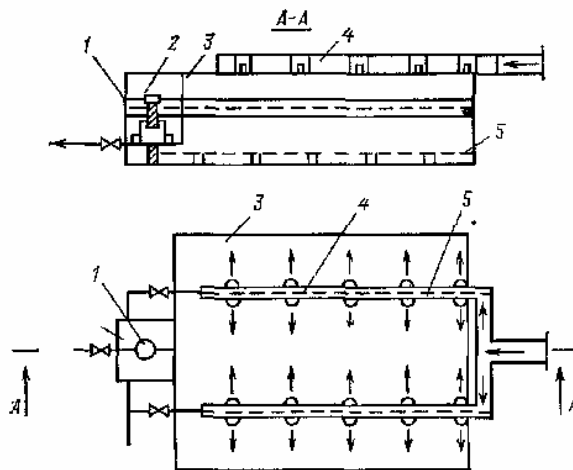


Рисунок 5.3 – Усереднювач із перемішуючим пристроєм:  
 1 – випускна камера; 2 – випускний пристрій; 3 – корпус;  
 4 – лоток; 5 – барботер

Як усереднювачі, можуть бути використані типові ємнісні споруди (нафтоуловлювачі, відстійники, а також прийомні резервуари насосних станцій), що мають систему примусового перемішування

Усереднювач-змішувач із механічним перемішуванням і відстійною зоною застосовують для усереднення стоків із вмістом завислих речовин більше 500 мг/л і будь-якою гідравлічною крупністю з вільним режимом надходження стоків.

#### *Проціджування*

Для видалення з води найбільш крупних домішок використовують решітки та сита.

У виробничих стічних водах різних підприємств можуть бути власні специфічні забруднюючі речовини (пух, пір'я, щетина тварин, волокна, шматки пластмаси). У таких випадках звичайні решітки виявляються малоефективними або взагалі не придатні для очищення стоків від таких забруднювачів. Так, зокрема для видалення пір'я на птахофабриках, а також для видалення інших специфічних забруднень зі стічних вод використовують нерухомі дугові сита, на які стічні води подаються тангенційно (рис. 5.4).

Розміри отворів проціджувачів змінюються в широких межах: від 20 мм (решітки на насосних станціях), 16 мм (решітки на станціях очищення стічних вод), 2–5 мм (дискові сита) до 0,25–1 мм (дугові сита, грохоти, барабанні сітки) і 20–60 мкм (мікрофільтри).

Продуктивність проціджувачів вимірюють пропускну здатністю одиниці робочої поверхні за годину, що становить для: мікрофільтрів 5–15, барабанних сіток 40–50, дугових сит 40–60 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год.

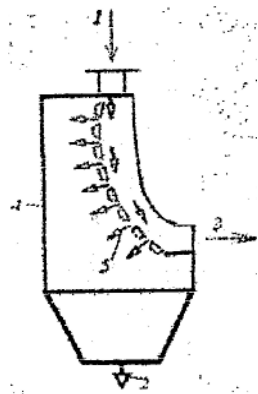


Рисунок 5.4 – Дугове сито:

- 1 – вихідні стічні води; 2 – стічна рідина;  
3 – забруднення (пух, пір'я тощо) в контейнері;  
4 – корпус дугового сита; 5 – отвір

Ефективність роботи проціджувачів і їх продуктивність залежать від величини отворів і характеру твердої фази стічних вод.

У Польщі для очищення стічних вод птахофабрик, каналізаційних станцій міст та селищ застосовують барабанні грохоти. Тверді забруднення затримуються на ситах барабанних грохотів, а потім за допомогою згрібалки, що обертається усередині грохота, подаються на шнековий транспортер. Під час роботи транспортера відсів промивається, зневоднюється до вологості 40 % сухої маси та скидаються у контейнер. Віджата вода повертається в канал.

Решітки монтуються також на локальних цехових очисних установках за наявності в стоках грубих і волокнистих забруднень (наприклад, при очищенні стічних вод суконних, текстильних, а також шкіряних фабрик).

Вони можуть встановлюватися вертикально або похило, під кутом 60°. Решітки виготовляють з металевих стержнів різної форми, частіше круглої або прямокутної. У більшості конструкцій решітки виконують з розташованих паралельно один до одного сталевих стержнів різного перерізу, закріплених у рамі для забезпечення їх жорсткості.

#### *Питання для самоперевірки*

1. Навіщо потрібно усереднювати концентрації забруднень та витрати стічних вод?
2. Які типи конструкцій усереднювачів застосовують?
3. Як працюють багатокоридорні усереднювачі?
4. У яких випадках застосовують усереднювач з механічним перемішуванням? Як при цьому забезпечується усереднення?

## **6 МЕХАНІЧНА ОЧИСТКА ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД**

### **6.1 Відстоювання. Типи відстійних споруд, їх конструктивні особливості**

Зазвичай, виробничі стічні води становлять полідисперсні гетерогенні агрегативно-нестійкі системи, що містять частинки різної форми й розміру.

При очищенні виробничих стічних вод широко застосовують метод відстоювання. Відстійники для очищення виробничих стічних вод можуть бути як самостійними спорудами, у яких процес очищення і завершується, так і спорудами, призначеними тільки для попереднього очищення.

Для очищення стічних вод пром підприємств використовують як звичайні конструкції відстійних споруд, так і спеціальні. Залежно від вимог до якості освітленої виробничої стічної води застосовують горизонтальні й радіальні відстійники різних конструкцій, які можуть бути обладнані камерами флокуляції.

Для очищення стічних вод від великої кількості жирів, нафти й масел використовують жируловлювачі, нафтауловлювачі тощо. Ці споруди аналогічні до відстійників, але мають устаткування для видалення великої кількості спливаючих домішок.

Час очищення (відстоювання) залежить від швидкості осідання (спливання) нерозчинених домішок у спокійній воді. Така швидкість (гідравлічна крупність часток) є основною величиною для розрахунку відстійних споруд.

Здатність до агломерації залежить від концентрації, форми, розміру й щільності зважених часток, а також від співвідношення частинок різного діаметра і в'язкості середовища.

При виборі типу й конструкції відстійників для виробничих стічних вод необхідно враховувати їхні хімічні й фізичні властивості, а також вплив на склад стічних вод технологічних умов виробництва та місцевих факторів. До основних показників відносяться: температура стічних вод, що надходять на очистку; концентрація зважених речовин та їхні фізичні властивості; крупність часток та їхня щільність, ступінь агломерації зважених часток, швидкість осадження або спливання часток (гідравлічна крупність); вологість осаду безпосередньо після його випадання; кінетика процесу ущільнення осаду; щільність сухого залишку.

Здебільшого у відстійниках ефект відстоювання становить 40–60 % при тривалості відстоювання 1–1,5 год. Підвищення ефективності

роботи досягають шляхом попередньої аерації стічних вод, введенням у стічні води коагулянту, додаванням активного мулу.

На результати відстоювання суспензій сильний вплив чинять: рівномірність розподілу й збору води у відстійниках; перепад температур, обумовлений коливаннями температури води в джерелі водопостачання; звуження перетину відстійників осадом, що нагромаджується; наявність завихрень і вирів навколо виступів і колон.

На рисунку 6.1 зображено принципові схеми відстійників різних конструкцій.

*Горизонтальні відстійники* (рис. 6.1, а) є прямокутними резервуарами, що мають два або більше одночасно працюючих відділення. При роботі горизонтальних відстійників найбільш крупні частинки випадають на початку відстійника в бункер для осаду (шламу). Більш дрібні частинки випадають далі по довжині відстійника за ходом руху води.

Глибина проточної частини становить 1,5–4,0 м, ширина 6–9 м, довжина 8–12 м.

Відстійники обладнують скребковими механізмами, зазвичай візкового або стрічкового типу, які зрушують осад, що випав до мулових приямків, звідки він видаляється насосами, гідроелеваторами, грейферами або під гідростатичним напором.

Однак горизонтальні відстійники мають певні недоліки: низька продуктивність (питоме гідравлічне навантаження перебуває у межах 1–2 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>×год), непристосованість до роботи з коагуляцією та флокуляцією, недосконалість конструкцій (коефіцієнт використання об'єму не перевищує 0,5), труднощі з видаленням осаду з плоского днища, незадовільна робота механізмів для згрібання осаду, особливо у зимовий період.

У горизонтальних відстійниках неможливо організувати безперервне видалення осаду, який випадає, що викликає труднощі при його подальшому зневодненні та утилізації. Крім цього, для таких відстійників характерні недосконалість пристроїв впуску, розподілу та збирання води. Конструктивні удосконалення передбачають покращення гідравлічних режимів роботи відстійників за допомогою систем розосередженого збору освітленої води, а також створення сприятливих умов для укрупнення механічних домішок шляхом влаштування камер флокуляції.



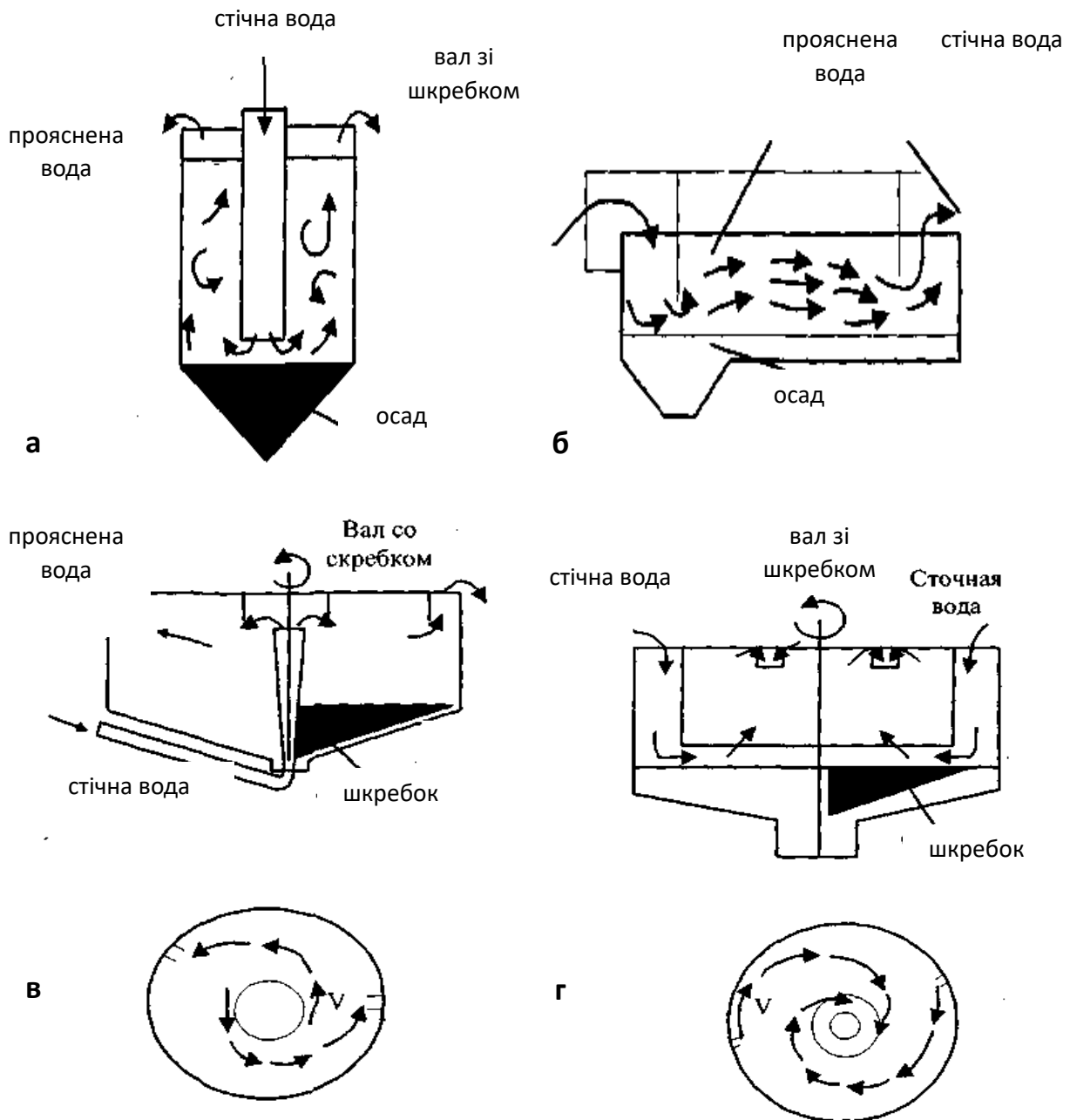


Рисунок 6.1 – Різновиди конструкцій відстійників за принципом їх роботи:

- а – вертикальні відстійники з висхідним потоком води;*
- б – горизонтальні відстійники з горизонтальним рухом потоку води;*
- в – радіальні відстійники із центральним введенням води;*
- г – радіальні відстійники з периферійним введенням води*

Для визначення величини гідравлічної крупності забруднень при визначенні розмірів відстійників дуже часто застосовують *технологічне моделювання* процесу очищення стічних вод від механічних домішок. За

результатами проведення досліджень з технологічного моделювання процесу відстоювання будують криву кінетики процесу відстоювання стічних вод .

За кривими кінетики осадження завислих речовин  $E = f(t)$ , що отримані експериментально відстоюванням стічної води в статичних умовах у шарі висотою  $h$ , відмінному від дійсної висоти відстійника, визначається розрахункова величина гідравлічної крупності. Для приведення отриманих результатів до натурної величини (висоти шару проточної частини відстійника) потрібно робити перерахунок  $U_0$  за формулою

$$U_0 = \frac{1000 \cdot H_{set} \cdot K_{set}}{t_{set} \cdot \left(\frac{K_{set} \cdot H_{set}}{h_1}\right)^{n_2}}, \quad (6.1)$$

де  $H_{set}$  – глибина проточної частини відстійника, м;

$K_{set}$  – коефіцієнт використання об'єму проточної частини відстійника;

$t_{set}$  – тривалість відстоювання, що відповідає заданому ефекту очистки, отримана у лабораторних умовах у циліндрі в шарі  $h$ ;

$n_2$  – показник степені, який залежить від агломерації зависі у процесі осадження.

За цією формулою можна також визначити гідравлічну крупність спливаючих домішок забруднюючих речовин, які легші за воду.

Величина  $K_{set}$  для горизонтальних відстійників дорівнює 0,5, для радіальних та вертикальних відповідно – 0,45 та 0,35. Для відстійників з тонкошаровими блоками, які працюють за протитечійною та перехресною схемами,  $K_{set}$  відповідно дорівнює 0,5–0,7 та 0,8. Глибина проточної частини горизонтальних відстійників дорівнює  $H_{set} = 1,5–4$  м.

При дослідженні кінетики осадження дуже важливо вивчити флокуляційні властивості суспензії, тобто схильність частинок до укрупнення при повільному перемішуванні води без додавання коагулянтів. Помітними природними флокуляційними властивостями володіють не всі види завислих речовин. Краще флокуляційні властивості завислих речовин проявляються у повільно висхідному потоці води.

Врахування флокуляційних властивостей завислих речовин дозволяє значно збільшити продуктивність споруд та апаратів, що призначені для прояснення води.

*Вертикальний відстійник* є циліндричним (або квадратним у плані) резервуаром діаметром 4–9 м з конічним днищем (рис. 6.1, б). Стічна вода підводиться центральною трубою. Після надходження всередину відстійника вода рухається знизу вгору до жолобу. Для кращого її розподілу і запобігання утворення мулу трубу роблять з розтрубом і розподільним щитом. Осадження відбувається у висхідному потоці, швидкість якого становить 0,5–0,6 м/с. Ефективність осадження у вертикальних відстійниках нижче на 10–20 %, ніж у горизонтальних.

Недоліки вертикальних відстійників: вони чутливі до коливань витрати, ефективність очищення перебуває в прямій залежності від рівномірності подачі очищеної води; низький коефіцієнт використання об'єму проточної частини,  $\alpha \leq 0,5$ .

*Радіальні відстійники* мають круглу в плані форму резервуарів. Стічна вода подається в центр відстійника й рухається радіально від центра до периферії. Глибина проточної частини відстійника 1,5–5,0 м, а відношення діаметра до глибини – від 6 до 30.

Такі відстійники улаштовують з випуском води знизу або зверху, вода в обох випадках надходить у відстійник по центральній трубі, а прояснена вода зливається у круговий жолоб, звідки відводиться трубами або лотками. У радіальних відстійниках, на відміну від інших, швидкість води непостійна і змінюється від максимуму в центрі до мінімального значення на периферії. Осад, що випав на дно, згрібається до центру скребками, закріпленими на рухливій фермі й надходить у приямок, з якого відсмоктується за допомогою шламових насосів. Зазвичай використовують відстійники діаметром від 16 м до 60 м. Ефективність осадження їх становить 60 %.

Недоліками таких відстійників є недосконалість конструкцій розподільних пристроїв, що призводить до утворення застійних зон. Ці недоліки усунуті у відстійниках з обертовим збірно-розподільним пристроєм та у відстійниках з подачею води через периферійний лоток і відводом проясненої води в центрі.

Застосування радіальних відстійників з периферійною подачею дозволяє зменшити час перебування стічних вод у відстійнику при тій самій ефективності затримання завислих речовин. Стічна вода надходить у водорозподільний жолоб, розташований на периферії відстійника, потім направляється в центральну зону і далі – до водовідвідного кільцевого жолоба.

Осад, що випав у відстійнику, скребковим механізмом згрібається в приямок і по муловій трубі направляється на подальшу обробку.

На підставі досліджень ДП УкрНТЦ «Енергосталь» розроблений промисловий відстійник діаметром 30 м із вбудованою камерою флокуляції діаметром 10 м. Камера флокуляції утворена у центрі відстійника, виконана у вигляді циліндра, підвішеного до моста скребкової ферми, що рухається. У цій камері відбувається обертково-висхідний рух потоку в результаті тангенційного виходу води з патрубків розподільного устрою. Камера обладнана розподільним пристроєм, який складається з радіальних труб, на яких кріпляться сопла різних діаметрів для регулювання швидкості висхідного потоку. Збір проясненої води здійснюється через затоплені радіально розташовані дірчасті труби, сполучені з периферійним водовідвідним лотком.

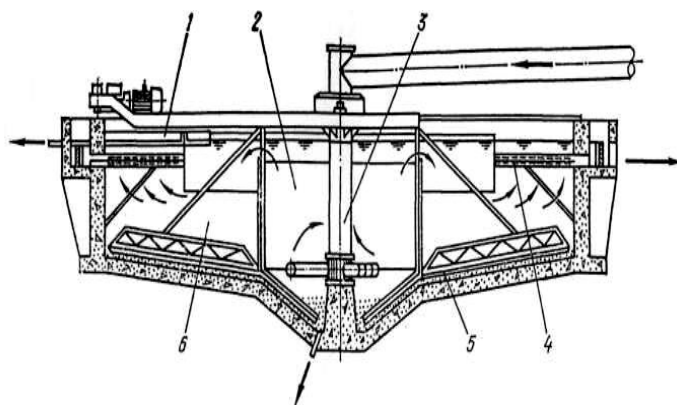


Рисунок 6.2 – Радіальний відстійник із вбудованою камерою флокуляції:

- 1 – маслосбірний пристрій; 2 – камера пластівцеутворення;*
- 3 – розподільчий пристрій; 4 – водозбірна система; 5 – скребкова ферма;*
- 6 – зона осадження*

Радіальні відстійники із вбудованою камерою флокуляції застосовують для очищення стічних вод металургійних заводів. Такі відстійники побудовані й експлуатуються в системах оборотного водопостачання станів гарячого прокату, для прояснення стічних вод газоочисток доменних, конверторних цехів металургійних комбінатів.

При очищенні стічних вод від доменних печей вміст завислих речовин у проясненій воді не повинен перевищувати 200 мг/л, питоме гідравлічне навантаження становить 2–2,5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>×год без коагулювання, і 4 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>×год – з коагуляцією. Коагуляція здійснюється хлорним залізом або сірчанокислим алюмінієм разом з ПАА.

При очищенні стічних вод, що утворюються під час виплавки феромарганцю, гідравлічне навантаження приймають таким, що дорівнює  $0,6-0,8 \text{ м}^3/\text{м}^2 \times \text{год}$ , остаточний вміст завислих речовин при цьому  $180-250 \text{ мг/л}$ .

При очищенні стічних вод газоочистки кисневих конвертерів гідравлічне навантаження без коагуляції приймають до  $1 \text{ м}^3/\text{м}^2 \times \text{год}$ , а коагуляцією і ПАА дозою  $1 \text{ мг/л}$  – до  $2 \text{ м}^3/\text{м}^2 \times \text{год}$ . При цьому досягається остаточний вміст завислих речовин  $150 \text{ мг/л}$ .

Ефективність роботи відстійника з камерою пластівцеутворення ( $2,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \times \text{год}$ ) значно перевищує показники горизонтальних та звичайних радіальних відстійників ( $1,2 \text{ м}^3/\text{м}^2 \times \text{год}$ ).

*Тонкошарові відстійники.* Створення відстійників, що працюють за принципом відстоювання в тонкому шарі, є одним з найбільш перспективних напрямків удосконалювання горизонтальних відстійників.

Зменшення глибини осадження дозволяє зменшити тривалість відстоювання та забезпечує ламінарний режим руху води, сприятливий для осадження дрібнодисперсної суспензії.

Тонкошарове відстоювання застосовується при необхідності зменшення об'єму очисних споруд унаслідок обмеженості площі, що відводиться для цього та для підвищення ефективності існуючих відстійників. У першому випадку тонкошарові відстійники виконують роль самостійних споруд, у другому – існуючі відстійники доповнюються тонкошаровими модулями, що розташовують в апараті, який встановлюється перед водоскидним пристроєм.

Перевагами тонкошарових відстійників є їхня компактність, високий ефект прояснення (до  $70-80\%$ ).

У тонкошарових відстійниках відстійна зона поділяється на шари (яруси) невеликої глибини. Процес відстоювання відбувається дуже швидко, оскільки шлях руху часточок, що осаджуються, у десятки разів менший, ніж у звичайних відстійниках. Оскільки турбулентність підвищує транспортує здатність потоку, режим течії у відстійнику має бути ламінарним (число Рейнольдса не має перевищувати  $Re < 500$ ).

Принцип дії їх полягає в проходженні потоку води через пакет похилих пластин. У пакеті пластин між ними утворюється система тонкошарових каналів, у яких завдяки малим відстаням між пластинами різко скорочується час осідання або спливання механічних частинок. Кут нахилу пластин до горизонтальної площини  $60^\circ$ . Пластини можуть бути як плоскими, так і хвилястими. Також застосовують і трубчасті тонкошарові елементи (модулі).

Робочими елементами трубчастих відстійників є трубки діаметром 25–30 мм і довжиною 0,6–1 м. Трубки можуть бути встановлені з малим кутом нахилу (до 5°) або крутонахилені (45–60°) (рис. 6.3).

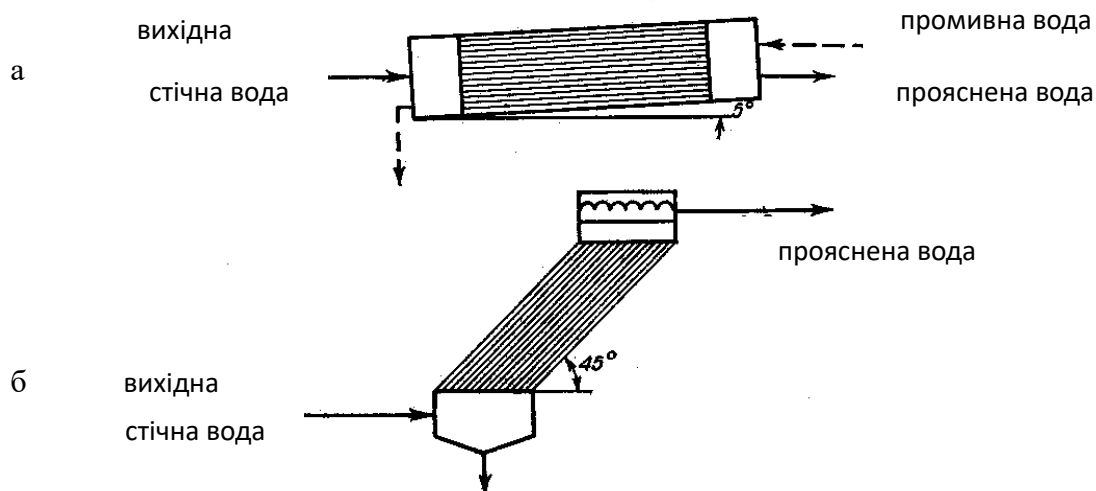


Рисунок 6.3 – Схема трубчатого відстійника:

*а – з малим нахилом труб; б – крутонахилений*

Трубчасті відстійники з невеликим нахилом працюють періодично. Спочатку здійснюють відстоювання, потім промивку трубок від осаду. Для успішного проведення процесу необхідний рівномірний розподіл води по трубках і ламінарний режим руху. Такі відстійники використовують для прояснення стічних вод з невеликим вмістом завислих речовин при витратах до 10 тис. м<sup>3</sup>/добу. Гідравлічне навантаження у відстійників 6–10 м<sup>3</sup>/год на 1 м<sup>2</sup> вхідного перерізу трубок. Ефективність очищення становить 80–83 %.

У трубчастих відстійниках з великим нахилом вода проходить знизу вгору, а осад безперервно сповзає по дну трубок у шламовий простір. Безперервне видалення осаду виключає необхідність промивання трубок. Відстійники цього типу можуть бути виготовлені з пластмасових блоків, які встановлюють у корпусах звичайних відстійників. Гідравлічне навантаження відстійників з великим нахилом труб становить від 2,4 м<sup>3</sup>/год на 1 м<sup>2</sup> до 7,2 м<sup>3</sup>/год на 1 м<sup>2</sup> вхідного перерізу труб.

Пластинчаті відстійники мають у корпусі низку паралельно встановлених похилих пластин. Вода рухається між пластинами, а осад сповзає вниз у шламоприймач (рис. 6.4).

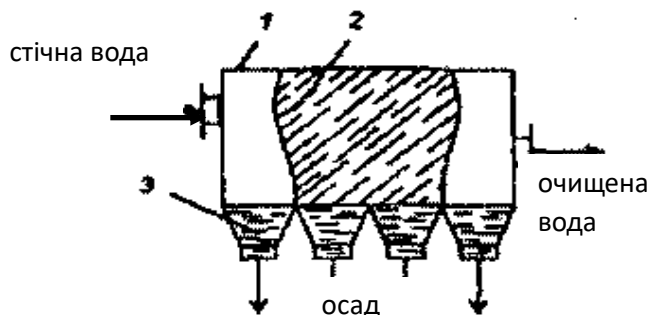


Рисунок 6.4 – Тонкошаровий відстійник з похилими пластинами:

1 – корпус, 2 – пластины, 3 – шламоприймач

Взаємний рух прояснюваної води та осаду може здійснюватися за перехресною схемою (у пластинчастих відстійниках), прямоотечійною або протитечійною схемами. При перехресній схемі осад рухається перпендикулярно до руху стічних вод. У відстійниках за прямоотечійною схемою напрямки руху води і осаду збігаються, а за протитечійною – вода і осад рухаються назустріч одне одному.

Найпоширенішими є відстійники, що працюють за протитечійною схемою.

## 6.2 Відкриті гідроциклони, флокулятори

Гідроциклони знаходять застосування у багатьох галузях промисловості та в технологічних процесах очищення води.

Широке застосування гідроциклонів обумовлюється низкою істотних переваг, якими володіють ці апарати перед відстійниками, згущувачами, сепараторами. Це висока продуктивність щодо оброблюваної суспензії, висока якість продуктів поділу, можливість створення компактних автоматизованих установок з широким діапазоном регулювання якісних та кількісних показників процесу поділу, відсутність частин, що рухаються.

Для уловлювання крупних твердих домішок і піску використовують напірні й безнапірні (відкриті) гідроциклони. Відкриті гідроциклони затосовують для видалення спливаючих та осідаючих домішок гідравлічною крупністю понад 0,2 мм/с та зкоагульованої суспензії. Напірні гідроциклони використовують для видалення грубодиспергованих домішок, зокрема мінерального походження. У таких апаратах забезпечується відокремлення піску та мінеральних частинок діаметром більше 0,1–0,15 мм, щільністю 1,2 г/см<sup>3</sup> і більше.

На відміну від споруд відстійного типу, у яких процес очищення в гідроциклонах відбувається під дією відцентрових сил забруднюючих домішок, які виникають у результаті обертального руху води в апаратах. Поле відцентрових сил виникає завдяки тангенціальному підведенню води до циліндричного корпусу апарата. Величина відцентрових сил може перевищувати силу тяжіння у тисячу разів. Отже, в полі відцентрових сил частинки будуть пересуватися зі швидкістю, значно більшою, ніж швидкість осадження цих частинок у відстійниках.

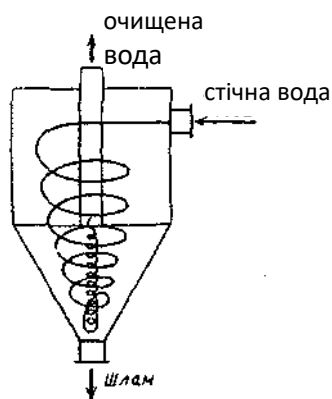


Рисунок 6.5 – Напірний гідроциклон

Відведення очищеної води здійснюється через центральну трубу. Уловлені частинки падають у конусну частину та видаляються через шламову насадку з частиною води.

Недоліки напірних гідроциклонів – великі втрати напору, швидке зношення елементів впуску води та небезпека засмічення шламових отворів. У цих апаратах не вдається затримувати дрібнодисперсні частки крупністю менш ніж 1–5 мкн, які найбільш характерні для промислових стічних вод. Крім того, завислі речовини, що втримуються в стічних водах промислових підприємств, практично повсюди характеризуються полідисперсним складом, що призводить до забивання шламових отворів.

Відкриті (безнапірні) гідроциклони – апарати, у яких очистка води відбувається в потоці води, що обертається, у якому створюються умови для укрупнення частинок забруднень. Застосування таких апаратів особливо ефективно для видалення коагульованих суспензій.

Відкриті гідроциклони доцільно застосовувати для прояснення порівняно невеликих кількостей стічних вод (100–200 м<sup>3</sup>/год), що володіють значною концентрацією суспензії та високими флокуляційними властивостями.

Відокремлення зависі від води здійснюється під дією як сил тяжіння, так і відцентрових сил.



У відкритих гідроциклонах можна очищати забруднені води від завислих речовин, нафтопродуктів, допускається також застосування коагуляції для інтенсифікації процесу очистки стічних вод.

Звичайний відкритий гідроциклон за конструкцією подібний до вертикального відстійника, у нього тільки відсутня центральна труба, а підведення води здійснюється тангенціально у нижній частині апарату.

Впуск води здійснюється тангенціально в простір, обмежений внутрішнім циліндром. Швидкості руху води у відкритих гідроциклонах значно менші, ніж у напірних гідроциклонах, тому вони забезпечують не відкидання частинок до стінок апарату, а їхнє укрупнення в процесі повільного обертально-поступального руху.

Наявність діафрагми сприяє розширенню потоку води та відділенню завислих речовин, зменшенню обсягу застійних зон і, як наслідок цього, збільшенню коефіцієнта використання обсягу апарату. Цей коефіцієнт ( $\alpha$ ) для відкритих гідроциклонів дорівнює 0,8. При відсутності конічної діафрагми  $\alpha = 0,5-0,6$ .

Ефект очистки у відкритих гідроциклонах визначається в основному гідравлічним навантаженням, що встановлюється залежно від характеристики стічних вод, від ступеню очистки і від геометричних розмірів гідроциклона.

Для всіх видів відкритих гідроциклонів питома гідравлічне навантаження на гідроциклон,  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ , визначають за формулою

$$q = 3,6 \cdot U_0 \cdot K, \quad (6.1)$$

де  $U_0$  – гідравлічна крупність часток,  $\text{мм}/\text{с}$ ;

$K$  – коефіцієнт пропорційності, що залежить від конструкції гідроциклона (для простих гідроциклонів, без внутрішніх устроїв  $K = 0,61$ ).

Відкриті гідроциклони застосовують таких типів: без внутрішніх устроїв, з діафрагмою, з діафрагмою і циліндричною перегородкою та багатоярусні (рис. 6.6, 6.7).

Відкриті гідроциклони без внутрішніх устроїв (рис. 6.6, а) рекомендується застосовувати для затримання крупно- та дрібнодисперсних домішок гідравлічною крупністю 5  $\text{мм}/\text{с}$  і більше.

Гідроциклони з конічною діафрагмою призначені для видалення зі стічних вод дрібнодисперсних домішок гідравлічною крупністю більше 0,2–0,3  $\text{мм}/\text{с}$ . Їх доцільно застосовувати для обробки невеликих витрат води (до 200  $\text{м}^3/\text{год}$ ). Значення коефіцієнта дорівнює  $K = 1,98$ .

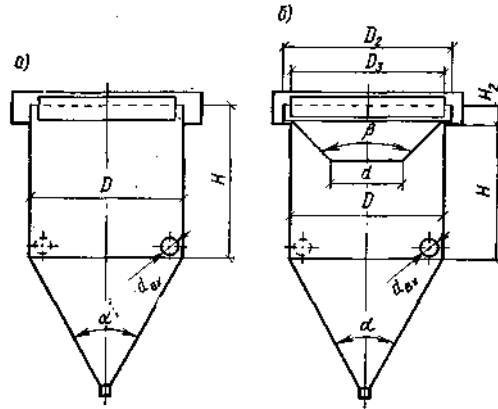


Рисунок 6.6 – Відкритий гідроциклон:

*а* – без внутрішніх устроїв, *б* – з конічною діафрагмою

Для підвищення ефективності конструкція гідроциклону доповнюється циліндричною перегородкою (рис. 6.7),

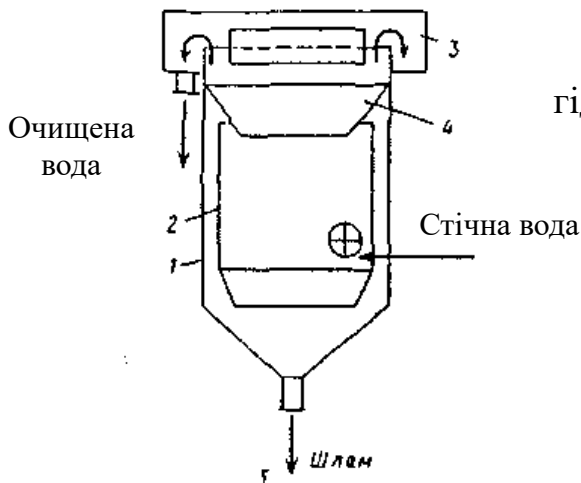


Рисунок 6.7 – Відкритий

гідроциклон з конічною діафрагмою й циліндричною перегородкою:

- 1 – циліндричний корпус апарата
- 2 – циліндрична перегородка
- 3 – водозбірний кільцевий лоток
- 4 – конічна діафрагма
- 5 – шламовідвідна труба

Впуск води здійснюється тангенціально у простір, обмежений внутрішнім циліндром. При цьому виникає замкнений циркуляційний потік, який сприяє покращенню якості очистки. Значення коефіцієнта дорівнює  $K = 1,98$ .

Ефект роботи гідроциклону значно збільшується при використанні коагулянтів. Наприклад, стосовно до стічних вод газоочисток сталеплавильних печей – для досягання необхідної ефективності очистки (150 мг/л у проясненій воді) навантаження без коагуляції становить  $5\text{--}6 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$ , а із застосуванням коагулянтів –  $12 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$ .

Головним недоліком відкритих гідроциклонів є небезпека забивання шламових отворів, що істотно ускладнює експлуатацію. Як можливі шляхи

виключення цього явища можна відзначити: 1) улаштування скребкового пристрою, який приводиться в дію за допомогою електропривода; 2) видалення осаду з гідроциклона за допомогою шламових насосів. Ці рішення дозволяють не тільки виключити забивання шламових отворів, але й зменшити кількість шламової пульпи, що видаляється з апарата і відповідно дозволяє збільшити концентрацію твердої речовини.

Інтенсифікація процесу очистки в гідроциклонах може бути досягнута при використанні принципу тонкошарового відстоювання шляхом влаштування в гідроциклонах декількох ярусів.

ВНДІ ВОДГЕО розроблено багатоярусний гідроциклон з периферійним відбором проясненої води. У цій конструкції застосовано комбіновану схему руху води й осаду в кожній робочій парі ярусів. За такої схеми очистка води здійснюється послідовно спочатку в прямотечійних, потім у протитечійних частинах ярусів, при цьому збільшення ефекту очищення досягається за рахунок затримання дрібнодисперсних частинок при проходженні потоку води через завислий шар осаду, що сповзає з додаткової діафрагми.

Усередині такого апарата перебувають конічні діафрагми, що не доходять до корпусу й розташовані під кутом  $45^\circ$  на відстані 120 мм одне від одного. Ці діафрагми поділять обсяг апарата на окремі яруси. Інтенсифікація процесу поділу в багатоярусному гідроциклоні досягається за рахунок зменшення висоти шару відстоювання. Обертовий рух дозволяє повніше використати обсяг ярусу й створює умови, що сприяють агломерації завислих речовин.

Окремою групою очисних апаратів є гідроциклони-флокулятори, у яких сполучені конструктивні елементи відкритого гідроциклона й радіального відстійника. Відмінною рисою цих агрегатів є відсутність високої конусної частини, днище виконується з невеликим ухилом до розташованого в центрі зумпфу. Шлам віддаляється за допомогою скребкової ферми із центральним приводом.

Характерною рисою флокулятора є тангенціальна подача води, за рахунок чого в апараті створюється обертовий рух води, а також розосереджений збір і відвід очищеної води.

Завислі речовини осаджуються на дно флокулятора і потім видаляються за допомогою скребкової ферми в приямок апарата, звідки осад видаляється шламовими насосами на подальшу обробку. Прояснена вода піднімається нагору апарата і через отвір у діафрагмі переливається в кільцевий водозбірний лоток.

Флокулятор призначений для очищення стічних вод як із застосуванням реагентів для коагуляції й флокуляції, так і без них. Як коагулянт можуть бути використані хлорне й сірчанокиисле залізо, сірчанокислий алюміній тощо, як флокулянт – використовують ПАА.

Установлено, що у флокуляторі із плоскою діафрагмою й розосередженим випуском води найкращі результати прояснення води досягаються при навантаженні 10–11 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год.

### 6.3 Фільтрування стічних вод

#### *Класифікація фільтрів*

У більшості випадків фільтри застосовують для глибокого очищення (доочищення) стічних вод, що пройшли біологічне або фізико-хімічне очищення.

Фільтри поділяють на фільтри із зернистим завантаженням і сітчасті барабанні фільтри.

Фільтри із зернистим завантаженням застосовують для доочищення стоків виробництв хімічної, металургійної, легкої, гірничодобувної, будівельної і низки інших галузей промисловості.

Фільтри із зернистим завантаженням класифікують:

- **за напрямком потоку:** зі спадним (зверху вниз) і висхідним (знизу нагору) потоком;
- **за конструкцією** фільтри (одношарові, двошарові й каркасно-засипні);
- **за видом фільтруючого матеріалу:** природні матеріали (кварцовий пісок, гравій, гранітний щебінь, доменний шлак, керамзит, антрацит, горілі породи, мармурова крихта) або штучні матеріали (полімери – пінополіуретан, полістирол тощо).

*Фільтруючі матеріали.* До фільтруючих матеріалів висуваються певні вимоги, зокрема вони повинні мати певний фракційний склад, володіти механічною міцністю (на стирання й здрібнювання), хімічною стійкістю до води і її домішок, повинні бути доступними й мати невисоку вартість.

Недостатня механічна міцність фільтруючого матеріалу сприяє збільшенню гідравлічного опору завантаження й віднесенню матеріалу промивною водою.

Хімічна стійкість матеріалу завантаження – одна з основних вимог, що запобігає забрудненню очищеної води та зміні властивостей фільтруючого матеріалу в процесі експлуатації фільтрів;

- *за швидкістю фільтрування:* фільтри швидкі ( $V = 3\text{--}25$  м/год), що працюють у повному обсязі завантаження, і надшвидкісні ( $V = 25\text{--}100$  м/год)
- *за робочим тиском* є відкриті (безнапірні) і напірні фільтри;
- *за крупністю фільтруючого матеріалу* розрізняють: дрібнозернисті (з розміром часток верхнього шару завантаження 0,4 мм), середньозернисті (0,4–0,8 мм) і грубозернисті (більше 0,8 мм) завантаження.

Сітчасті барабанні фільтри, застосовувані як самостійні споруди глибокого очищення, називають мікрофільтрами, а встановлювані перед зернистими фільтрами глибокого очищення – барабанні сітки.

Брудоемність зернистих фільтрів приймають за затриманням  $1\text{--}2$  кг/м<sup>3</sup> нафти і  $1,5\text{--}3$  кг/м<sup>3</sup> механічних домішок. Ефективність фільтрування підвищується при додаванні у воду  $5\text{--}10$  мг/л коагулянту  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  і  $0,2\text{--}0,3$  мг/л флокулянта ПАА.

Збільшення брудоемності фільтрів без зниження ефективності прояснення води досягається застосуванням фільтрів з багатошаровим завантаженням, що складається з матеріалів різної щільності. Наявність у багатошаровому фільтрі верхніх грубозернистих шарів спричиняє більшу глибину проникнення забруднень, а наявність нижнього дрібнозернистого піщаного шару – високу ефективність прояснення води.

Найбільше поширення одержали двошарові фільтри. Як матеріал верхніх фільтруючих шарів використовується антрацит ( $d_s = 0,8\text{--}1,1$  мм), керамзит, полістирол, для нижніх шарів – пісок ( $d_s = 0,4\text{--}0,5$  мм), граніт, магнетит тощо.

Швидкість фільтрування води становить  $10$  м/год і більше (до  $25$  м/год).

#### *Сітчасті фільтри*

*Напірний сітчастий фільтр з автоматичним промивним пристроєм ВСФ–2000* (рис. 6.8). Фільтруючим елементом є сітка з дроту діаметром  $0,25\text{--}0,12$  мм. Сітки відрізняються за розміром, матеріалом і способом плетіння. Принцип роботи: вода, що очищається, подається у дві камери, розташовані зверху і знизу, а відводиться через патрубок, розташований у середній частині корпусу. Камери розділені між собою перегородками, які складаються з 3-х шарів – фільтруючої металевої сітки, з двох боків затиснутої дірчастими плитами. Вода фільтрується через цю металеву сітку. Тиск у верхній і нижній

камерах становить близько 5 атм., а в центральній камері – близько 4 атм. Забруднення, що утворилися на поверхні сіток, видаляються за допомогою пристрою, що обертається, порожнина якого сполучається з атмосферою через патрубок (6) і центральну трубу. Пристрій, що обертається, за допомогою притискового механізму щільно прилягає до дірчастих плит (9).

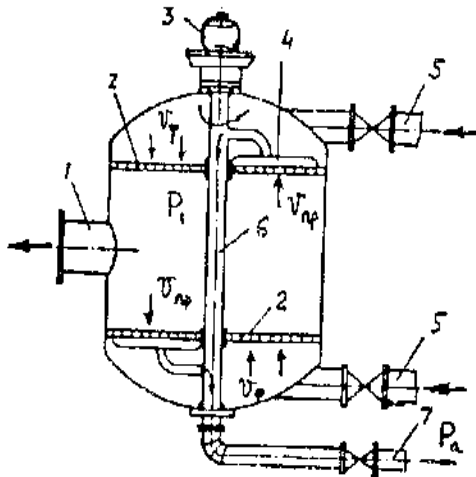


Рисунок 6.8 – Високошвидкісний сітчастий фільтр ВСФ-2000:

- 1 – відведення очищеної води;
- 2 – фільтруючі елементи;
- 3 – електродвигун для переміщення корпусів, що обертаються;
- 4 – корпус, що обертається;
- 5 – подача СВ;
- 6 – порожнистий вал;
- 7 – відведення промивної води

Промивка фільтра здійснюється механізмом з частотою обертання 2,3 об/хв, який розташований на кришці фільтра. На валу механізму закріплено вертикальну трубу, до якої прикріплені дві промивні камери, через які промивна вода відводиться по вертикальній трубі за межі фільтра. Сітки можуть промиватися безперервно або циклічно за заданою програмою.

Продуктивність фільтра – 2000 м<sup>3</sup>/год. Фільтр затримує завислі речовини крупністю 0,01 мм і більше при швидкості фільтрування 60–70 м/год. Втрати напору при безперервній промивці сіток становлять 0,3–0,5 кгс/см<sup>2</sup>. Ефект очистки залежить від вихідної концентрації і дисперсного складу забруднюючих речовин, розмірів комірок фільтруючої сітки та швидкості фільтрування.

За наявності в стічних водах разом із завислими речовинами різних нафтопродуктів, жирів, масел – застосування сітчастих фільтрів у край обмежене через небезпеку відносно кальмотації сітки. За допомогою сітчастих фільтрів можна добитися високої ефективності при очищенні стічних вод, що містять тверді механічні домішки.

*Напірні фільтри* становлять закриті резервуари циліндричної форми, що можуть витримувати значний тиск. Основні елементи напірних фільтрів такі самі, як у безнапірних фільтрах – фільтрувальне завантаження і підтримуючі

шари, дренажна система, призначена для відведення проясненої води і подачі промивної води розподільним пристроєм для стислого повітря. Фільтри розраховують на тиск 0,4–0,6 МПа.

Застосовують вертикальні й горизонтальні напірні фільтри. Висота шару фільтруючого матеріалу становить звичайно 1 000–1 200 мм. Вода на очистку подається під напором у верхню частину камери фільтра. Потім у спадному потоці вода проходить фільтруючий шар, освітлюється і через трубчастий дренаж видаляється під залишковим напором за межі фільтра. У міру забруднення фільтруючого шару, при збільшенні його опору до 0,15 МПа, фільтр виводиться на промивання, що полягає в подачі води і стиснутого повітря зворотним струмом – знизу нагору. Подача повітря потрібна для розпушення зерен фільтруючого матеріалу і кращого відмивання їх від забруднень.

Напірні фільтри мають напрямок фільтрування зверху вниз, швидкість фільтрування 5–12 м/год, а тривалість фільтроциклу – 12–48 год залежно від якості стічних вод. Залишковий вміст у воді нафтопродуктів допускається 7–20 мг/л (початковий вміст 40–80 мг/л), механічних домішок – 10–20 мг/л (початковий вміст 30–60 мг/л).

#### *Фільтри з плаваючим завантаженням*

Останнім часом для фільтрування поширення набули полімерні матеріали, які дозволяють значно підвищити швидкість фільтрування, зменшити тривалість фільтроциклу і скоротити витрати на очистку.

Перевагами таких фільтрів є:

- висока брудоемність, що становить 40–200 кг/м<sup>3</sup> завантаження;
- незначні втрати напору;
- збільшена тривалість фільтроциклу;
- простота конструкції, надійність роботи.

Розроблено декілька конструкцій фільтрів із завантаженням з подрібненого пінополіуретану розмірами гранул 0,5–12 мм і пор 0,8–1,2 мм. Найбільш ефективними для доочистки стічних вод є фільтри марок ФПЗ-3 та ФПЗ-4 (рис. 6.9).

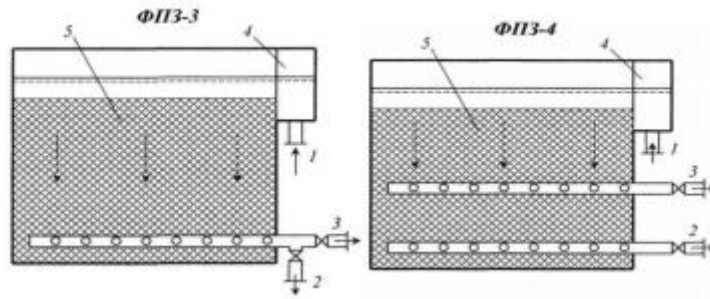


Рисунок 6.9 – Фільтри з плаваючим завантаженням:

*1 – підведення води; 2 – відведення промивної води; 3 – відведення фільтрату;  
3 – розподільча кишеня; 5 – плаваюче завантаження*

Завантаження фільтрів ФПЗ-3 і ФПЗ-4 складається з гранул, крупність яких зменшується за напрямом руху води. Фільтр ФПЗ-4 працює до повної кальмотації завантаження, після чого необхідна її регенерація.

Висота шару завантаження становить 1,0–1,2 м.

Такі фільтри використовують для доочистки як механічно очищених виробничих стічних вод (металургійна, хімічна промисловість), так і біологічно очищених міських стічних вод.

Ефект очистки таких фільтрів становить за зваженими речовинами 70–85 %, за БПКповн – 65–75 %.

#### *Каркасно-засипні фільтри*

*Каркасно-засипний фільтр (КЗФ) є різновидом фільтрів, у яких використовується принцип фільтрування в напрямку зменшення крупності зерен завантаження. За конструкцією КЗФ подібний до звичайного фільтра з фільтруванням води згори вниз і верхнім відведенням промивної води.*

У КЗФ на підтримуючий гравійний шар спочатку вкладають шар гравію крупністю 40–60 мм товщиною 1,8 м – так званий «каркас», який на висоту 0,9 м засипають піском крупністю зерен 0,8–1 мм.

Таким чином, КЗФ – це, фактично, двошаровий фільтр, верхній гравійний шар якого затримує найкрупніші частинки (приблизно 20–40 % загальної кількості), а нижній, гравійно-піщаний, – інші частинки, що залишились у воді. Завдяки цьому КЗФ має більшу брудоемність, ніж фільтри інших конструкцій, і барабанні сітки перед ним не встановлюють.

Конструкція каркасно-засипного фільтра (рис. 6.10) аналогічна до конструкції звичайного швидкого фільтра зі спадним рухом води й нижнім відводом промивної води.



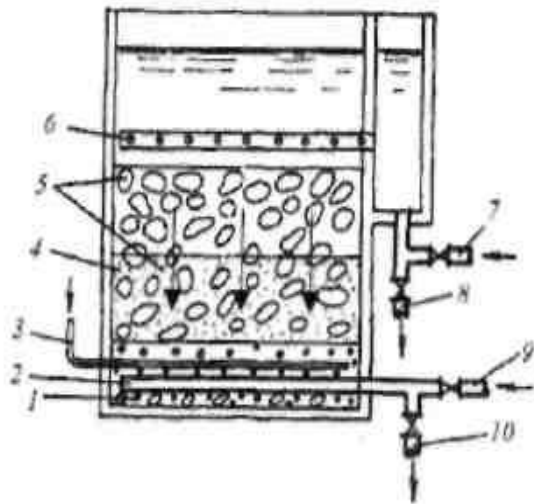


Рисунок 6.10 – Схема каркасно-засипного фільтра:

- 1 – підтримуючий шар з гравію;  
 2 – розподільна система для води;  
 3 – подача повітря при промивці;  
 4 – піщана засипка; 5 – гравійний каркас; 6 – трубчаста система для подачі вихідної та відведення фільтрованої води; 7 – подача вихідної води; 8 – відвід промивної води;  
 9 – подача промивної води; 10 – відвід фільтрованої води

При розрахунку КЗФ приймають: швидкість фільтрування – 10 м/год, тривалість фільтроциклу – 20 год, висоту шару води над піщаним завантаженням – біля 2 м, втрати напору в завантаженні до кінця фільтроциклу – до 3–3,5 м. За початкових концентрацій в доочищуваних стічних водах завислих речовин до 20 мг/л, БПК<sub>повн</sub> – до 15–20 мг/л і ПАР – до 2,5 мг/л, КЗФ забезпечує зменшення їх концентрацій відповідно на 70–80 %, 70 % і 80 %. Промивка КЗФ може бути як водяною, так і водоповітряною.

#### Питання для самоперевірки

1. Які спороди можуть входити до схеми механічної очистки виробничих стічних вод ?
2. Переваги й недоліки вертикальних і горизонтальних відстійників.
3. Типи конструкцій усереднювачів.
4. Відстоювання стічних вод у тонкому шарі.
5. Призначення та принцип дії відкритих і напірних гідроциклонів.
6. Конструктивні особливості і принцип роботи флокулятора.
7. Чим обумовлено створення спеціальних конструкцій відстійників для очищення виробничих стічних вод ?

## **7 ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ОЧИСТКИ. ОЧИСТКА МЕТОДОМ ФЛОТАЦІЇ**

### **7.1 Сутність флотації. Загальні відомості про флотацію, формування флотаційного агрегату**

Флотація відноситься до фізико-хімічних методів очищення стічних вод і застосовується в багатьох виробництвах нафтопереробної, гірської, металургійної, машинобудівної, хімічної, харчової промисловості, целюлозно-паперової, шкіряної, м'ясо-молочної промисловості, а також на підприємствах з виготовлення штучного волокна.

Флотаційні установки застосовують для видалення з води завислих речовин, ПАВ, нафтопродуктів, жирів, масел, смол, волокон, осадження яких малоефективне.

Перевагами флотації є високий ступінь очищення (95–98 %), безперервність процесу, широкий діапазон застосування, невеликі капітальні вкладення й експлуатаційні витрати, простота апаратури, селективність виділення домішок, порівняно з відстоюванням більша швидкість процесу, а також можливість одержання шламу (пінного продукту) більш низької вологості. Флотація застосовується при вирішенні екологічних проблем переважно в процесах очищення стічних вод, що містять гідрофобні забруднення.

Використання флотаційних установок з різними способами аерації обумовлено присутністю в стічних водах частинок, що володіють добре вираженими гідрофобними властивостями. Гідрофобні (погано змочувані водою) частинки вибірково закріплюються на границі розділу фаз, зазвичай газу й води, і відокремлюються від гідрофільних (добре змочуваних водою) частинок. При флотації пухирці газу або краплі мастил прилипають до частинок, погано змочуваних водою, і піднімають їх до поверхні.

Гідрофобність – це фізична властивість молекули, що «прагне» уникнути контакту з водою. Сама молекула в цьому випадку називається гідрофобною. До них відносяться нафтопродукти, жири, масла.

Флотація є складним фізико-хімічним процесом. Процес очищення стічних вод методом флотації полягає в утворенні комплексів «частинки-пухирці», спливанні цих комплексів і видаленні пінного шару, що утворився, з поверхні оброблюваної рідини.

Центральним моментом процесу флотації є приставання частинок до пухирців повітря (газу) з утворенням флотаційного агрегату пухирці-частинки. Прилипання частинки, що перебуває у воді до поверхні газового пухирця, можливо тільки тоді, коли спостерігається незмочування або погане змочування частки рідиною.

Приставання може здійснюватися двома шляхами: зіткненням і закріпленням частинок на пухирцях повітря у водному середовищі й безпосереднім формуванням пухирця на поверхні частинок за рахунок виділення газу при зниженні тиску над поверхнею водного середовища. У напірному флотаторі здійснюється другий спосіб приставання.

Міцність з'єднання «пухирець – частинка» залежить від розмірів пухирця й частинки, фізико-хімічних властивостей пухирця, частинки й рідини, гідродинамічних умов та інших факторів.

Механізм утворення комплексу «пухирець-частинка» може бути різним, і залежно від цього, розрізняють флотацію:

- з виділенням повітря з розчину (напірна, вакуумна, ерліфтна, ежекторна);
- з механічним диспергуванням повітря (імпелерні, безнапірні й пневматичні флотаційні установки);
- з подачею повітря через пористі матеріали;
- електрофлотацію.

#### *Флотаційні реагенти й механізм їхньої дії*

Флотаційна активність частинок здебільшого залежить від гідративності їхньої поверхні. Однак у промислових стічних водах можуть міститися забруднення, що володіють високою гідрофільністю поверхні. Для видалення цих частинок зі стічних вод методом флотації необхідна попередня зміна їх первинних поверхневих властивостей за допомогою флотаційних реагентів.

Класифікація флотаційних реагентів залежно від їхньої ролі й призначення:

- реагенти-збирачі, що підвищують гідрофобність поверхні часток;
- реагенти-піноутворювачі, що знижують поверхневий натяг на границі розділу фаз і сприяють утворенню стійких і флотаційно-активних дрібних пухирців повітря;
- реагенти-регулятори (активатори, регулятори рН середовища), що стають головним чином електроліти, які підвищують селективність процесу.

У стічних водах металургійних підприємств збирачі присутні у вигляді різних мастильних матеріалів.

На флотаційний процес впливають: рН стічних вод, температура стоків, солевміст, конструкція флотаційної установки тощо.

## **7.2 Види флотації. Схема напірної флотації**

*Види флотації залежно від типу границі розділу фаз:*

1. Масляна (вода–масло), коли забруднення, змочені маслом, виносяться на поверхню флотоустановок.

2. Плівкова (вода–тверде тіло), коли тонкоподрібнені сухим способом частинки насипаються тонким шаром з невеликої висоти на поверхню води. При цьому гідрофобні або погано змочувані частинки утримуються силами поверхневого натягу на поверхні води, утворюючи крихку плівку, тоді як гідрофільні тонуть і опускаються на дно апаратів.

3. Пінна (газ–вода–тверде тіло–реагенти), коли у спорудах створюється енергійне перемішування стічних вод з повітрям. При цьому у пінний продукт переходять гідрофобні частинки, а для їх утворення необхідна наявність різних реагентів (масел, нафти і нафтапродуктів, ПАВ тощо).

4. Іонна (газ–рідина), коли витягуються у піну зі стічних вод забруднення у вигляді іонів металів. Процес флотації відбувається за наявності дрібних пухирців повітря і збирача (ПАВ). При цьому збирач повинен утворювати у воді іони, які мають заряд, протилежний заряду іона, що вилучається. Процес ефективний при низьких концентраціях іона, що вилучається.

### **Напірна флотація**

Найбільшого поширення в процесах очистки стічних вод отримала напірна флотація. Перевагою цього способу перед іншими є те, що виділення пухирців відбувається безпосередньо на частинках забруднень, що містяться у стічній воді.

Утворювані флотокомплекси «частинка–пухирець газу (повітря)» спливають, утворюючи пінний шар. У цих випадках не потрібно забезпечувати зіткнення часток з пухирцями для утворення флотокомплексу, що спричиняє перехід частинок у піну. В апаратах напірної флотації пухирці на порядок менші (0,2 мм), ніж у механічних, пневмомеханічних, пневматичних флотомашинах (розміром 1–3 мм), а отже, у них при меншій аерованості забезпечується значно більша поверхня поділу газ-рідина.

За кількістю оброблюваної води на напірній флотоустановці є:

1. Прямотечійна флотація (пряма), коли весь обсяг оброблюваних стоків надходить до сатуратора.

2. Флотація з рециркуляцією, коли до сатуратора (у напірний бак) подається 30–50 % очищеної стічної рідини.

Установки для напірної флотації (рис. 7.1) прості й зручні в експлуатації. Напірна флотація дозволяє очищати стічні води з концентрацією суспензій до 4–5 г/л.

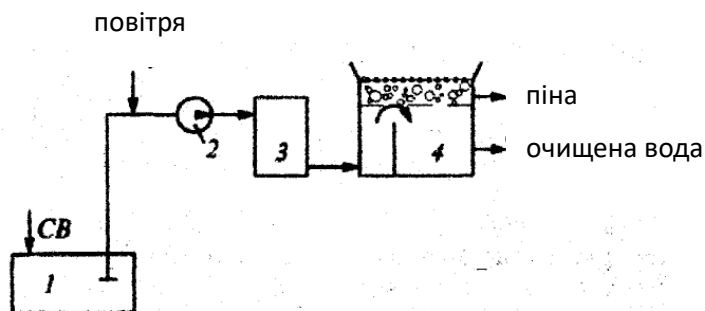


Рисунок 7.1 – Принципова схема напірної флотації:

1 – ємність; 2 – насос; 3 – напірний бак (сатуратор); 4 – флотатор

Процес здійснюється у дві стадії:

- 1) насичення води повітрям під тиском;
- 2) виділення розчиненого газу під атмосферним тиском.

У технології флотаційної очистки поширення отримало примусове насичення рідини повітрям, яке здійснюється переважно з використанням сатуратора. У флотаційній камері, яка працює при атмосферному тиску, відбувається виділення розчиненого повітря й здійснюється процес флотації. Таким чином, утворення пухирців газу у воді відбувається внаслідок зменшення розчинності повітря у воді при зниженні тиску. При цьому виділення газу з води відбувається безпосередньо на частинці.

Під час напірної флотації стічні води під тиском 0,3–0,5 МПа подаються в напірний бак-сатуратор, туди ж компресором подається повітря. Насичена повітрям вода із сатуратора прямує у флотаційну камеру, де пухирці повітря, що виділилися зі стічних вод, спливають разом із частинками забруднень.

При експлуатації флотаційних установок особливу увагу приділяють своєчасному видаленню піни, яка руйнується протягом 10–15 хв і є вторинним забруднювачем стоку.

Залежно від об'єму і ступеня забруднення стічних вод нафтопродуктами використовують горизонтальні флотатори (рис. 7.2) (до 100 м<sup>3</sup>/год) –

прямокутні в плані камери глибиною 1–1,5 м з горизонтальним рухом води, і радіальні флотатори (більше 100 м<sup>3</sup>/год) глибиною не менше ніж 3 м (глибина зони флотації й зони відстоювання призначається не менше 1,5 м, а тривалість перебування води в них відповідно не менше 5 хв і 15 хв). Площу флотаційної камери потрібно приймати виходячи з гідравлічного навантаження від 3–6 м<sup>3</sup>/год до 10 м<sup>3</sup>/год на 1 м<sup>2</sup> площі поверхні камери. Горизонтальна швидкість руху води в прямокутних флотокамерах – не більше 5 мм/с. Об'єм флотокамери складається з об'єму робочої зони (глибина 1,0–3,0 м), зони формування й нагромадження піни (глибина 0,2–1 м), зони осаду (глибина 0,5–1,0 м). Число флотокамер має бути не менше двох, усі камери робочі. Розрахунок флотаційних установок полягає у визначенні об'ємів і розмірів флотаційних камер, визначенні кількості шламу, що утворюється (пінного продукту) і осадів, підбору насосів і визначенні місткості напірних баків.

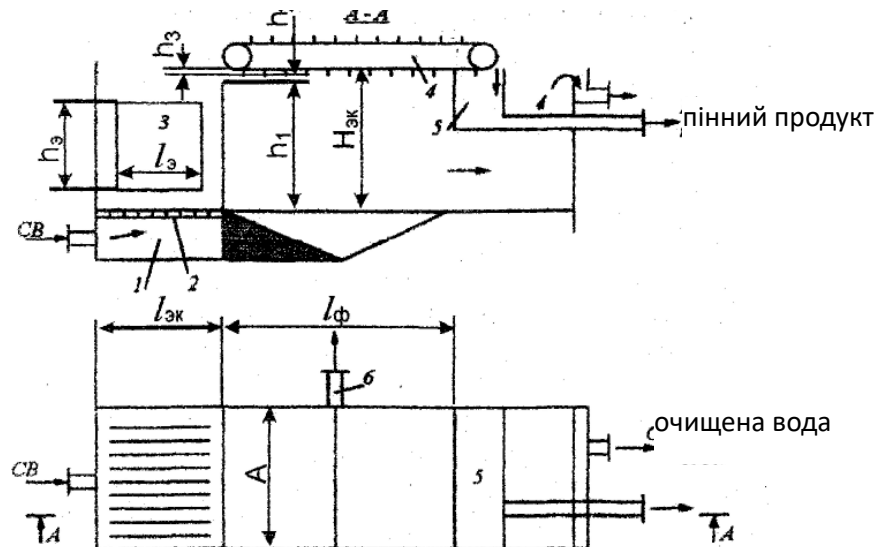


Рисунок 7.2 – Горизонтальний флотатор:

- 1 – впускна камера; 2 – решітка-заспокійлювач; 3 – електродна система;  
4 – пінозйомник; 5 – пінозбірник; 6 – відведення осаду та випорожнення флотатора

Флотатори-відстійники становлять комбіновані споруди, що складаються із круглого в плані радіального відстійника із вбудованою в нього підвісною флотокамерою (рис. 7.3).

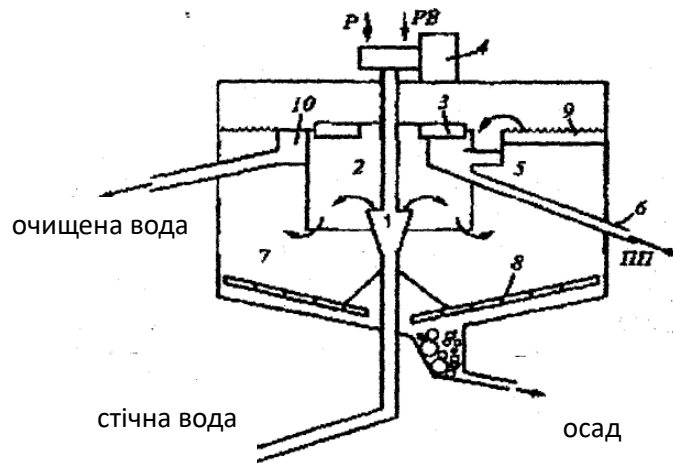


Рисунок 7.3 – Схема флотатора-відстійника:

1 – водорозподільник; 2 – підвісна флотокамера; 3 – верхні шкребки;  
 4 – електропривід; 5 – збірник піни; 6 – вихід пінного продукту; 7 – відстійна  
 камера; 8 – донні шкребки; 9 – зубчастий водозлив; 10 – кільцевий  
 лоток очищеної води; P – подача реагентів;  
 PB – рециркулююча вода; ПП – пінний продукт

Розроблені типові проекти радіальних флотаторів і флотаторів-відстійників пропускною здатністю 300, 600 і 900 м<sup>3</sup>/год, що мають відповідно діаметри 9, 12 і 15 м та глибину 3 м.

#### Питання для самоперевірки

1. Які процеси відносяться до фізико-хімічних методів очистки промислових стічних вод?
2. Сутність процесу коагуляції домішок води.
3. Від чого залежить ефективність води методом коагуляції?
4. Які коагулянти застосовують у процесах очистки води? У чому переваги гідроксихлориду алюмінію порівняно із сульфатом алюмінію?
5. Складіть рівняння гідролізу солей алюмінію.
6. Поясніть сутність процесу флотації.
7. Назвіть відомі способи диспергування повітря.
8. Види флотації.
9. Від чого залежить ефективність процесу флотації? Переваги флотації.
10. Наведіть схему напірної флотації.

## 8 ХІМІЧНІ ТА ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ МЕТОДИ ОЧИСТКИ

### 8.1 Основні способи нейтралізації. Реагенти, установки для нейтралізації

До основних хімічних способів очистки відносяться окислювання забруднюючих воду речовин, нейтралізація із введенням у стічні води речовин з кислою або лужною реакцією для забезпечення в них рН у межах 6,5-8,5.

Хімічна очистка може здійснюватися як самостійний метод перед подачею виробничих стічних вод у систему оборотного водопостачання, а також перед спуском їх у водойму або міську каналізаційну мережу. Нейтралізацію застосовують для обробки виробничих стічних вод, що містять кислоти й луги.

Більшу небезпеку становлять кислі стоки, які до того ж зустрічаються значно частіше, ніж лужні. Найчастіше стічні води забруднені кислотами – сірчаною, азотною, соляною, а також їхніми сумішами. Крім того, у більшості кислих стоків містяться солі важких металів, які необхідно видаляти.

Нейтралізацію здійснюють з такою метою:

- для запобігання корозії матеріалів каналізаційних мереж та очисних споруд;
- щоб уникнути порушення біохімічних процесів у біологічних окислювачах та у водоймах;
- для осадження зі стічних вод солей важких металів.

Практично нейтральними вважають води, що мають рН = 6,5–8,5.

#### *Основні способи нейтралізації*

*Взаємна нейтралізація кислих і лужних стічних вод.* Режимми скидання стічних вод, що містять кислоту й відпрацьовані луги, як правило, різні. Кислі води зазвичай скидаються в каналізацію рівномірно протягом доби і мають постійну концентрацію. Лужні води скидаються періодично в міру того, як скидається лужний розчин. У зв'язку із цим для лужних вод часто необхідно влаштовувати регулюючий резервуар. Із резервуара ці води рівномірно випускають у камеру реакції, де в результаті змішування їх з кислими стічними водами відбувається взаємна нейтралізація. Цей метод широко використовують на підприємствах хімічної промисловості.

*Нейтралізація реагентами* (негашене вапно, гашене вапно  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , кальцинована сода). Реагентний метод застосовують у випадку, якщо на промислових підприємствах є тільки кислі або тільки лужні стічні води, або



якщо неможливо забезпечити взаємну нейтралізацію. Вапно для нейтралізації застосовують у вигляді вапняного молока 5%-ї концентрації або у вигляді порошку. Цей метод поширений для нейтралізації кислих вод. Оскільки в кислій і лужній виробничих стічних водах практично завжди присутні іони металів, то дозу реагенту визначають із урахуванням виділення в осад солей важких металів. Час контакту стічних вод і реагенту повинен бути не менш ніж 5 хв. Для кислих стічних вод, що містять розчинені іони важких металів, цей час повинен бути не менш ніж 30 хв.

Нейтралізація кислих стічних вод шляхом *фільтрування через нейтралізуючі матеріали* (вапно, вапняк  $\text{CaCO}_3$ , доломіт  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ , магнезит  $\text{MgO}$ ). Нейтралізацію соляно-, азотно-, а також сірчаноокислих стічних вод при концентрації сірчаної кислоти не більше ніж 1,5 г/л здійснюють на безперервно діючих фільтрах з вертикальним рухом води. При концентрації кислоти більш ніж 1,5 г/л кількість сульфату кальцію, що утворюється, перевищує його розчинність (2 г/л), і він починає випадати в осад, у результаті чого нейтралізація припиняється. Крупність фракцій матеріалу завантаження становить 3–8 см; розрахункова швидкість фільтрування залежить від виду завантажувального матеріалу, але не більше 5 м/год; тривалість контакту не менше 10 хв. Застосування таких фільтрів можливе за умови відсутності в кислих стічних водах розчинених солей важких металів, оскільки при  $\text{pH} > 7$  вони будуть випадати в осад у вигляді важко розчинних сполук, які повністю забивають пори фільтра.

*Нейтралізація димовими газами.* Застосування для нейтралізації лужних стічних вод газів, що відходять, які містять діоксиди вуглецю, сірки, азоту й інших кислих газів, дозволяє не тільки нейтралізувати стічні води, але й одночасно здійснювати високоефективне очищення самих газів від шкідливих компонентів. Нейтралізація здійснюється в колонних абсорбційних апаратах, розрахунок яких заснований на закономірностях хемосорбції. Процес нейтралізації може бути проведений у реакторах з мішалкою, у розпилювальних, плівкових і тарілчастих колонах.

Вибір способу нейтралізації залежить від багатьох факторів:

- виду й концентрації кислот, що забруднюють виробничі стічні води;
- витрат і режиму надходження відпрацьованих вод на нейтралізацію, наявності реагентів;
- місцевих умов тощо.

*Нейтралізація змішуванням.* Цей метод застосовують, якщо на одному підприємстві або на сусідніх підприємствах є кислі й лужні води, не забруднені іншими компонентами. Кислі й лужні води змішують у ємності з мішалкою. При змінній концентрації стічних вод у схемі передбачають установку усереднювача або забезпечують автоматичне регулювання подачі в камеру змішування.

Принципову схему реагентної нейтралізації наведено на рисунку 8.1.

Нейтралізовану воду використовують у виробництві, а осад зневоднюють на шламових майданчиках або вакуум-фільтрах.

*Нейтралізація додаванням реагентів.* Для нейтралізації кислих вод можуть бути використані: NaOH, KOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>OH (аміачна вода), CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, доломіт (CaCO<sub>3</sub> MgCO<sub>3</sub>). Однак найбільш дешевим реагентом є гідроксид кальцію (вапняне молоко) із вмістом активного вапна Ca(OH)<sub>2</sub> 5–10 %. Іноді для нейтралізації застосовують різні відходи виробництва, наприклад, шлаки сталеплавильного, ферохромового й доменного виробництв використовують для нейтралізації вод, що містять сірчану кислоту.

Реагенти вибирають залежно від складу й концентрації кислих стічних вод. При цьому враховують утворення осадів.

Розрізняють три види кислотомісних стічних вод:

- води, що містять слабкі кислоти (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>COOH);
- води, що містять сильні кислоти (HCl, HNO<sub>3</sub>). Для їхньої нейтралізації може бути використаний будь-який названий вище реагент. Солі цих кислот добре розчинні у воді;
- води, що містять сірчану й сірчисту кислоти. Кальцієві солі цих кислот погано розчинні у воді й випадають в осад.

Час контакту стічних вод і реагенту в камерах реакції повинен бути не менш ніж 5 хв, для кислих вод, що містять розчинені іони важких металів – не менш ніж 30 хв.

Вапно для нейтралізації вводять у стічну воду у вигляді гідроксиду кальцію (вапняного молока; «мокре дозування») або у вигляді сухого порошку («сухе» дозування). Схему установки для нейтралізації кислих вод вапняним молоком показано на рисунку 8.2.

Установки для нейтралізації стічних вод включають реагентне господарство, усереднювачі, змішувачі, контактні резервуари, відстійники для виділення шламу.

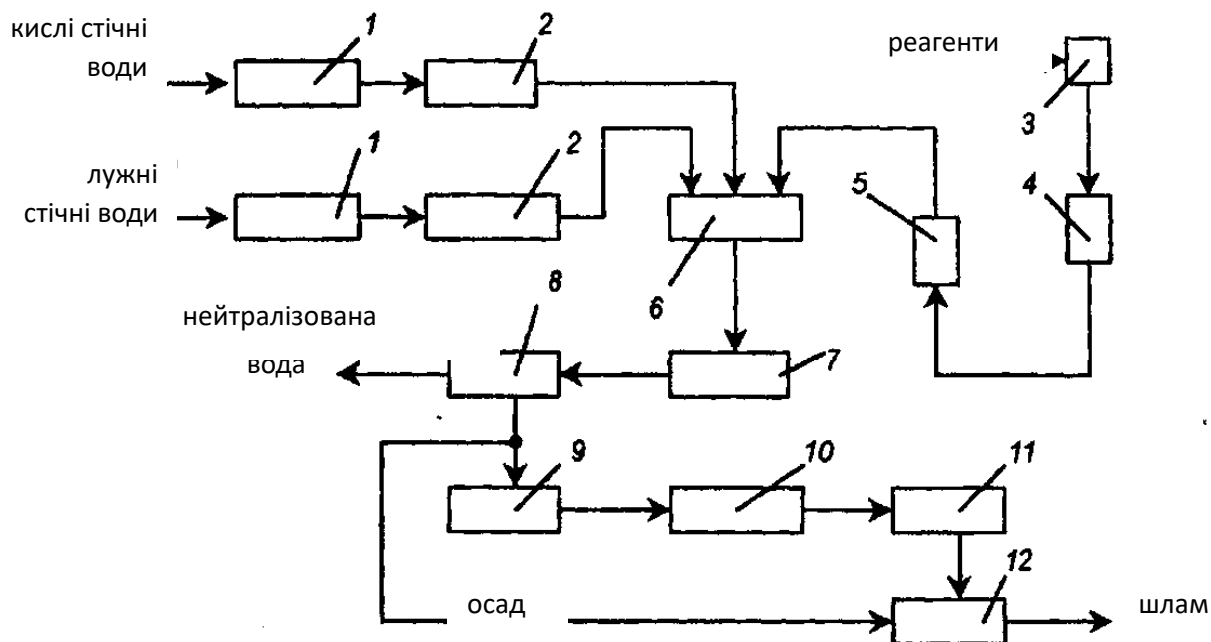


Рисунок 8.1 – Схема станції реагентної нейтралізації:

- 1 – пісколовки; 2 – усереднювачі; 3 – склад реагентів; 4 – розчинний бак;  
 5 – дозатор; 6 – змішувач, 7 – нейтралізатор; 8 – відстійник;  
 9 – осадкоуцільнювач; 10 – вакуум-фільтр; 11 – накопичувач зневоднених осадів; 12 – шламовий майданчик

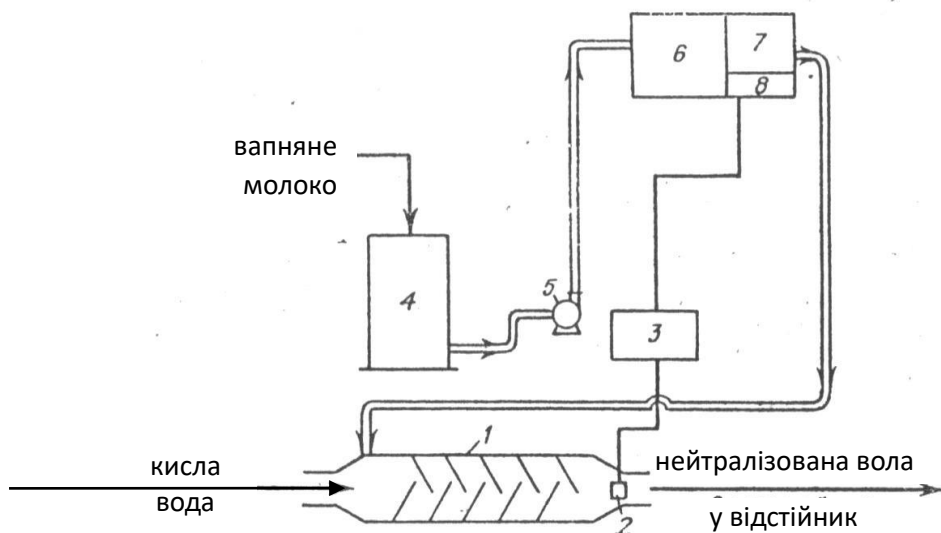


Рисунок 8.2 – Схема установки нейтралізації стічних вод:

- 1 – змішувач; 2 – заглибний датчик; 3 – прилади системи автоматичного регулювання; 4 – збірник вапняного молока; 5 – насос; 6 – прийомна частина дозатора; 7 – дозатор; 8 – виконавчий механізм

Для змішування стічних вод з вапняним молоком застосовують змішувачі різних типів: дірчасті, перегородчасті, вихрові, з механічними мішалками або

барботажи з витратою повітря 5–10 м<sup>3</sup>/год на 1 м<sup>2</sup> вільної поверхні. Час перебування води в камері нейтралізації при використанні вапняного молока становить 5–30 хв залежно від наявності у воді солей важких металів та інших домішок.

Для нейтралізації лужних стічних вод використовують різні кислоти або кислі гази.

*Нейтралізація фільтруванням кислих вод через нейтралізуючі матеріали.* У цьому випадку для нейтралізації кислих вод здійснюють фільтрування їх через шар магнезиту, доломіту, вапняку, твердих відходів (шлаки, зола). Процес ведуть у фільтрах-нейтралізаторах, які можуть бути горизонтальними або вертикальними.

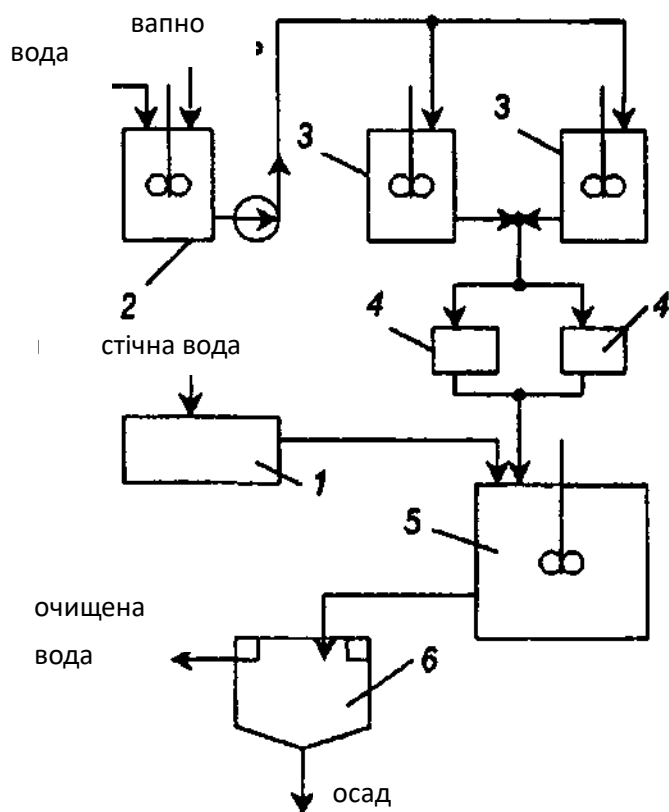


Рисунок 8.3 – Схема установки нейтралізації кислих стічних вод гідроксидом кальцію (вапняним молоком):

- 1 – усереднювач; 2 – апарат для гасіння вапна (CaO);
- 3 – розчинні баки; 4 – дозатори;
- 5 – нейтралізатори; 6 – відстійник

*Нейтралізація кислими газами.* Для нейтралізації лужних стічних вод останнім часом почали використовувати гази, що відходять і які вміщують CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> тощо. Застосування кислих газів дозволяє не тільки нейтралізувати стічні води, але й одночасно здійснювати високоефективне очищення самих газів від шкідливих компонентів.

Використання для нейтралізації лужних стічних вод діоксиду вуглецю має низку переваг порівняно із застосуванням сірчаної або соляної кислот, дозволяє різко знизити вартість процесу нейтралізації. Внаслідок погані

розчинності  $\text{CO}_2$  зменшується небезпека переокислювання нейтралізованих розчинів. Карбонати, що утворюються, знаходять більше застосування порівняно із сульфатами або хлоридами, крім того корозійні й токсичні впливи  $\text{CO}_3^{2-}$  іонів у воді менші, ніж іонів  $\text{SO}_4^{2-}$  і  $\text{Cl}_3^-$ .

## 8.2 Обробка стічних вод електрофлотацією

Установки електрофлотації застосовують для обробки невеликої кількості стічних вод і технологічних розчинів у гальванотехніці при витраті не більш ніж за 20–40  $\text{м}^3/\text{год}$  із високим вмістом солей і низькою електропровідністю. При електрофлотації можливе використання коагулянтів і флокулянтів.

В установках електрофлотації для проведення процесу флотації використовують газоподібні продукти – водень і кисень, що виділяються на електродах при електролізі оброблюваної води. У процесі електролізу води на катоді виділяється водень, а на аноді – кисень. Основну роль у процесі флотації часток відіграють пухирці водню.

Сутність цього способу очищення стоків полягає в переносі забруднюючих часточок з рідини на її поверхню поділу фаз за допомогою пухирців газу, що утворюються при електролізі стічної води.

Ефективність електрофлотації залежить від числа й крупності пухирців газу. Основну роль тут відіграють пухирці, що утворюються на катоді. Більш дрібні пухирці мають більшу розчинність. До того ж вони виділяються прямо на поверхні забруднень і тим самим сприяють ефекту флотації.

Для одержання необхідної кількості пухирців необхідного розміру необхідний правильний підбір матеріалу, діаметра дроту катода і щільності струму. Змінюючи щільність струму, можна варіювати швидкість флотації.

Електрофлотаційний спосіб має низку переваг порівняно з іншими способами флотації: простота виготовлення апаратів та їхнього обслуговування, можливість регулювання ступеня очищення стоків залежно від фазово-дисперсного стану домішок, висока дисперсність пухирців газу, що забезпечує ефективність їхньої взаємодії з домішками.

При витраті стоків до 10–15  $\text{м}^3/\text{год}$  флотоустановки однокамерні, а при більшій – двокамерні горизонтального або вертикального типу.

Розрахунок установок для електрофлотації зводиться до визначення загального обсягу установки, обсягів електродного відділення й камери флотації.

### 8.3 Очистка промислових стічних вод методами електрокоагуляції та електрофлотокоагуляції

З електрохімічних методів очищення стічних вод (особливо стоків гальванічних виробництв) поширення набув метод електрокоагуляції.

Метод використовують у системах локального очищення стічних вод, забруднених тонкодисперсними й колоїдними домішками. Очищення здійснюють від різних емульсій, мастил, жирів, нафтопродуктів, сполук хрому й інших важких металів. Ефективність очищення становить: від нафтопродуктів і мастил 54–68 %, від жирів – 92–99 %.

Метод електрокоагуляції не вимагає дефіцитних реагентів і має низку переваг, таких як універсальність, відсутність додаткового сольового забруднення води в процесі очищення, невеликі розміри установок, компактність установок і простота керування, відсутність потреби в реагентах, повна відсутність або спрощення реагентного господарства, простота обслуговування устаткування, слабка чутливість до змін умов проведення процесу, одержання шламу з кращими структурно-механічними властивостями.

Метод електрокоагуляції заснований на електролізі з використанням металевих (сталевих або алюмінієвих) анодів, що піддаються електролітичному розчиненню. У результаті розчинення анодів вода збагачується відповідними іонами, що утворюють потім у нейтральному або слабколужному середовищі гідроксид алюмінію або гідроксид заліза. Під їхньою дією відбувається процес коагуляції високодисперсних речовин, що втримуються у воді, який є аналогічним до обробки води відповідними солями алюмінію або заліза.

Однак, на відміну від застосування сольових коагулянтів, при електрокоагуляції вода не збагачується сульфат- і хлорид-іонами, вміст яких в очищеній воді лімітується як при скиданні її у водойми, так і при повторному використанні в системах виробничого водопостачання.

На ефективність електрокоагуляції впливають: матеріал електродів, відстань між ними, швидкість руху води між електродами, температура і склад води, напруга й щільність струму. Електрокоагуляцію рекомендується проводити у нейтральному або слабколужному середовищі за таких умов: щільність струму не більш ніж  $10 \text{ А/м}^2$ , відстань між електродами – не більш ніж 20 мм, швидкість руху води – не менш ніж 0,5 м/с.

На практиці зазвичай використовують безнапірні пластинчасті електрокоагулятори, напрямок руху рідини в які може бути горизонтальним або вертикальним.

## Електрофлотокоагуляція

Часто при проведенні електрофлотації використовують попереднє введення в стічні води коагулянтів. За рахунок цього ефективність флотації істотно підвищується.

Одночасне утворення пластівців коагулянту й пухирців газу в стислих умовах міжелектродного простору створює передумови для надійного закріплення газових пухирців на пластівцях та інтенсивної коагуляції забруднень, що забезпечує ефективність флотаційного процесу. Такі установки називаються електрокоагуляційно-флотаційними. При пропускній здатності до 10–15 тис. м<sup>3</sup>/год установки можуть бути однокамерними, а при більшій пропускній здатності – двокамерними горизонтального або вертикального типу.

Коагулянти можна вводити безпосередньо у вигляді відповідних солей або за рахунок організації активного анода. Тобто організовується попередня (перша) секція електрокоагуляції, де відбувається розчинення анода й утворення гідроокисних структур, які виконують коагулюючі функції. У другій секції протікає основний процес електрофлотації за рахунок пухирців газів, що утворюються на графітових електродах. Третя секція організовується, якщо необхідно додаткове знезаражування очищених стічних вод. У ній за рахунок певного розташування електрода збільшується поверхня його контакту з водою і збільшується кількість пухирців кисню, що утворюються, які виконують функцію окислювача.

Метод електрофлотокоагуляції (ЕФК) дозволяє одночасно здійснювати два процеси – зміну дисперсного стану домішок за рахунок їхньої коагуляції під дією електричного поля та коагуляцію й закріплення пухирців електролітичного газу на поверхні часток, які коагулюють, що забезпечує їхню наступну флотацію. Особливо ефективний процес при анодному (катодному) розчиненні металу електродів. Це пояснюється тим, що коагулююча активність електрогенерованих реагентів, на відміну від коагулянтів, отриманих при гідролізі солей металів, є значно вищою.

Основними стадіями процесу ЕФК є генерація електролітичного коагулянту, генерація електролітичного газу, коагуляція домішок, закріплення електролітичного газу на поверхні коагульованих домішок (утворення флотокомплексів) і спливання флотокомплексів.

Метод ЕФК відрізняється високим ефектом виділення зі стічної води забруднень, більш економічний за витратами електроенергії та металевих електродів порівняно з електрокоагуляцією, відпадає необхідність введення

реагентів в очищувану рідину. Піна, одержувана при електрокоагуляції, має високу стійкість. Ефект очищення в ЕФК-апаратах становить за жирами 96–97 %, за завислими речовинами – 90–92 %, за ХПК – 65 %, за БПК<sub>повн</sub> – 70–75 %.

#### *Питання для самоперевірки*

1. Які є способи нейтралізації?
2. Які реагенти застосовують для нейтралізації стічних вод?
3. Наведіть рівняння хімічної реакції нейтралізації стічних вод, які містять кислоти.
4. Які споруди входять до складу установок для нейтралізації виробничих стічних вод реагентним методом?
5. У яких випадках застосовується фільтраційний спосіб нейтралізації стічних вод?
6. У чому полягає сутність процесу електрофлотації? Які процеси протікають на електродах?
7. У чому полягає сутність процесу електрокоагуляції.
8. Які фактори впливають на процес розчинення анодів?

## **ЗМ 3 ВОДОПОСТАЧАННЯ І ВОДОВІДВЕДЕННЯ ДЕЯКИХ ВОДОЄМНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

### **9 ЗВОРОТНІ СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ**

#### **9.1 Використання води у зворотних системах водопостачання**

Найбільшого поширення зворотні схеми отримали в теплообмінних циклах, де технологічну воду використовують для відведення тепла від працюючих агрегатів, а після використання охолоджують в охолоджувачах і знову подають у систему.

Режим роботи зворотних систем дуже відрізняється від прямотечійних систем. Вода багаторазово підігрівається, охолоджується, випаровується, розбризкується та виноситься потоком повітря. Крім того, вода змінює свій хімічний склад внаслідок випаровування і підживлення свіжою водою.

Зворотні системи водопостачання є більш складними, порівняно з прямотечійними та послідовними, але дозволяють до мінімуму звести кількість води, що подається на майданчик підприємства з джерела та зменшити його



забруднення відпрацьованими водами, однак потрібно мати на увазі, що при цьому зростають безповоротні втрати води на підприємстві за рахунок додаткових втрат на випаровування, винесення, власні потреби очисних споруд, з осадом, продувкою системи та підживлення її, щоб уникнути наростання концентрації солей, завислих речовин та органічних сполук. Таким чином, у зворотних системах для освіження води завжди передбачається скидання певної частини її ( $Q_{ск} \neq 0$ ) за межі підприємства. Система зворотного водопостачання наповнюється водою на момент початкового пуску в експлуатацію або після ремонту. А потім кількість води підтримується постійною за рахунок поповнення втрат.

Вода в оборотному циклі водопостачання може нагріватись та забруднюватись. При оборотному водопостачанні воду після використання споживачем не скидають, а знову подають цьому ж споживачеві після тієї чи іншої обробки. Завдяки цьому загальна кількість води, що витрачається на одиницю продукції, залишається тією ж самою, а кількість свіжої води, що забирають з джерела, зменшується в 10–20 разів і становить 5–10 % кількості зворотної води (залежно від характеру виробничого процесу). Зазвичай воду, що повторно використовується, необхідно кожного разу охолоджувати, очищати, щоб вона відповідала технологічним вимогам.

Системи зворотного водопостачання дозволяють значно скоротити забір свіжої води та скоротити кількість стічних вод, що скидають у водойми. Однак у системах зворотного водопостачання, у яких використовують очищені й охолоджені води, здійснюють скид води у вигляді продувки, для того щоб підтримати сольовий вміст зворотної води на певному рівні. Однією з основних причин, що перешкоджають повному використанню забруднених або нагрітих стічних вод у звороті, є утворення щільних сольових відкладень по тракту руху води – в одних випадках, а також протікання корозійних процесів – в інших. Дуже часто ці обидва процеси відбуваються одночасно і нерозривно пов'язані. Таким чином, при переході на замкнений режим роботи виникає необхідність вивчення водно-сольового балансу систем зворотного водопостачання.

Переваги зворотних систем водопостачання порівняно з прямоточною системою:

- зменшуються розміри головних споруд і водоводів;
- зменшуються витрати електроенергії для подачі води від джерела до підприємства;

- зменшуються розміри колекторів скидної води;
- більша надійність (безперебійність) водопостачання, оскільки в цьому випадку завжди є деякий запас води на майданчику підприємства.

Недоліки зворотних систем:

- ускладнення системи водопостачання;
- необхідність у багатьох випадках застосовувати хімічну обробку води для запобігання корозії, боротьби з відкладеннями і біологічними обростаннями;
- збільшуються безповоротні втрати води.

Схему виробничого водопостачання обирають за результатами аналізу призначення води, що використовують, технічних і місцевих умов (наприклад, потужність джерела та якість води в ньому), відстані підприємства від джерела, санітарних вимог до скидання стічних вод.

## **9.2 Баланси води і солей у зворотних циклах водопостачання**

Водний режим у зворотних системах характеризується зміною якісних показників води і впливом її на споруди. Наприклад, у результаті випаровування в охолоджувачах частини води підвищується концентрація мінеральних солей, розчинених у циркуляційній воді систем зворотного водопостачання. При певних концентраціях солі тимчасової твердості (головним чином карбонат кальцію  $\text{CaCO}_3$ ) можуть випадати з неї в теплообмінниках, що різко знижує коефіцієнт теплопередачі та погіршує експлуатаційні показники.

Для запобігання випадінню солей твердості здійснюють продувку систем зворотного водопостачання. Продувка – це освіження циркулюючої води за рахунок скиду частини води, що призводить до зниження рівня забруднень циркулюючої в системі води. Втрата води з продувкою системи залежить від продуктивності системи зворотного водопостачання, карбонатної жорсткості води, що додається у систему, та способу її обробки. Для сучасних систем зворотного водопостачання втрата води з продувкою становить 1–3 % витрати циркулюючої в системі води.

Усі втрати води в системі зворотного водопостачання компенсуються підживленням за рахунок поповнення свіжою водою.

Стабілізація сольового складу відбувається за умови, якщо кількість солей, що виводяться з системи за рахунок продувки та в результаті бризко–

виносу води з охолоджувача, буде дорівнювати кількості солей, що надходять з водою, яка додається в систему.

Для будь-якої системи водопостачання повинен дотримуватись баланс води, що потрапляє в систему, та втраченої в системі.

$$\sum Q_{НАДХ} = \sum Q_{ВТР} \cdot \quad (9.1)$$

При проектуванні систем промислового водопостачання складають водний баланс, де вказують витрати води для всіх категорій споживачів і втрати води. Споживачів води згруповують за районами їх розташування, напором, якістю води. Потім складають схему використання води, де вказують витрати води, що надходять до споживачів та відводяться від них.

Робота систем зворотного водопостачання характеризується коефіцієнтом концентрування (випаровування) добре розчинних солей  $K_K$ .

Формула для визначення коефіцієнта концентрування добре розчинних солей через водний баланс має вигляд:

$$K_K = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{P_2 + P_3 + P_4}, \quad (9.2)$$

де  $P_1$  – втрати води, що відбуваються в системі в результаті випаровування;

$P_2$  – втрати води на краплинне винесення при охолодженні води;

$P_3$  – продувка системи;

$P_4$  – втрати води з системи, що відбуваються з інших причин (втрати води зі зневодненим шламом, втрати води при аваріях, переливи в результаті порушення режиму водопостачання тощо).

Усі величини втрат визначаються у відсотках від витрати циркулюючої у системі води.

Коефіцієнт випаровування добре розчинних солей характеризує ступінь замкненості системи зворотного водопостачання.

Випадком зворотної системи водопостачання є *замкнена система виробничого водопостачання*, коли скид відпрацьованої води за межі підприємства відсутній. Однак при такій системі дуже складно забезпечити стабільність води в оборотному циклі, суттєво зростають вимоги до якості підживлюючої (свіжої) води, доводиться застосовувати більш складні технологічні схеми очистки як свіжої, так і зворотної води на локальних очисних спорудах, ускладнюється експлуатація всієї системи водного господарства промислового підприємства, збільшуються безповоротні втрати води.

На сьогодні перспективними системами зворотного водопостачання є системи без продувки і закриті системи з охолодженням води у закритих теплообмінниках, що дозволяють суттєво скоротити забір свіжої води та надійно захистити водні об'єкти від забруднення. У зв'язку з цим дуже важливо зменшити кількість води, що втрачається на випаровування та крапельний винос при охолодженні води.

### **9.3 Умови багаторазового використання води в системах виробничого водопостачання**

*Вимоги до якості зворотної та додаткової води для теплообмінних процесів*

Вимоги до хімічного складу та інших показників якості зворотної води визначаються умовами використання її в конкретних технологічних процесах. Залежно від призначення води у виробництві та специфічних вимог, що пред'являються до її якості, можна особливо виділити і розглянути конкретні умови багаторазового використання технічної води для теплообмінних, енергетичних і численних та дуже різномірних технологічних процесів.

Вимоги до технічної води, що використовується в різних виробничих процесах, приймаються на підставі досвіду експлуатації, чинних нормативів та галузевих стандартів, а також задаються технологами виробництва.

**Теплообмінні процеси.** Найбільша кількість води в промисловості витрачається в теплообмінній апаратурі на відведення надлишкової кількості тепла. Лише на компенсацію втрат охолоджувальної води в зворотних системах водопостачання витрачаються десятки та сотні тисяч кубометрів води на добу. При використанні в зворотних системах охолодження багаторазове нагрівання її до 45–50 °С і подальше охолодження у відкритих охолоджувачах призводять до втрат діоксиду вуглецю та відкладення на поверхні теплообмінників та труб карбонату кальцію за реакцією



Основні вимоги зводяться до забезпечення високоефективної роботи теплообмінного обладнання. При цьому на поверхні охолоджуючих елементів не повинно виникати корозійних процесів і утворення сольових механічних або біологічних відкладень. Інакше будуть порушені умови теплопередачі, збільшаться енергетичні витрати, погіршаться експлуатаційні характеристики системи та буде відбуватися руйнування конструкційних матеріалів.

Термічний розпад бікарбонатів і підвищення концентрації солей, пов'язане з безперервним випаровуванням, інтенсифікує процес випадання їх з розчину й утворення твердого накипу на стінках котлів.

Найбільшу небезпеку становлять солі, розчинність яких зменшується з підвищенням температури: карбонат кальцію, сульфат кальцію, силікати магнію і кальцію. Присутність у воді інших солей, наприклад, хлориду, сульфіту, сульфату натрію, що створює рихлі відкладення при достатньо великій концентрації їх у воді, знижує розчинність солей кальцію і магнію, сприяє утворенню накипу.

За високої постійної твердості зворотної води, обумовленої вмістом розчинних солей кальцію ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$  тощо) випаровування води у зворотному циклі може призвести до перевищення розчинності карбонату кальцію (розчинність його зі зростанням температури зменшується) та утворення міцних карбонатних відкладень, видалення яких з труб та теплообмінників є надзвичайно складним завданням. Швидкість таких відкладень обмежується і має бути  $< 0,25 \text{ г/м}^2\cdot\text{год}$ . Тому основні параметри води, що багаторазово використовується для теплообмінних процесів, стосуються таких вимог:

- обмеження карбонатної та сульфатної твердості води для запобігання відкладенням (швидкість відкладень  $\leq 0,25 \text{ г/м}^2 \times \text{год}$  або  $0,08 \text{ мм/рік}$ );

- обмеження в підживлювальній і зворотній воді вмісту завислих речовин (крупна суспензія осаджується в трубках конденсаторів, ділянках трубопроводів у місцях поворотів, а дрібні мулисті і глинисті частинки суспензії, що самостійно не осідають у теплообмінній апаратурі, потрапляють до складу відкладень карбонату та сульфату кальцію, що утворюються, і тим самим підвищують їх міцність та інтенсифікують процес утворення карбонатних відкладень;

- граничний вміст солей не рекомендується допускати вище  $2000 \text{ г/м}^3$  за умови корозії трубопроводів та обладнання (допустима швидкість корозії  $\leq 0,09 \text{ г/м}^2 \times \text{год}$  або  $< 0,1 \text{ м/рік}$ );

- для запобігання інтенсивному біообростанню споруд та охолоджувальних апаратів теплообмінних зворотних систем водопостачання в зворотній та підживлювальній воді має бути обмежений вміст органічних речовин і сполук біогенних елементів (азоту та фосфору), що є живильним

середовищем для мікроорганізмів (допустима швидкість біообростань  $\leq 0,07 \text{ г/м}^2 \times \text{год}$ , а зростання товщини шару – не більш ніж 0,05 мм на місяць).

До якості охолоджувальної води зворотних систем різних галузей промисловості ставляться різні вимоги, встановлювані галузевими стандартами, але для найважливіших показників (карбонатна жорсткість, рН, ХПК, вміст біогенних елементів), що визначають термостабільність, корозійність води та інтенсивність біообростань у системах водопостачання, вони достатньо близькі. Незначні розбіжності є щодо загальної жорсткості, солемісту, концентрації завислих речовин.

Вимоги до якості охолоджуючої води при її комплексному використанні як середовища, яке поглинає і транспортує забруднення при безпосередньому зіткненні з продуктом (пиловловлення й очистка газів, гасіння коксу тощо) визначаються властивостями, видом, складом цього продукту, а також умовами використання води.

Температура води, як правило, має бути  $\leq 25\text{--}30 \text{ }^\circ\text{C}$ , завислі речовини  $\leq 150\text{--}200 \text{ мг/л}$ , запах до 4 балів, рН 7,2–8,5, поверхнево-активних речовин (ПАВ)  $\leq 15 \text{ мг/л}$ .

*Технологічні та енергетичні процеси.* Вимоги до води, що використовується для технологічних процесів, відрізняються значною різноманітністю. Для деяких виробничих процесів у хімічній, целюлозно–паперовій, електротехнічній, поліграфічній та інших галузях промисловості потрібна вода високої якості з жорсткими обмеженнями щодо вмісту завислих речовин, солей, окремих хімічних елементів або їх повної відсутності.

Якість води для підприємств теплоенергетики відображає специфіку цієї галузі, де більшу кількість води використовують для охолодження конденсаторів парових турбін, підживлення теплових мереж та інших потреб.

Підвищені вимоги порівняно з водою, яку використовують для охолодження, ставляться до води, яку використовують для живлення парових котлів (табл. 9.1). Вода має бути звільнена від завислих речовин, солей жорсткості та розчиненого кисню. Така вода, як правило, піддається пом'якшенню та частковому або глибокому знесоленню. Для котлів високого тиску недопустима присутність кремнієвої кислоти, яка сприяє утворенню щільних відкладень. Окисність води повинна бути у декілька разів нижчою ніж для систем охолодження.

Таблиця 9.1 – Вимоги до якості води для парових котлів різних типів

Показники якості води	Котли з тиском пари, кг/см <sup>2</sup>					
	5–15	15–25	25–30	50–100	100–185*	100–300**
Загальна твердість, мг-екв/л	0,35	0,15	0,05	0,035	0,005	0,003
Вміст: кремневої кислоти (за SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ), мг/л	Не нормується			0,02		
Кисню, мг/л	1	0,5	0,01	0,01	0,01	
Вільної вуглекислоти, мг/л	посліди			0,01		
Масел, мг/л	10	5	2	1	0,5	посліди
Натрієвих сполук (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), мг/л	Не нормується			0,02		
Заліза (за Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), мг/л	–	–	–	–	0,1	0,01
Міді (за CuO), мг/л	–	–	–	–	0,005	0,005
Нітратів і нітритів, мг/л	–	–	–	–	0,102	0,102
pH	–	–	>7	>7	7–8,5	7–8,5
* Котли барабанні.						
** Котли прямооточні.						

При використанні води для потреб паросилового господарства вона не повинна утворювати накипи, викликати корозію металу, спінюватися, призводити до забруднення пари і відкладення різних домішок на лопатках турбін. Використання жорсткої води призводить до утворення відкладень накипу на поверхні нагріву казанів, погіршує теплопередачу, викликає перегрів і прогар металу деталей у місцях утворення накипу, сприяє перевитраті палива, скорочує термін служби устаткування і призводить до аварій різної тяжкості.

Недопустимим є спінювання котлової води, що звичайно обумовлене присутністю фосфатів, лугів, нафтопродуктів, поверхнево-активних речовин і призводить до забруднення пари різними домішками і подальшого відкладення забруднень на лопатках турбін.

#### **9.4 Стабілізація іонного складу води в системах зворотного водопостачання**

Для підтримання стабільної якості технічної води під час експлуатації замкнених оборотних систем водопостачання промислових підприємств дуже важливо знати водно-сольовий баланс та динаміку зміни у використовуваній

воді концентрації окремих іонів та загального солемісту. Підвищення концентрації солей може спричинити:

- процеси корозії теплообмінних систем та комунікацій;
- утворення сольових відкладень;
- порушення технологічного процесу.

Залежно від якості вихідної води та вимог, що ставляться до якості споживаної води, частина загальної витрати зворотної води може піддаватися обробці (пом'якшуванню, знесолюванню, видаленню суспензій тощо) з подальшим поверненням її в систему.

При стабільності зворотної води зберігається рівність коефіцієнтів упарювання, визначених за поступовим збільшенням у зворотній воді концентрацій різних іонів.

За відсутності виділення солей жорсткості у зворотній системі водопостачання загальний солеміст визначається за коефіцієнтом упарювання:

$$C_{зв} = K_y \cdot C_{п}, \quad (9.3)$$

де  $C_{п}$  – загальний солеміст підживлювальної води, мг/л.

Приріст концентрації хлоридів у зворотній системі:

$$X = X_{зв} - X_{п}, \quad (9.4)$$

де  $X_{зв}$  і  $X_{п}$  – вміст хлоридів у зворотній і підживлювальній воді, мг/л.

Стабілізація зворотної води, що в звичайних зворотних системах водопостачання досягається продувкою.

У замкнутих системах стабілізація сольового та іонного складу здійснюється тільки за рахунок підживлювальної води та стабілізаційної витрати.

Підживлювальна вода надходить на майданчик підприємства для компенсації безповоротних втрат на випаровування, винесення та виробничі потреби і вимагає більш глибокої водопідготовки, ніж у звичайних оборотних системах. У зв'язку з відсутністю продувки системи (скиду частини води) із заміною частини оборотної води свіжою водою в замкнених системах водопостачання частина оборотної води тимчасово виводиться із системи для коригування її мінерального складу (вмісту суспензії, солей та окремих іонів) і повертається потім в оборотний цикл окремо або спільно з підживлювальною водою. Ця частина оборотної води, що тимчасово виводиться із системи, називається стабілізаційною витратою.



Підживлювальна вода при замкненому зворотному водопостачанні становить суміш свіжої (зазвичай освітленої та пом'якшеної) води і стабілізаційної витрати. Іонний склад її визначається складом і об'ємним співвідношенням обох компонентів суміші:

$$C_{\text{д.}} = \frac{C_{\text{зм.}}(P_1 + P_2) + C_{\text{стаб.в.}}P_1}{P_1 + P_2 + P_3}, \quad (9.5)$$

де  $C_{\text{стаб.в.}}$  – іонний склад води *стабілізуючої витрати* (після іонообмінного коректування мінерального складу та освітлення);

$C_{\text{зм.}}$  – іонний склад пом'якшеної підживлювальної води.

Для попередніх розрахунків величину  $P_3$  приймають 0,2–0,5 % і потім уточнюють за формулою:

$$P_3 = \frac{C_{\text{д.}}K \cdot \Delta t - \Delta C \cdot P_2}{\Delta C}. \quad (9.6)$$

де  $C_{\text{д.}}$  – солевміст у підживлювальній воді, мг/л;

$\Delta C = C_{\text{зв.}} - C_{\text{д.}}$  – збільшення солевмісту у зворотній воді внаслідок випаровування.

Критерієм задовільної якості зворотної води є відповідність загального солевмісту й окремих іонів гранично допустимим концентраціям, перевищення яких призводить до інтенсивної корозії або до інкрустації теплообмінних поверхонь трубопроводів і арматури. Гранично допустима концентрація  $\text{CaCO}_3$  визначається його розчинністю при температурі зворотної води.

Прогнозування сольового складу й концентрації солей зворотної води має важливе значення при оцінюванні корозійного впливу дії на метал теплообмінної апаратури й комунікацій, а також при оцінюванні можливості відкладення солей жорсткості на теплообмінних поверхнях.

#### *Прояснення підживлювальної води і стабілізаційної витрати*

Основним джерелом накопичення завислих речовин у зворотній воді є суспензії природних вод, що використовують для підживлення систем водопостачання.

Одним з основних заходів, що забезпечують стабільність вмісту завислих речовин у зворотній воді, є фільтрування частини зворотної води в кожному циклі. Найдоцільніше в замкнених системах зворотного водопостачання цей процес поєднувати з коректуванням мінерального складу стабілізаційної витрати. У замкнених системах, що працюють, як правило, з високим коефіцієнтом упарювання, необхідно здійснювати ретельне освітлення свіжої підживлювальної води на сумісних станціях прояснення-пом'якшення.

Необхідний ступінь освітлення підживлювальної води оцінюється величиною підживлення та балансом завислих речовин:

$$B_1 = \frac{Q_1 \cdot B_{зв} - P_1 \cdot B_{зв} - \sum Q_{вент} \cdot B_2}{P_1 + P_2 + P_3} \quad (9.7)$$

де  $B_1$  – кількість суспензії, що видаляється при освітленні підживлювальної води, г/м<sup>3</sup>;

$Q$  – продуктивність системи оборотного водопостачання, м<sup>3</sup>/год;

$Q_{в}$  – продуктивність вентиляторів градирень (по повітрю), м<sup>3</sup>/год;

$B_{зв}$  – допустима концентрація завислих речовин у системі зворотного водопостачання (зазвичай приймається 40–50 г/м<sup>3</sup>, іноді 12–15 г/м<sup>3</sup>);

$B_2$  – концентрація пилу повітря (зазвичай 1–3,5 г/м<sup>3</sup>);

$P_1, P_2$  – втрати води із системи оборотного водопостачання, м<sup>3</sup>/год;

$P_3$  – стабілізаційна витрата, м<sup>3</sup>/год, визначена за умовами збереження допустимої концентрації завислих речовин.

Для прояснення підживлюючої, а в низці випадків і зворотної води передбачають одно- або двоступінчасту обробку її з коагуляцією. У таких випадках процес виділення карбонату кальцію і магнію після обробки води реагентами (вапно, аміак) переноситься на споруди прояснення. Найбільш характерними спорудами для прояснення і хімічної обробки річкової води є вихрові реактори, заповнені контактною масою, коридорні освітлювачі зі зваженим шаром осаду, грубозернисті кварцові фільтри або фільтри КФ-5.

Одночасно з освітленням відбувається пом'якшення води за рахунок аміаку, що подається на споруди, або вапна. Ці реагенти вводять на початку процесу вихрові реактори. Для укрупнення завислих речовин та кристалізації карбонату кальцію та магнію після вихрових реакторів воду коагулюють хлорним чи сірчаноокислим залізом.

#### *Питання для самоперевірки*

1. Що таке система оборотного водопостачання і в чому її переваги перед прямотечійною системою водокористування?

2. Як визначають кількість підживлювальної води в системі оборотного водопостачання?

3. Для чого необхідна продувка в системах зворотного водопостачання?

4. Як здійснюють стабілізацію зворотної води в замкнених системах без продувки?

5. Які методи застосовують для корегування мінерального складу води у зворотних системах? Чи достатньо тільки реагентного пом'якшення води?

6. Як визначають іонний склад підживлювальної води при замкненому зворотному водопостачанні?

7. Що характеризує коефіцієнт упарювання? Наведіть формулу для його розрахунку.

## **10 ПІДГОТОВКА ВОДИ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ**

### **10.1 Основні споживачі води на підприємствах теплоенергетики**

До підприємств теплоенергетики належать конденсаційні електростанції (КЕС), що виробляють в основному електричну енергію, і електростанції, що виробляють електричну і теплову енергію (ТЕЦ). Електроенергію виробляють електрогенератори, які приводяться в дію паровими і газовими турбінами.

Теплоенергетичні установки безперервно споживають значну кількість води високої якості. Постійна потреба теплових електростанцій, теплоелектроцентралей, котелень у підтримці водного балансу обумовлена наявністю технологічних втрат води і пари, неможливістю повної регенерації всіх видів теплоносія, у тому числі і наявністю незворотних споживачів пари і гарячої води. Зниження якості обробки води призводить до погіршення експлуатаційних, екологічних та економічних показників роботи енергетичних підприємств.

Витрати води на електростанціях можуть доходити, залежно від їх потужності, до  $100 \text{ м}^3/\text{с}$ . Відпрацьована пара після парових турбін конденсується, а конденсат знову направляєється на отримання пари високого тиску). На ТЕЦ більша частина пари після турбін надходить не в конденсатори, а направляєється в бойлери – апарати для приготування гарячої води, яка йде в мережу теплофікації і гарячого водопостачання.

Найпростіша конденсаційна станція (рис. 10.1) передбачає паровий котел (1), з якого пара потрапляє на турбіну (2). Турбіна своєю чергою обертає електричний генератор (3). Відпрацьований пар потрапляє в конденсатор (4), куди насосом (5) подається охолоджуюча вода, яка має свій замкнений цикл із охолоджувальним пристроєм та відповідною хімічною обробкою води. Конденсат перекачується в бак живильної води (6). У бак подається додатково свіжа очищена і знесолена вода. Необхідна кількість води подається в котел живильним насосом (9).

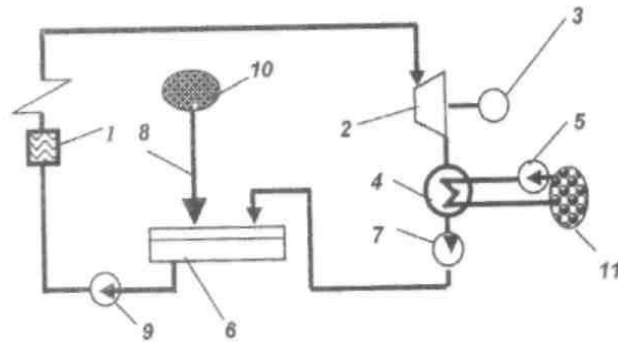


Рисунок 10.1 – Схема конденсаційної електростанції:

*1 – паровий котел; 2 – турбіна; 3 – електричний генератор;  
4 – конденсатор; 5 – циркуляційний насос; 6 – бак живильної води з  
деаераційною колонкою; 7 – конденсатний насос; 8 – подача додаткової  
(знесоленої) води; 9 – живильний насос; 10 – установка підготовки  
додаткової води; 11 – охолоджувальний пристрій*

Вода в робочому циклі електростанції постійно контактує з металевими частинами котла, парової турбіни, конденсатора. При цьому може проходити виділення розчинених у воді домішок та проходити хімічна взаємодія води з металом. У результаті на поверхні елементів котла та турбіни з'являються сольові відкладення – накип, у воді з'являється завись – шлам, який може відкладатися в місцях з більш спокійним потоком води, з утворенням вторинного накипу, поверхня металу роз'їдається – проходить корозія, міцність металу зменшується.

Крім того, наявність у воді зависі призводить до додаткового виносу краплинок котлової води, яку потім потрібно відновлювати. Для попередження вказаних явищ треба дотримуватись нормального водного режиму, який передбачає забезпечення певних якісних показників: прозорість (каламутність, кольоровість), лужність, жорсткість, солевміст, вміст кремнію, вміст розчинених газів, рН води.

Безперервне випаровування у котлі води призводить до поступового накопичення у котловій воді солей. Відповідно починає збільшуватись солевміст в парі, вода в котлі починає спінюватись.

На теплофікаційній електростанції є такий самий водяний контур, як і на конденсаційній, але частина пари знімається з парової турбіни і подається різним споживачам, відпрацьований конденсат збирається в збірнику та насосом повертається в живильний бак. Таким чином утворюється другий водяний контур.

Основними споживачами води на підприємствах теплоенергетики є системи: генерації пари в котлах, охолодження, паропостачання, гідравлічного видалення золи й шлаку на ТЕС, які працюють на твердому паливі.

Використання води в кожній з указаних систем характеризується своїми особливостями, тож пред'являються специфічні вимоги до хімічних і санітарно-бактеріологічних показників складу води, яку використовують.

Переважна частина споживання води в теплоенергетиці припадає на охолодження конденсаторів парових турбін (до 90 % загальної витрати).

Окрім конденсаторів парових турбін вода використовується для охолодження повітроохолоджувачів та газоохолоджувачів генераторів живильних турбонасосів, маслоохолоджувачів систем змащення механізмів, золовидалення, а також для живлення і продувки котлів.

Найбільш водоемкими споживачами води на ТЕС є системи водяного охолодження конденсаторів парових турбін. Кількість охолоджуючої води, необхідної для відведення теплоти, для конденсації пари й інших потреб, наприклад, на конденсаційних станціях потужністю 2 400 МВт становить 250–300 тис. м<sup>3</sup>/год. Для конденсації 1 т відпрацьованої в турбіні пари витрачають залежно від пори року 50–60 т води, а, наприклад, на ТЕС потужністю 4 000 МВт виробляється за 1 годину близько 13 000 т пари.

Крім охолоджуючих систем у теплоенергетиці є споживачі хімічно обробленої води, які пред'являють до неї свої вимоги (відповідно до встановлених нормативів). Таким споживачам води ставлять парові котли, випарники, пароутворювачі, теплові мережі із закритою або відкритою системою теплопостачання (включаючи водогрійні котли).

## **10.2 Системи охолодження конденсаторів**

Теплові та атомні електричні станції є великими споживачами води, основна кількість якої надходить у конденсатори парових турбін для конденсації пари, що відпрацювала.

У середньому для конденсації 1 т пари, що відпрацювала в турбіні, залежно від пори року, доводиться витратити 50–60 т охолоджуючої води.

Крім того, значна кількість води підводиться до повітро- або газоохолоджувачів електрогенераторів, повітроохолоджувачів, живильних електронасосів, маслоохолоджувачів турбін та допоміжного обладнання, до систем охолодження підшипників і обертових механізмів.

Сумарна витрата технічної води на ТЕС та АЕС залежить від потужності станції, типу встановленого обладнання, кратності охолодження пари, температури охолоджуючої води. Питома витрата охолоджуючої води на 1 кВт встановленої потужності тим менша, чим вище початкові параметри пари і чим більша одинична потужність турбін.

Основна частина природної води, споживаної на ТЕС, використовується в системах охолодження для конденсації пари. Вибір типу системи охолодження здійснюється на основі техніко-економічного розрахунку залежно від технологічних вимог до температури охолодженої води, кліматичних умов, району розташування, умов майданчика будівництва.

При проєктуванні ТЕС та АЕС системи технічного водопостачання обираються залежно від характеристики джерела водопостачання, типу електростанції та загальної витрати охолоджуючої води.

Для охолодження конденсаторів використовуються прямоточні системи при наявності водотоків з великим дебітом води або оборотні системи двох типів:

- зі ставками-охолоджувачами;
- із градирнями або бризкальними басейнами.

Оборотна схема водопостачання ТЕС характеризується багаторазовим використанням охолодної води. При оборотній системі охолодження вода проходить через конденсатор багаторазово. Охолодження нагрітої води, яка покидає конденсатор, здійснюється за рахунок її часткового випаровування.

В оборотній схемі дуже важливо забезпечити необхідний хімічний склад охолоджуючої води, для того щоб знизити або повністю виключити небезпечність утворення щільних сольових відкладень та корозійний знос металу, з якого виготовлені конденсатори.

Найбільш поширеним методом стабілізації охолоджуючої води є продувка систем водяного охолодження, тобто відвід частини оборотної води із заміною її свіжою. При продувці знижуються концентрації усіх домішок, у тому числі хлоридів та сульфатів, що сприяє послабленню процесів корозії в оборотній системі охолодження. Зазвичай стабілізацію води проводять разом із обробкою води хімічними реагентами. До хімічних методів обробки охолоджуючої води відносяться підкислення, рекарбонізація, фосфатування.

### **10.3 Значення водопідготовки для систем водопостачання підприємств теплоенергетики**

Системи водопідготовки та очищення води є важливим елементом підприємств теплоенергетики, оскільки від якості води, що надходить на живлення котлів, залежить надійність і ефективність їх роботи.

Вода в робочому циклі електростанції постійно контактує з металевими частинами котла, парової турбіни, конденсатора. При цьому може проходити виділення розчинених у воді домішок та проходити хімічна взаємодія води з металом.

Розчинені у воді домішки можуть стати причиною серйозних неполадок у роботі енергетичного обладнання: утворення накипних відкладень, корозії системи, спінювання котлової води та винесення солей з паром. Як наслідок, устаткування теплової установки виходить з ладу, знижується ефективність і стабільності роботи котла. Для попередження вказаних явищ потрібно дотримуватись нормального водного режиму, який передбачає забезпечення певних якісних показників.

Електростанції працюють на високих і надвисоких параметрах пари: тиск пари 130–240 атм. (13–24 МПа), температура пара 535–565 °С .

Безперервне випаровування у котлі води призводить до поступового накопичення у котловій воді солей. Відповідно починає збільшуватись солевміст у парі, вода в котлі починає спінюватись, частина її виноситься паром, тим самим ще більше збільшуючи солевміст у ньому.

Устаткування сучасних електростанцій експлуатується при високих теплових навантаженнях, що вимагає жорсткого обмеження товщини відкладень на поверхнях нагріву за умовами температурного режиму їх металу. Такі відкладення утворюються з домішок, що надходять у цикли електростанцій, зокрема з додатковою водою, тому забезпечення високої якості водних теплоносіїв електростанції є найважливішим завданням. Використання водного теплоносія високої якості спрощує також вирішення завдань одержання чистої пари, мінімізації швидкостей корозії конструктивних матеріалів котлів, турбін та устаткування конденсатно-живильного тракту.

На електростанціях водопідготовка складається з окремих циклів фізико-хімічної, хімічної обробки води, охолодження води. При цьому за якісними показниками вода поділяється на:

- вихідну, яка забирається з природного джерела;

- додаткову живильну – воду, яка компенсує втрати води і пари у пароводяному циклі;
- живильну – воду, що подається в котли і є сумішшю конденсату турбін, теплофікаційних підігрівачів, зворотного конденсату зовнішніх споживачів пари;
- котлову – воду в котлах, паропереутворювачах, випарниках;
- продувочну воду – воду, яку виводять з котлів, паропереутворювачів, випаровувачів для підтримання в них певної концентрації домішок.
- охолоджувальну – воду, яку подають у конденсатори для конденсації відпрацьованої пари.
- підживлювальну – воду, яку подають в теплофікаційну мережу для поповнення втрат циркулюючої води в мережах.

Вимоги до води, що використовується для роботи котельного обладнання, є дуже високими. Вони встановлені «Правилами будови і безпечної експлуатації теплових і водогрійних котлів» або вимогами виробників котельного обладнання. Регламентується прозорість води, її твердість, вміст заліза і міді, кількість розчиненого у воді кисню, значення рН, вміст нафтопродуктів.

Солі твердості становлять особливу небезпеку у водонагрівальних процесах. Вони утворюють на поверхні устаткування й нагрівальних елементів щільний наліт, що важко виводиться, а з часом – і міцні вапняні нарости (накип). Від цього знижується теплопровідність елементів, що поступово призводить до збільшення паливних або енергетичних витрат, перегріву устаткування, передчасних поломок та аварійних ситуацій, наприклад, вибуху котлів.

Як вже було зазначено, однією з основних задач безпечної експлуатації котельних установок є організація раціонального водного режиму, при якому здійснюється безнакипний режим, відсутня корозія поверхней нагріву.

Для задоволення різноманітних вимог до якості води, споживаної при виробленні електричної й теплової енергії, виникає необхідність її спеціальної фізико-хімічної обробки – хімводоочистки (ХВО).

Технологічні схеми прояснення та знебарвлення води можуть передбачати хімічну обробку води для часткового пом'якшення, зниження окислюваності, лужності, видалення вільної вуглекислоти, знесолення, передбачається також додаткове вапнування на попередньому етапі. На стадії хімічної обробки



передбачається остаточне доведення показників до нормативних за рахунок Na-катіонування, H-катіонування, H-Na-катіонування, аніонування (заміна певних іонів у вихідній воді), термічне знесолення.

Загалом вибір схеми хімічної водопідготовки залежить від якості вихідної води та типу парових котлів.

У прямотечійних котлах великої продуктивності передбачаються високі, надвисокі, критичні та закритичні параметри пари, вода в них повністю випаровується, а тому вимоги до додаткової води більш високі, схеми водопідготовки повинні передбачати повне знесолення, знекремнення. Барабанні котли допускають певну концентрацію легкокорозійних солей натрію в котловій воді, а тому додаткова вода повинна бути пом'якшена, при цьому ступінь пом'якшення тим більший, чим більший тиск у котлі.

До складу основного обладнання попередньої очистки входять: прояснювачі, напірні прояснювальні горизонтальні або вертикальні фільтри, реагентні господарства зі складами для приймання і зберігання реагентів, обладнанням для приготування і дозування робочих розчинів коагулянтів і флокулянтів ( $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeSO_4$ ,  $CaO$ ,  $Na_2CO_3$ ).

#### *Питання для самоперевірки*

1. Основні споживачі води на підприємствах теплоенергетики.
2. Прямотечійні та оборотні системи охолодження конденсаторів.
3. Які прийоми застосовують для дуже важливого забезпечення необхідного хімічного складу охолоджуючої води в оборотних системах?
4. Основні завдання водопідготовки.

## **11 ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

### **11.1 Джерела утворення стічних вод. Основні види забруднень**

Виробничі стічні води у харчовій промисловості утворюються в результаті технологічних процесів при виготовленні продукції. Якісні характеристики вод обумовлені такими факторами: характером виробництва та складом сировини, режимами технологічних процесів.

Реалізація технологій харчових продуктів супроводжується утворенням значної кількості скидів стічних вод, до яких переходить близько третини

перероблюваної сировини, а концентрація забруднюючих компонентів у них у десятки разів більша, ніж у господарсько-побутових стоках.

Виробничі стічні води утворюються внаслідок різних технологічних операцій: миття сировини, устаткування та різних ємностей, прибирання виробничих приміщень.

Стічні води підприємств харчової промисловості відносяться до категорії висококонцентрованих і мають нестабільні за якістю і кількістю показники. Це складні полідисперсні системи, які містять різні за своєю природою забруднення залежно від типу виробництва: жир, молоко, луску, шерсть, кров, солі, мінеральні нерозчинні домішки, миючі засоби тощо. Утворені стічні води містять агрегативно-стійкі колоїди, до складу яких входять тваринні і рослинні жири, білки, крохмаль, цукор, а також солі, вуглеводи, барвники, згущувачі, консерванти.

Стоки харчової промисловості характеризуються високими показниками БПК, ХПК, завислих речовин, жирів тощо, які ускладнюють роботу каналізаційних мереж, насосних станцій та очисних споруд, призводять до утворення відкладень на поверхнях труб і очисних споруд, забивання прорізей решіток, налипання на лопастях насосів, загнивання, що супроводжується утворенням газів, корозійними явищами тощо. Стоки з нерівномірним режимом водовідведення у багатьох випадках характеризуються різкою зміною рН і температури.

Агрегатний стан домішок, які надходять у стічні води, може змінюватись залежно від складу і співвідношення наявних забруднень, рН і ступеня розбавлення.

Емульговані жири, що містяться в стічних водах: утворюють плівку на поверхні пластівців активного мулу або біоплівки; зменшують масопередачу субстрату, кисню і продуктів біохімічних реакцій; викликають спухання активного мулу; сприяють розвитку нитчастих мікроорганізмів.

Відповідно до нормативів, усі підприємства, що будуються, зобов'язані мати власні очисні споруди (локальні очисні споруди) для очистки промислових стоків до норм скидання в централізовану систему каналізації або глибшого очищення до норм скидання у водойму рибогосподарського призначення.

При цьому використовується як фізико-хімічний метод обробки (наприклад, флотація із введенням реагентів), так і біологічна обробка.

### *Склад забруднень СВ молокозаводів та молокопереробних підприємств.*

Стічні води молокопереробних підприємств відносяться до категорії висококонцентрованих стічних вод нестабільного складу. На підприємствах молочної промисловості утворюються два види виробничих стічних вод: забруднені і незабруднені. Забруднені стічні води утворюються під час миття обладнання, технологічних трубопроводів, цистерн, склотари, панелей виробничих приміщень. Незабруднені стічні води (БПК<sub>5</sub> близько 20 мг/дм<sup>3</sup>) утворюються при охолодженні молока і молочних продуктів та обладнання, і зазвичай ці стічні води направляють у систему оборотного водопостачання або повторно використовують для миття обладнання, тари й інших цілей.

Забруднення виробничих стічних вод на підприємствах молочної промисловості складаються із втрат молока і молочної продукції, відходів виробництва, реагентів, що застосовують при митті тари, домішок, що змиваються з поверхні тари, обладнання. Стоки містять багато органічних речовин, зокрема нерозчинні пластівці білкових сполук, які швидко загнивають, частинки жиру, розчинний молочний цукор, розчинні білкові речовини, хлориди, миючі та дезінфікуючі засоби.

Для молокозаводів та молокопереробних підприємств характерна нерівномірність відведення стічних вод. Наприклад, коефіцієнт годинної нерівномірності для молокозаводів становить 1,7–1,9, а для маслозаводів – 1,9–2,0.

Стічні води підприємств молочної галузі характеризуються різкими коливаннями рН протягом доби, що пояснюється почерговим використанням для миття технологічного обладнання кислих та лужних миючих розчинів. У першому випадку рН знижується до 2–3, що викликає швидкий гідроліз органічних забруднень продуктів молокопереробки з утворенням органічних кислот, а в другому – досягає 9–11.

Надходження забруднень протягом доби носить нерівномірний характер. Наприклад, у процесі промивання технологічного обладнання, концентрації забруднень зростають у 2,5–4 рази порівняно з їхніми середньодобовими величинами.

До основних забруднюючих компонентів стічних вод молочної промисловості також відносяться забруднення неорганічного походження, сполуки яких застосовують як у технологічному процесі, так і для стерилізації й миття устаткування, миючі засоби становлять у середньому

15 % від забруднюючих речовин (розчини кальцинованої соди, хлорного вапна, кислот). Наявність у воді високих концентрацій хлоридів пов'язана також із застосуванням  $NaCl$  для просолювання сиру (сироварні заводи).

Завислі речовини стічних вод молочних заводів представлені частинками твердих продуктів переробки молока (шматочки сиру, молочні плівки, сирне зерно тощо) та іншими домішками, що потрапляють у каналізацію під час миття технологічного обладнання, тари, виробничих приміщень.

За даними, отриманими на підставі результатів хімічних аналізів стічних вод десяти молокопереробних заводів України, стічні води характеризуються такими показниками: рН – 6,5–7,5, завислі речовини – 300–500 мг/л, вміст жирів – 100–200 мг/л, значення ХПК – 1 000–3 000 мг/л, БПК – 800–2 400 мг/л. Склад стічних вод нестабільний та протягом доби значно змінюється. Стічні води із вмістом органічних речовин, що відповідають ХПК 3 000 мг/л (в окремих випадках ХПК може досягати 5 000 мг/л), потрібно розглядати як залповий скид, що становить значну небезпеку для очисних споруд.

Вміст загального азоту в стічних водах міських молочних заводів, молочноконсервних комбінатів, олійних заводів становить 50–60 мг/л, сироварних заводів – 90 мг/л, концентрація фосфору становить 8–16 мг/л.

*Утворення та склад забруднень стічних вод м'ясопереробних підприємств.* На м'ясокомбінатах виробничий процес полягає в утримуванні й забої худоби, переробці туш на м'ясо й різні продукти. Споживана при цьому вода забруднюється органічними домішками тваринного походження: жиром, кров'ю, канигою, гноєм, шматочками тканин, волоссям, залишками кісток.

Стічні води м'ясопереробних підприємств містять кров, м'язові і жирові тканини, гній, землю, пісок, бруд і залишки нутрощів, спеції і дезінфікуючі речовини, які використовуються у виробництві. Вони висококонцентровані за ХСК, БСК<sub>повн</sub>, вмістом завислих речовин і жирів, мають підвищений вміст біогенних елементів, нейтральні значення рН, температуру в межах 20–30 °С, у них відсутні токсичні домішки, а забруднення перебувають у грубодисперсній, колоїдній і розчинній формах. Усе це вимагає попередньої очистки стічних вод, без якої вони не можуть бути спрямовані на міські очисні споруди, природні водойми, оскільки викликають порушення нормального перебігу процесу біологічної очистки.

Надходження на біологічні очисні споруди стічних вод з високим вмістом завислих органічних речовин може призвести до порушення кисневого режиму в споруді, а також до зміни концентрації іонів водню, що супроводжується

значним підкисленням середовища, що може викликати видові зміни мікрофлори, збільшити муловий індекс і призвести до виносу активного мулу з очисних споруд.

Жири, які містяться у стічних водах, чинять негативний вплив на каналізаційну систему (замулювання трубопроводів, порушення режиму роботи очисних споруд).

Виробничі стічні води м'ясокомбінатів також відносяться до категорії висококонцентрованих за вмістом органічних забруднень, що не тільки не дозволяє скидати їх у водні об'єкти, а й передавати на комунальні і навіть власні споруди біологічної очистки без попередньої обробки. Цим досягається захист каналізаційних мереж від засмічення, а також можливість вилучення і повернення до виробництва компонентів сировини (жиру і білка), яке було віднесено стоками.

Особливостями стічних вод м'ясної промисловості є їхня багатоконпонентність, полідисперсність внаслідок вмісту різних забруднень органічного й неорганічного характеру у вигляді частинок різних розмірів, що перебувають у розчиненому, завислому, а також емульгованому стані.

Для м'ясопереробних підприємств характерним є коливання якісного складу, нерівномірність надходження на очисні споруди.

Стічні води м'ясної промисловості містять значну кількість органічних речовин тваринного походження, у зв'язку з чим швидко загнивають і набувають неприємного гнильного запаху. Їхньою особливістю є наявність бактеріального забруднення.

## **11.2 Загальна характеристика методів очищення стічних вод харчової промисловості**

Складний вміст компонентів стоків підприємств харчової промисловості обумовлює багатостадійність технологічних схем очищення.

Очищення стічних вод може виконуватися за різними схемами, які забезпечують різну ефективність очищення. Усі сучасні методи очищення стічних вод, які використовуються, поділяють на: механічні, фізико-хімічні, хімічні, біологічні (біохімічні). Окрім того, для знищення бактеріального забруднення використовують знезараження стічних вод. Залежно від місця скиду (водойми рибогосподарського призначення) використовують різні схеми очищення стічних вод.

Вибір методу здійснюється залежно від якісної характеристики стічних вод, що очищаються, і ступеня дисперсності вилучених домішок.

Наявність у стічних водах високих концентрацій емульсованих частинок жиру, СПАР, високомолекулярних колоїдно-розчинених органічних (білків) та неорганічних (поліфосфатів) речовин обумовлює утворення стійких колоїдних систем. Вилучення диспергованих, колоїдних і розчинених домішок при попередньому очищенні стічних вод можна здійснити в результаті їх прилипання до бульбашок газу, що утворюються в рідині або вводяться в неї, при застосуванні флотаційних методів: напірної флотації з попередньою коагуляцією або без неї, електрофлотації, електрфлотокоагуляції.

Технологічні схеми очистки стічних вод м'ясопереробних підприємств передбачають у випадку скиду очищених стічних вод у міську каналізацію: вилучення крупних забруднень на решітках, піску та інших важких мінеральних домішок – у піскоуловлювачах, основної маси завислих речовин і жирів – у відстійниках-флотаторах і далі – біологічну очистку в аеротенках-відстійниках.

У випадку скиду очищених стічних вод у відкриту водойму: вилучення крупних відходів на решітках, піску та інших важких мінеральних домішок – в тангенційних піскоуловлювачах, основної маси завислих речовин і жирів – у відстійниках-флотаторах, повну біологічну очистку у двоступінчастих аеротенках і доочистку на фільтрах. Доочищені стічні води піддаються знезаражуванню.

### **11.3 Локальна очистка стічних вод харчової промисловості**

Для м'ясопереробних, молочних, пивоварних підприємств, спиртових заводів характерна висока водоемність та відсутність досконалих очисних споруд, і як наслідок – відбувається забруднення прилеглих водойм стоками, що утворюються в процесі виробництва продукції. Тому для безпечного скидання подібних стоків у каналізаційну мережу потрібна наявність на території підприємства локальних очисних споруд, що забезпечують очищення стічних вод від жиру, суспензій та інших забруднень.

В Україні більшість підприємств харчової промисловості не мають власних споруд для очищення стічних вод і скидають стічні води на міські очисні споруди, викликаючи значні порушення в їх роботі. Надходження стічних вод з високими концентраціями органічних речовин, що легко розкладаються, на міські очисні споруди, зокрема в невеликих населених

пунктах, призводить до їх перевантаження і порушень в роботі аеротенків: до порушення кисневого режиму, зміни рН, яке часто супроводжується значним підкисленням середовища, до масового розвитку в активному мулі нитчастих форм бактерій, збільшення мулового індексу, спухання активного мулу і виносу мулу з відстійників, погіршення якості очищення.

Необхідність попереднього очищення на внутрішньомайданних локальних очисних спорудах може виникнути незалежно від того, чи підприємства скидають стічні води в каналізацію населеного пункту, чи направляють їх на власну станцію біологічного очищення (при самостійній каналізації підприємства).

### **Локальна очистка стоків м'ясопереробних підприємств**

Першим і одним з найважливіших етапів очищення промислових стоків, зокрема м'ясокомбінатів, є механічне очищення, яке полягає у видаленні жиру, дрібних і великих включень, що попадають у стоки від процесів виробництва. Дуже важливим показником якості роботи такого вузла локальних очисних споруд є повне запобігання потрапляння твердих включень розміром більше 2–3 мм, а також волокон у подальші вузли очисних споруд, оскільки такі домішки можуть знизити ефективність роботи споруд фізико-хімічного очищення, наприклад призвести до збільшення витрат реагентів на установках напірної флотації або дестабілізувати роботу споруд біологічного очищення.

До крупних відходів, які містяться у стічних водах м'ясопереробних підприємств, відносяться конфіскати, осколки костей, копит, фрагменти м'язових і жирових тканин, гній, обрізки тощо. Внаслідок наявності у стічних водах великої кількості жирів поверхня стержнів решіток швидко за жирюється. Це сприяє налипанню і намотуванню на їх поверхню забруднень та засміченню, що робить недоцільним застосування решіток із прозорами менше 16 мм.

При проектуванні вузла механічного очищення або проведенні реконструкції, переобладнання локальних очисних споруд (ЛОС) виробничих стоків м'ясокомбінатів необхідно враховувати не тільки наявність механічних решіток для затримання неоднорідних за розміром і морфологією домішок і волокнистих включень, але й брати до уваги принцип дії решітки, тип отворів, механізм видалення забруднень (домішок). Наразі на вітчизняному ринку представлено безліч механічних решіток для очищення промислових стічних вод як зарубіжного, так і вітчизняного виробництва, велика кількість установок з різних матеріалів, різного принципу роботи тощо.

Важливими показниками є стабільність роботи решітки в умовах великого навантаження завислими речовинами та жирами, а також доступність та ступінь автоматизації системи промивок: «холодна» – для швидкого очищення від затриманих домішок, «гаряча» – для видалення нерозчинених жирів, що налипають на отвори та знижують продуктивність системи. Отриманий досвід дозволяє рекомендувати решітки з внутрішньою подачею для механічного очищення стічних вод підприємств м'ясної промисловості – м'ясокомбінатів, птахофабрик, цехів для м'ясних напівфабрикатів.

Найбільш ефективним методом видалення жирів та завислих речовин зі стічних вод м'ясопереробних підприємств є флотація. Найкращі результати досягаються при застосуванні напірної флотації з попередньою коагуляцією, але цей метод потребує значної витрати реагентів, призводить до утворення великої кількості осадів. Застосування імпульсної флотації забезпечує найменшу ефективність серед усіх методів флотації. Електрофлотація, електрокоагуляція потребують значних витрат електроенергії.

#### **Локальне очищення стічних вод підприємств молочної промисловості**

До методів локальної очистки жировмісних стічних вод молочної промисловості відносяться: механічні, хімічні, фізико-хімічні, електрохімічні.

Традиційно використовуються методи відстоювання, флотації, коагуляції. При відстоюванні стічних вод видаляються великі частинки жиру та інші завислі речовини.

Використання для попереднього очищення стічних вод молокозаводів фізико-хімічних методів реагентної флотації, електрокоагуляції-флотації, дозволяє ефективно видаляти зі стічних вод тонкодисперсні завислі речовини, емульсовані жири, колоїдні частинки за сприяння наявних у воді синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР).

Особливістю складу стічної води харчових підприємств є наявність великої кількості жиру, тому на першому етапі очищення поблизу джерел скидання забруднених стоків встановлюють жируловлювачі. Жири здійснюють негативний вплив на систему каналізації, оскільки при транспортуванні вони відкладаються на стінках трубопроводів, знижуючи їх пропускну здатність. Наявність жирів призводить до порушення процесу біологічного очищення.

Для очищення стічних вод від жирів зазвичай застосовують відстійні жируловлювачі горизонтального та вертикального типу. Відстійні жируловлювачі встановлюють найчастіше на випусках цехів і заводів, що



спеціалізуються на виробництві високожирної продукції (олії, вершків, сметани) з концентрацією жирів у стічних водах більше 100 мг/л.

Але, як показує практика, використання жируловлювачів горизонтального типу для очищення стічних вод молочних заводів малоефективне. Концентрація жирів внаслідок їх застосування знижується лише на 30–35 %. Недоліком відстійних жируловлювачів горизонтального типу є також трудомісткість збору жиромаси та осаду.

Для очищення стічних вод від жирів знаходить застосування конструкція жируловлювача вертикального типу з реактивним водорозподільником і автоматизованим збором жиромаси (рис. 11.1).

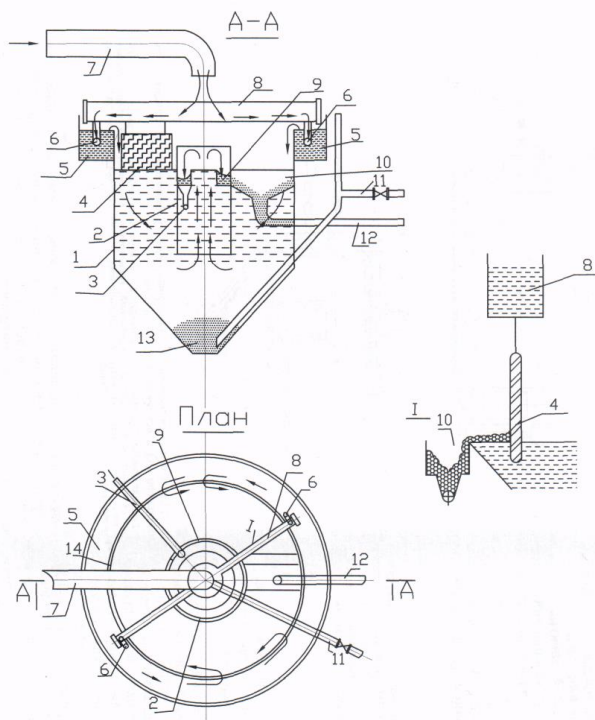


Рисунок 11.1 – Схема

жируловлювача з реактивним водорозподільником:

- 1 – корпус; 2 – центральна камера;
- 3 – відведення очищеної води;
- 4 – жирозгін; 5 – периферійний лоток; 6 – патрубки;
- 7 – трубопровід подачі стічних вод;
- 8 – реактивний водорозподільник, що обертається; 9 – збірний лоток очищеної води; 10 – лоток жиромаси; 11 – мулова труба;
- 12 – труба видалення жиромаси;
- 13 – осадова частина;
- 14 – кільцевий водозлив

У жируловлювачі здійснюються периферійна подача стічних вод і низхідний рух потоку в зоні відстоювання. Споруда обладнана реактивним водорозподільником, що обертається, до якого прикріплений піногон, центральною камерою з лотками для збору освітленої води і лотком для збору жиромаси, а також трубою для видалення осаду. Стічна вода подається в реактивний водорозподільник під напором і викидається з нього патрубками до периферійного розподільного лотка жируловлювача.

Обертання водорозподільника, що здійснюється внаслідок реактивної сили рідини, яка витікає, забезпечує рівномірний розподіл стічних вод по периметру споруди. Струменем, що падає з патрубків реактивного водорозподільника,

ежектуються повітря з атмосфери, у результаті чого в периферійному розподільчому лотку рідина аерується, що сприяє флоатації жирових домішок.

Стічна вода надходить з периферійного лотка через водозлив у відстійну зону жируловлювача і прямує до центральної камери. Низхідний рух потоку сприяє кращому розподілу рідини за обсягом споруди і поліпшенню виділення нерозчинних домішок. Освітлена вода збирається збірним лотком та відводиться зі споруди.

Домішки, що випливають, безперервно видаляються з поверхні відстійної зони жируловлювача піногоном і скидаються в лоток для збору жиромаси. Ефективність очищення у цій споруді за однакового часу відстоювання на 20–25 % вища, ніж у горизонтальних жируловлювачах, і становить 50–70 %.

Після жируловлювачів вода потрапляє на реагентну обробку. Залежно від рН середовища проводять корегування цього показника для якісної дії коагулянтів, які працюють при визначеному рН середовища.

Застосування реагентів дає можливість не тільки покращити якість очищення стічної води, але й прискорити процес очищення в декілька разів.

Попереднє коагулювання забруднень у поєднанні з наступним відстоюванням стічних вод істотно підвищує ефект видалення жирів, однак такий спосіб пов'язаний з використанням великої кількості дорогих реагентів, з необхідністю будівництва складного реагентного господарства. Застосування реагентної коагуляції також ускладнюється утворенням великої кількості осаду (6–12 % витрати стічних вод), що має високу вологість (біля 99 %), та складністю його обробки, що своєю чергою призводить до значних будівельних та експлуатаційних витрат. Зазначені недоліки зазвичай усуваються при застосуванні електрохімічних способів очищення (електрокоагуляції).

Наступним етапом в очищенні стоків харчової промисловості є флоатаційне очищення, яке призначене для більш глибокого видалення з води жирів та дрібнодисперсних домішок.

При реагентній коагуляції стічних вод молочних заводів як коагулянти використовують сірчаноокислий алюміній, хлорне залізо або їх суміш.

При використанні коагуляції з подальшою напірною флоатацією ефект очищення становить за вмістом жирів і завислих речовин 80–90 %, ХПК – 70–75 %. Тривалість процесу – 20–30 хв. При влаштуванні напірної флоатації у два ступені із введенням коагулянту ефект очищення жирів і завислих речовин досягає 93–95 %.

Більш ефективним порівняно з методом флотації та електрокоагуляції є комбінований метод, що включає електрокоагуляцію та електрофлотацію (електрофлотокоагуляція). Метод відрізняється високим ефектом виділення зі стічної води жирів та інших забруднень, більш економічний за витратою електроенергії та металевих електродів порівняно з електрокоагуляцією. При використанні електрофлотокоагуляційної установки відпадає необхідність введення реагентів у рідину, що очищається. Ефект очищення в електрофлотокоагуляційних апаратах становить за жирами 96–97 %, за завислими речовинами – 92–95 %.

Після флотації з коагуляцією у воді залишаються дрібнодисперсні домішки та частково пластівці коагулянту, для видалення яких зазвичай використовують фільтрування через різні матеріали.

Очищена на етапі первинної обробки вода направляється на біологічне очищення до аеротенку, де відбуваються біохімічні процеси (нітрифікація, денітрифікація, видалення сполук фосфору тощо), зменшення органічних речовин.

Для механічного очищення стічних вод підприємств молочної промисловості також добре зарекомендували себе освітлювачі з природною аерацією та освітлювачі-перегнивачі. В освітлювачах з природною аерацією досягається високий ступінь уловлювання як спливаючих, так і осідаючих завислих речовин. Завдяки природній аерації рідини у цих спорудах ефект очищення підвищується і запобігає можливості закисання стічних вод.

В освітлювачах-перегнивачах відбувається не тільки очищення стічних вод від осідаючих та спливаючих домішок, а й зброджування затриманого осаду.

Зважаючи на високу температуру стічних вод забезпечується підігрів осаду в перегнивачі і прискорюється процес його зброджування.

Конструкція освітлювача-перегнивача представлена на рисунку 11.2.

Освітлювач-перегнивач – комбінована споруда, що складається з освітлювача з природною аерацією (А) і концентрично розташованого навколо нього перегнивача (Б). Стічні води підвідним лотком подаються в центральну трубу, на кінці якої прикріплений відбивний щит із загнутими вгору краями. За рахунок тиску, обумовленого різницею відміток рівнів води в підвідному лотку і в освітлювачі, забезпечується швидкість руху рідини в центральній трубі порядку 0,5–0,7 м/с, яка необхідна для засмоктування повітря з атмосфери.

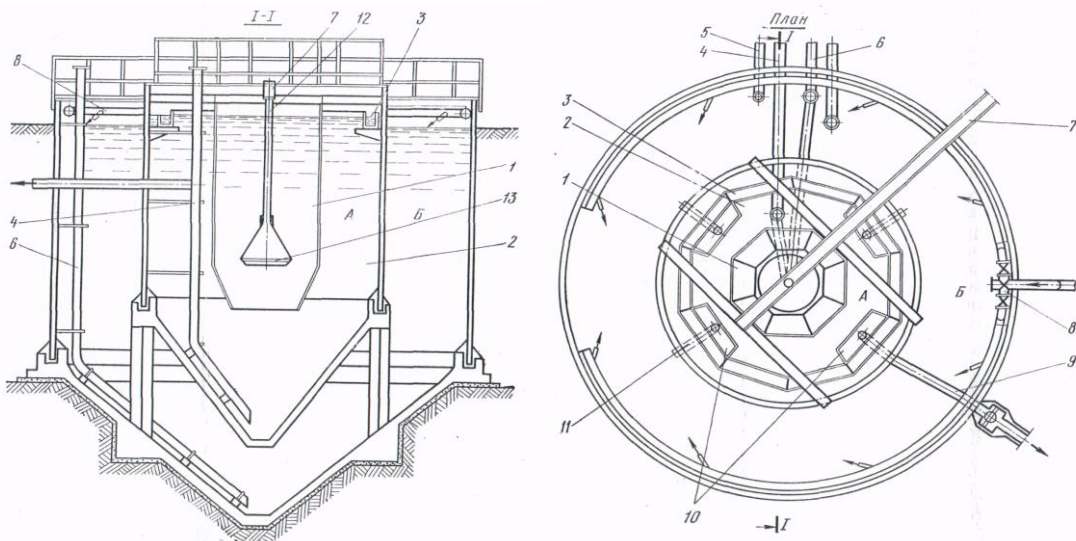


Рисунок 11.2 – Конструкція освітлювача-перегнивача:

*1 – камера флокуляції; 2 – відстійна зона; 3 – збірний лоток освітленої рідини; 4 – труба випуску осаду з освітлювача; 5 – труба випуску мулової води; 6 – труба випуску осаду з перегнивача; 7 – лоток, що підводить; 8 – труба подачі осаду у перегнивач; 9 – відвідна труба; 10 – кишень для збору плаваючих речовин; 11 – труба для видалення плаваючих речовин; 12 – центральна труба; 13 – відбивний щит*

Водоповітряна суміш з центральної труби направляється відбивним щитом у камеру флокуляції. У камері флокуляції відбувається коагуляція забруднень стічних вод, після чого вода надходить у відстійну зону, проходячи через шар утвореного завислого осаду. Освітлена вода за допомогою збірного лотка збирається у верхній зоні освітлювача та відводиться з нього. Осад, що випав на дно освітлювача, по трубі випуску осаду надходить у приймальний резервуар насосної станції, звідки насосом по трубі напірної подається в перегнивач. Труба має сопла, спрямовані під кутом  $45^\circ$  до поверхні осаду.

Досвід роботи освітлювачів з природною аерацією та освітлювачів-перегнивачів на підприємствах молочної промисловості показав, що в цих спорудах досягається більш глибокий ступінь очищення, ніж в інших типах відстійних споруд.

Розрахункова тривалість відстоювання стічних вод в освітлювачах – 1–1,5 год.

При розрахунку та проектуванні освітлювачів-перегнивачів для очищення стічних вод підприємств молочної промисловості потрібно виходити з таких параметрів:

- розрахункова тривалість перебування стічних вод в освітлювачі не менше 1 год;
- тривалість перебування стічних вод у камері флокуляції не менш ніж 20 хв;
- висхідна швидкість руху води у відстійній зоні освітлювача 0,8–1,5 мм/с;
- діаметр нижньої основи камери флокуляції визначають виходячи із середньої швидкості рідини в цьому перерізі, що дорівнює 8–10 мм/с;
- швидкість руху стічних вод у центральній трубі 0,5–0,7 м/с;
- різниця рівнів рідини в лотку, що підводить, і в освітлювачі 0,6 м;
- добова доза завантаження осаду у перегнивач 3 %;
- випуск осаду з освітлювача 1–2 рази на добу.

#### *Питання для самоперевірки*

1. Надайте характеристику фізико-хімічного складу забруднень стічних вод м'ясної промисловості.
2. Які технологічні прийоми застосовують для очищення стічних вод м'ясної промисловості?
3. Надайте характеристику фізико-хімічного складу забруднень стічних вод молочної промисловості
4. Які технологічні прийоми застосовують для очищення стічних вод молочної промисловості?

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Тугай А. М. Водопостачання : підручник / А. М. Тугай, В. О. Орлов. – Київ : Знання. – 2009. – 735 с.
2. Орлов В. О. Водопостачання промислових підприємств : навч. посіб. / В. О. Орлов, Л. Л. Литвиненко, А. М. Орлова. – Київ : Знання, 2014. – 278 с.
3. Орлова А. М. Водопідготовка : інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення / А. М. Орлов, В. О. Орлов. – Рівне: НУВГП, 2009. – 182 с.
4. Айрапетян Т. С. Водопідготовка на підприємствах теплоенергетики з використанням Na-катіонітових фільтрів : монографія [Електрон. ресурс] / Т. С. Айрапетян, І. М. Чуб ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; перекл. з рос. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 151 с. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/65101/>, вільний (дата звернення: 16.05.2024). – Назва з екрана.
5. Іванченко Л. В. Хімія і технологія води : навч. посіб. / Л. В. Іванченко, В. Я. Кожухар, В. В. Брем. – Одеса : Екологія, 2017. – 208 с.
6. Запольський А. К. Водопостачання. Водовідведення та якість води : підручник / А. К. Запольський. – Київ : Вища школа, 2005. – 671 с.
7. Конспект лекцій з дисципліни «Перспективні хімічні технології» для студентів спеціальності 6.091602 – Хімічна технологія неорганічних речовин [Електронний ресурс] / Черненко Я. М. – Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2012. – 85 с.
8. Айрапетян Т. С. Водне господарство промислових підприємств : навч. посіб. / Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 280 с.
9. Орлов В. О. Водопостачання та водовідведення : підручник / В. О. Орлов, Я. А. Тугай, А. М. Орлова. – Київ : Знання, 2011. – 359 с.
10. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод : підручник / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко, І. М. Астрелін, М. Т. Брик, П. І. Гвоздяк, Т. В. Князькова. – Київ : Лібра, 2000. – 551 с.
11. Особенности промышленного водоснабжения / С. М. Андоньев, В. М. Жильцов, Г. М. Левин и др./ под ред. С. М. Андоньева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Київ : Будівельник, 1981. – 246 с.
12. Запольський А. К. Фізико-хімічна теорія коагуляційного очищення води / А. К. Запольський ; Національний університет харчових технологій. – Київ : НУХТ, 2009. – 39 с.
13. Чуб І. М. Масообмінні процеси водопідготовки : навч. посіб. /

І. М. Чуб. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 161 с.

14. Ткачов В. О. Масопередача : конспект лекцій для студентів 3–4 курсів денної і заочної форм навчання напрямів 0926 – Водні ресурси, 6.060103 – Гідротехніка (Водні ресурси), спеціальності 6.092600 – Водопостачання та водовідведення / В. О. Ткачов, І. М. Чуб. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 83 с.

*Електронне навчальне видання*

**ЕПОЯН** Степан Михайлович,  
**АЙРАПЕТЯН** Тамара Степанівна

**ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ТА ОЧИЩЕННЯ ВОДИ НА  
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
зі спеціальності*

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

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*  
Редактор *М. О. Гаман*  
Комп'ютерне верстання *Т. С. Айрапетян*

План 2023, поз. 38Л

---

Підп. до друку 15.05.2024. Формат 60 × 84/16.  
Ум. друк. арк 8,1.

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.  
Електронна адреса: [office@kname.edu.ua](mailto:office@kname.edu.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 5328 від 11.04.2017.