

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

**С. М. Епоян, Т. С. Айрапетян**

**СПЕЦКУРС ІЗ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ**  
**ПРОМПІДПРИЄМСТВ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

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



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

**Епоян С. М.** Спецкурс із водопостачання та водовідведення пром підприємств : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна інженерія» / С. М. Епоян, Т. С. Айрапетян ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 98 с.

Автори:

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

Рецензенти:

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

**М. В. Дегтяр**, 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.....	6
ЗМ 1 ОЧИЩЕННЯ І БАГАТОРАЗОВЕ ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД У СИСТЕМАХ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ..	7
1 ЗАСТОСУВАННЯ ВОДИ У ПРОМИСЛОВОСТІ.....	7
1.1 Загальні відомості про системи виробничого водопостачання.....	7
1.2 Споживання води у виробництві та вимоги споживачів до якості води.	11
1.3 Використання води у зворотних системах водопостачання .....	14
1.4 Умови багаторазового використання води в системах виробничого водопостачання .....	17
2 СТАБІЛІЗАЦІЯ ЙОННОГО СКЛАДУ ВОДИ В СИСТЕМАХ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	21
2.1 Формування сольового складу і стабілізація йонного складу води в безпродувочних системах зворотного водопостачання.....	21
2.2 Прояснення підживлювальної води і стабілізуючої витрати зворотної води.....	23
2.3 Йонообмінне коректування мінерального складу очищених стічних вод і стабілізуючої витрати перед підживленням замкнених зворотних систем.....	25
3 ОХОЛОДЖУВАЧІ ВОДИ.....	27
3.1 Процеси охолодження в охолоджувачах.....	27
3.2 Класифікація споруд для охолодження води. ....	28
3.3 Конструкції охолоджувачів.....	29
4 ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ВОДИ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ.....	34
4.1 Основні споживачі води на підприємствах теплоенергетики.....	34
4.2 Системи охолодження конденсаторів на ТЕС .....	37
4.3 Водопідготовка на підприємствах теплоенергетики, основні завдання та методи підготовки води.....	39
5 ОБРОБКА ВОДИ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ...	43
5.1 Причини та види заростання труб і теплообмінних апаратів.....	43
5.2 Стабільність зворотної води.....	47
5.3 Методи обробки води для попередження карбонатних відкладень, корозії труб і теплообмінних апаратів.....	48

ЗМ 2 ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД ВІД СУСПЕНЗІЙ І СПОЛУК ВАЖКИХ МЕТАЛІВ.....	54
6 ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО ПІДПРИЄМСТВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ.....	54
6.1 Споживачі води на підприємствах чорної металургії.....	54
6.2 Системи виробничого водопостачання металургійних підприємств....	55
6.3 Водопостачання основних виробництв підприємств чорної металургії	57
7 ОЧИЩЕННЯ ТА ПОВТОРНЕ ВИКОРИСТАННЯ СТІЧНИХ ВОД МЕТАЛУРГІЙНИХ ВИРОБНИЦТВ У СИСТЕМАХ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	59
7.1 Обробка стічних вод на локальних очисних спорудах.....	60
7.2 Конструкції відстійників для очистки виробничих стічних вод.....	65
7.3 Відкриті гідроциклони, флокулятори. ....	67
7.4 Фільтрування води.....	71
8 ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ГАЛЬВАНІЧНИХ ЦЕХІВ МАШИНОБУДІВНИХ ЗАВОДІВ ТА ПІДПРИЄМСТВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ ВІД ЙОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ.....	75
8.1 Гальванічне виробництво машинобудівних підприємств і металургійних заводів. Особливості стічних вод.....	75
8.2 Огляд основних методів, технологічних схем та устаткування процесів очищення стічних вод гальванічних виробництв.....	76
8.3 Маловідходні йонообмінні технології очищення гальваностоків від хроматів.....	80
ЗМ 3 ФІЗИКО-ХІМІЧНЕ ТА БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ВИСОКОКОНЦЕНТРОВАНИХ СТІЧНИХ ВОД ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	82
9 ВИСОКОКОНЦЕНТРОВАНІ СТІЧНІ ВОДИ ЯК СКЛАДНА ПОЛІДИСПЕРСНА СИСТЕМА.....	82
9.1 Умови формування і фізико-хімічний склад стічних вод харчової промисловості. Стічні води молокопереробних підприємств. Стічні води м'ясної промисловості.....	82
9.2 Загальна характеристика методів очищення стічних вод харчової промисловості.....	86
10 ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ВИСОКО-КОНЦЕНТРОВАНИХ СТІЧНИХ ВОД.....	87
10.1 Використання методу флотації для попереднього очищення висококонтентрованих стічних вод промислових підприємств. Сутність флотації.....	87
10.2 Види флотації. Схема напірної флотації.....	90

11 ОЧИСТКА ПРОМИСЛОВИХ СТИЧНИХ ВОД МЕТОДАМИ ЕЛЕКТРОКОАГУЛЯЦІЇ ТА ЕЛЕКТРОФЛОТАЦІЇ.....	93
11.1 Застосування методу електрофлотації для очищення висококонцентрованих стічних вод.....	93
11.2 Очищення виробничих стічних вод методами електрокоагуляції та електрофлотокоагуляції.....	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	97

## ВСТУП

Водне господарство промислових підприємств містить комплекс систем господарсько-питного й протипожежного водопостачання та промислового водопостачання, що призначене для надійного забезпечення водою належної якості виробничих процесів на підприємствах різних галузей промисловості і включає також його системи водовідведення.

Для забезпечення водою промислово-господарського комплексу необхідно мати цілу низку споруд для забору води, її підйому, очистки, накопичування, транспортування і розподілу. Набір цих споруд залежить від наявності та якісних показників водних джерел, вимог споживачів до води й кількості споживачів, складу самих споживачів, наявності обладнання, матеріалів тощо.

Після використання у виробничих цілях вода забруднюється або нагрівається, змінює свої первинні властивості і стає непридатною для подальшого використання. Виробничі стічні води відрізняються великою різноманітністю залежно від умов утворення, кількості й особливо видів окремих забруднень, їх сполучень і концентрацій. 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.

Вимоги до якості води, що використовують у промисловості, визначаються технологією виробничих процесів і надзвичайно різноманітні, 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 відрізнитися від якості питної води. Технологія її підготовки здебільшого також істотно відрізняється від вживаної в комунальному водопостачанні. Це стосується, насамперед, глибокого пом'якшення і знесолювання води, видалення біогенних елементів, стабілізації і дегазації води, знезалізнення, знекремлення тощо.

## *ЗМ 1 ОЧИЩЕННЯ І БАГАТОРАЗОВЕ ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД В СИСТЕМАХ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ*

### **1 ЗАСТОСУВАННЯ ВОДИ У ПРОМИСЛОВОСТІ**

1.1 Загальні відомості про системи виробничого водопостачання.

1.2 Споживання води у виробництві. Вимоги споживачів до якості води.

1.3 Зворотні системи виробничого водопостачання. Баланси води і солей у зворотних циклах водопостачання.

1.4 Умови багаторазового використання води в системах виробничого водопостачання

#### **1.1 Загальні відомості про системи виробничого водопостачання**

Система водного господарства – це складне поняття, що включає себе принцип побудови всього господарства від подачі води до водовідведення.

*Система водопостачання* промислових підприємств становлять комплекс споруд, устаткування і трубопроводів, що забезпечують забір води з природного джерела, очищення та її обробку, транспортування і подачу води споживачам необхідної кількості й якості.

У системах технічного водопостачання передбачають також споруди й устаткування, необхідне для прийому відпрацьованої води і підготовки її для повторного використання, а також станції очищення стічних вод.

Система водопостачання – це комплекс споруд для забезпечення споживачів водою у необхідних кількостях та необхідної якості.

До складу системи водопостачання входять такі споруди:

- водоприймальні споруди (водозабір);
- водопідйомні споруди (насосні станції);
- споруди для очищення, обробки та охолодження води;
- водоводи та водопровідні мережі;
- башти та резервуари (регулюючі та запасні ємності) для зберігання та акумулювання води).

На склад і схему системи водопостачання великий вплив мають місцеві природні умови, джерело водопостачання та характер споживання води, тому в деяких випадках можуть бути відсутні ті або інші споруди.

На підприємствах можливо кілька систем водопостачання одночасно. Наприклад, окремо системи виробничо-технічного, господарсько-питного призначення. Систему протипожежного водопостачання зазвичай поєднують з будь-якою іншою.

Кількість і якість води для виробничих потреб залежать від характеру виробництва, схеми технологічних процесів, використовуваного обладнання, можливих джерел водопостачання. Залежно від типу виробництва на підприємстві можуть бути споживачі з різними вимогами до якості води.

Промислові підприємства використовують значну кількість води. Вода використовується на виробничі, господарсько-питні та протипожежні потреби. До найбільш значних виробничих споживачів відносяться металургійні, нафтопереробні, хімічні заводи, теплоелектростанції, що використовують воду для охолодження, целюлозно-паперової й гірничодобувної промисловості, де значна кількість води використовується для промивки сировини і продукції.

Вода використовується для конденсації й отримання пари, гідротранспортування, пиловловлювання і для багатьох інших потреб. Залежно від призначення води у виробництві до якості води висуваються різні вимоги. Іноді системи виробничого водопостачання значно ускладнюються тим, що окремі виробничі споживачі, що 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.

Характерною особливістю виробничого водопостачання є ті вимоги, які ставляться до споживаної води. Різні і вимоги до вільних напорів на вводах, які визначаються типом використовуваного обладнання та установок, висотою виробничих будівель тощо. Велике значення має надійність подачі води, особливо для безперервних виробництв, наприклад доменного процесу.

На кожному промисловому підприємстві встановлюють норми водоспоживання та водовідведення. Необхідна для кожного виробництва кількість води, а також кількість відпрацьованих вод, що утворюються, встановлюються технологічним розрахунком або приймаються на підставі передового досвіду.

Нормою водоспоживання вважається доцільна кількість води, що необхідна для виробничого процесу і встановлена на основі передового досвіду або науково обґрунтованого розрахунку.

Для різних підприємств витрати води на одиницю продукції ( $\text{м}^3/\text{т}$ ) змінюються в широких межах. Вони можуть бути прийняті за чинними відомчими технологічними або укрупненими нормами.

Режим витрачання води на промислових підприємствах відрізняється від режиму роботи комунального водопостачання і залежно від особливостей технологічного процесу може бути рівномірним, нерівномірним та епізодичним.



Системи водозабезпечення промислових підприємств класифікують за способами використання води: прямоточні, зворотні, з повторним використанням води та замкнені.

При *прямоточній системі* всю необхідну для підприємства воду забирають безпосередньо з джерела водопостачання. Відпрацьовану воду після використання на промисловому підприємстві скидають у водойму без очищення, якщо вона не забруднена, або після очищення.

Головним недоліком прямоточної системи є значне навантаження на водойму як з точки зору відбирання свіжої води на одиницю продукції, так і скиду відпрацьованої води, що призводить до забруднення та виснаження природних джерел. При такій системі вся відпрацьована вода скидається в природні водойми. Ці водойми повинні мати здатність поглинати ці скиди без порушення екологічної рівноваги.

При застосуванні прямоточної системи необхідне джерело із достатнім дебітом води здебільшого віддалено від підприємства, тож доводиться споруджувати довгі водоводи. Це призводить до подорожчання та зниження надійності системи.

У *системах повторного використання* вода, що скидається одним з промислових споживачів, може бути використана іншим, що дозволяє зменшити кількість води, яка забирається з водного джерела. Крім того, у цьому випадку зменшуються розміри і вартість водозабірних споруд, насосної станції першого підйому і водоводів, хоча виникає необхідність у додаткових витратах на спорудження приймального резервуару або охолоджувача і насосної станції II підйому. Однак і ця система не скорочує кількість забруднень, що скидаються у водні об'єкти. Така система можлива при  $Q = Q_I \geq Q_{II}$ . Системи з повторним використанням води застосовується в тому випадку, якщо є споживач з великою витратою, скидна вода якого за кількістю і за якістю може задовольняти інших споживачів. Завдяки такому рішенню, відпадає необхідність подачі води споживачу II безпосередньо з джерела, таким чином економиться електроенергія на підймання води на висоту  $\Delta H$  (на цю висоту вода вже була піднята при наданні її споживачу I).

Значні обсяги споживання води в промисловості потребують особливої уваги до питань її економії та раціонального використання, усунення втрат води з витокami і в охолоджувачах зворотної води. Для зворотних систем водопостачання промислових підприємств важливо розрізняти витрати зворотної води, необхідні для виробництва продукції, і витрати «свіжої води»,

що забирають з джерела водопостачання для поповнення втрат води на виробництві. Для підвищення ефективності роботи системи водного господарства промислових підприємств і захисту навколишнього природного середовища необхідно прагнути до зниження витрат свіжої води і зменшення об'ємів стічних вод, що скидають у водойми.

*Зворотні системи* водопостачання дозволяють в десятки разів скоротити забір свіжої води. 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.

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 в систему.

При зворотному водопостачанні подається менша кількість свіжої води, ніж при прямоточному, отже, витрата електроенергії на подачу свіжої води зменшується. Обсяги скидання стічних вод також знижуються, що сприятливо позначається на стані навколишнього середовища. Будівельна вартість головних споруд та водоводів, а іноді й скидних колекторів є меншою, ніж за прямоточної системи. Але необхідні додаткові споруди: насосна станція другого підйому, охолоджувальні пристрої або очисні споруди. Зворотне водопостачання лише тоді вигідніше за прямоточне, коли вартість додаткових споруд при його реалізації перебивається економією на будівництві головних споруд, водоводів та за рахунок зменшення витрати електроенергії на подачу свіжої 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.

## 1.2 Споживання води у виробництві та вимоги споживачів до якості води

На промислових підприємствах вода використовується для таких технологічних цілей:

- охолодження обладнання, сировини та продуктів (вода нагрівається через стінки теплообмінників та практично не забруднюється);
- як середовище, що транспортує механічні або розчинені домішки, що потрапляють у воду під час миття, збагачення та очищення сировини або продукту (вода забруднюється, але зазвичай не нагрівається);
- для розчинення реагентів, що використовуються у виробництвах, для одержання пари тощо (вода в основному входить у технологічний продукт, і лише частина її прямує у стік з відходами виробництва);
- комплексне використання як охолоджувача продукту, транспортного середовища та поглинача домішок (вода нагрівається та забруднюється).

Вода використовується переважно для охолодження діючих агрегатів, пари, рідких і газоподібних продуктів, для живлення котлів, очищення продукту, що випускається, як складова частина продукції, що випускається, для переміщення матеріалу та усунення промислових відходів (гідротранспорт). При цьому застосовують прямоточні і зворотні системи водопостачання.

Використання води для охолодження за масштабами значно перевищує інші види споживання. До цієї категорії відноситься витрачання води для конденсації пари, що відходить від парових турбін електростанцій, для охолодження різних печей, машин та апаратури в металургійній, нафтопереробній, хімічній та інших галузях промисловості.

Також у великих кількостях вода використовується для промивання, замочування, зволоження на потреби металургійної, целюлозно-паперової, шерстеобробної, текстильної промисловості, виробництва штучного волокна тощо.

У різних галузях промисловості вода використовується для гідротранспортування різних матеріалів, витрачається на, зокрема, шлако- та золовидалення на теплосилових станціях, транспортування шлаку в доменних цехах, відходів збагачувальних фабрик тощо.

Основними показниками, що визначають придатність води для різних категорій водоспоживачів, є склад і концентрація домішок, що містяться в ній. За специфікою вимог до якості очищеної води розрізняють воду, що використовується для господарсько-питних потреб працівників і службовців

промислових підприємств, для охолодження елементів технологічних агрегатів у теплоенергетиці та інших галузях народного господарства, підживлення парових котлів, технологічних потреб промисловості тощо.

*Вимоги, що ставляться до якості технічної води.*

Якість та властивості води, що подається для виробничих потреб, встановлюють у кожному конкретному випадку залежно від ролі води та вимог технологічного процесу, задіяного технологічного обладнання.

Загальними є такі вимоги до якості та властивостей технічної води:

1) вода має бути нешкідливою для здоров'я обслуговуючого персоналу і не володіти негативними органолептичними властивостями (при відкритій системі);

2) вода має бути стабільною для можливості її використання для охолодження продукту чи конструктивних елементів устаткування; вона не має виділяти механічних, карбонатних чи інших сольових відкладень понад допустиму величину;

3) вода не повинна викликати точкової корозії, а також рівномірної корозії металу зі швидкістю, що перевищує  $0,09 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  (або шар товщиною  $0,1 \text{ мм}$  на рік), та руйнування бетону. За необхідності застосовують більш стійкі матеріали або воду обробляють тим чи іншим способом;

4) вода не має сприяти розвитку біологічних обростань теплообмінних апаратів та охолоджувачів зворотної води зі швидкістю, більшою за  $0,07 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  (шар  $0,05 \text{ мм}$  на місяць).

При безпосередньому контакті води з продуктом та використанні її як середовище, що поглинає і транспортує домішки, кількість завислих речовин та їх крупність встановлюються для кожного окремого виробництва. При цьому за рахунок вибору відповідної швидкості має виключатися можливість осадження суспензій по шляху руху води.

**Охолодження води.** Якість охолоджувальної води визначається умовами застосування. Вода, що використовується для охолодження продуктів або сировини через стінки теплообмінного апарату, має бути звільнена від надлишку завислих речовин, що є основою відкладень карбонату кальцію. Охолоджувальна вода не повинна містити сірководню і заліза, її карбонатна твердість не має перевищувати  $2\text{--}7 \text{ мг-екв/л}$  (залежно від температури нагріву води та вмісту в ній вільної вуглекислоти). Таким чином, обмежується максимальна температура нагріву води і бікарбонатів кальцію та магнію, загальна твердість води, вміст завислих речовин, їх гранулометричний склад,

вміст заліза, марганцю, органічних з'єднань для запобігання утворенню накипу, засміченню відкладеннями суспензії або біообростанню холодильних апаратів чи конденсаторів, а також трубопроводів, що знижує ефективність роботи всієї системи охолодження і збільшує витрати на експлуатацію.

Для запобігання утворенню накипу в зворотних системах при нагріві води нормується як карбонатна тимчасова твердість, так і некарбонатна твердість. Присутність у воді солей марганцю і заліза, а також біогенних елементів азоту і фосфору може сприяти розвитку біологічних обростань апаратів і труб (зменшенню живого перерізу і внаслідок цього збільшенню втрат напору).

В охолоджувальній воді нормується рН (6,5–8,5), обмежується вміст сульфатів та хлоридів, при підвищеному вмісті яких вода стає агресивною по відношенню до бетону.

Особливу роль в охолоджувальній воді грають розчинені гази та кисень, вуглекислота, сірководень, метан. Вуглекислота, кисень, сірководень за певних умов надають воді корозійних властивостей по відношенню до металів і бетонів. Присутність у воді вуглекислоти суттєво впливає на її якість.

За концентрацією агресивної вуглекислоти (це різниця між вільною і рівноважною вуглекислотою) можна судити про агресивність або стабільність води. У поверхневих водах наявність вуглекислоти виключена, а в підземних може бути значною. Наявність у воді сірководню та кисню інтенсифікує процес корозії металів.

Дуже важливою класифікацією зворотної води, що використовується для цілей охолодження, є класифікація її за здатністю утворювати накип у системах водопостачання при чергуванні циклів «нагрівання – охолодження». З цього погляду вода для виробничих цілей поділяється так:

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

### 1.3 Використання води у зворотних системах водопостачання

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

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 в теплообмінниках, що різко знижує коефіцієнт теплопередачі та погіршує експлуатаційні показники. Для запобігання випадінню солей твердості здійснюють продувку систем зворотного водопостачання – скид частини води, що призводить до зниження рівня забруднень циркулюючої в системі води. Втрата води з продувкою системи залежить від продуктивності системи зворотного водопостачання, карбонатної твердості 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.

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:

$$\sum Q_{\text{НАДХ}} = \sum Q_{\text{ВТР}} \cdot \quad (1.1)$$

Вода, що циркулює у зворотних системах, зазвичай нестабільна і має проходити певну обробку.

У практиці зворотні цикли умовно поділяють на чисті та брудні. У чистих зворотних циклах вода застосовується для охолодження через стінку (так звана умовно чиста). Обробка полягає в охолодженні зворотної води до вихідних температур, продувці (скиді) частини води для підтримання необхідних параметрів забруднювальних компонентів (насамперед розчинних солей), поповненні втрат води та її стабілізаційній обробці. При цьому у промисловості понад 60 % усієї споживаної води обробляється у чистих зворотних циклах.

У брудних зворотних циклах оброблювана вода нагрівається та забруднюється (наприклад, охолодження газу в скруберах). У такому випадку спочатку передбачається механічне очищення для видалення завислих речовин (іноді з попередньою реагентною обробкою), і вже після цього за необхідності вода охолоджується. Так само здійснюється продувка зворотної води, поповнення втрат води в циклі (підживлення) та її стабілізація. Механічна очистка проводиться у відстійниках (зазвичай радіальних), доочищення, за необхідності, – на зернистих фільтрах. Вода, що повертається у виробництво, містить значну кількість завислих речовин (до 150–200 мг/дм<sup>3</sup>), що цілком допустимо за умовами виробництва.

### **Поняття коефіцієнта концентрування добре розчинних солей**

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 такий вигляд:

$$K_K = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{P_2 + P_3 + P_4}, \quad (1.2)$$

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.

### *Визначення коефіцієнта концентрування через сольовий баланс системи*

Коефіцієнт концентрування добре розчинних солей необхідний для визначення концентрації добре розчинних солей у зворотній воді залежно від вмісту цих солей у підживлювальній (свіжій) воді:

$$C_{об} = K_K \cdot C_n, \quad (1.3)$$

$$K_K = \frac{C_{об}}{C_n}, \quad (1.4)$$

де  $C_{об}$  – концентрація добре розчинних солей у зворотній воді;

$C_n$  – концентрація добре розчинних солей у свіжій воді, що подається на підживлення системи.

*Рівняння водно-сольового балансу системи:*

$$\frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{P_2 + P_3 + P_4} = \frac{C_{об}}{C_n}. \quad (1.5)$$

Співвідношення (1.5) характеризує зв'язок водного і сольового балансів системи зворотного водопостачання.

Розрахунки сольового (матеріального) балансу систем оборотного водопостачання ведуть за вмістом добре розчинних солей, до яких відносяться хлориди та сульфати.

Для систем водопостачання, у яких вода не входить у безпосередній контакт з охолоджувальним продуктом (пара, повітря, нагрітий або розплавлений метал), рівняння водно-сольового балансу має такий вигляд:

$$C_{об}(P_2 + P_3) = C_n(P_1 + P_2 + P_3), \quad (1.6)$$

$$C_{об} = C_n \left[ 1 + \frac{P_1}{(P_2 + P_3)} \right]. \quad (1.7)$$

Якщо концентрацію солей твердості в циркуляційній воді прийняти максимально допустимою, то з наведеного рівняння (2.11) можна визначити мінімально необхідну витрату продувки:

$$P_3 = \frac{C_n \cdot P_1}{C_{об} - C_n} - P_2, \quad (1.8)$$

де  $C_n$  – концентрація солей твердості в додатковій воді, мг–екв/дм<sup>3</sup>;

$C_{об}$  – максимально допустима концентрація солей твердості в циркуляційній (зворотній) воді, мг–екв/дм<sup>3</sup>;

$P_1, P_2$  і  $P_3$  – втрати води на випаровування, винос і продувку, м<sup>3</sup>/год;

Загальна витрата додаткової (свіжої) води  $P = P_1 + P_2 + P_3$ .

Однак рівняння (1.8) є неприйнятним для балансових розрахунків стосовно до системи зворотного водопостачання, у яких вода входить у контакт з продуктом, що охолоджується та очищається, наприклад, газоочисток металургійних агрегатів. Для цих випадків необхідно користуватися іншою залежністю, яка відрізняється від наведеної вище тим, що в ній введено новий член, який враховує технологічний приріст концентрації того або іншого компонента:



$$C_{об} = C_n \left[ 1 + \frac{P_1}{(P_2 + P_3)} \right] + \frac{Q \cdot \Delta C}{P_1 + P_3}, \quad (1.9)$$

де  $\Delta C$  – приріст солей, наприклад у газоочистці, мг/л;

$Q$  – загальна витрата води, що подається споживачу, наприклад на газоочистку металургійного агрегата, м<sup>3</sup>/год.

На сьогодні найбільш 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 на обладнанні для охолодження води, при цьому величина  $K_K$  суттєво зростає.

Чим вища концентрація солей у зворотній воді, тим більш складною виявляється експлуатація цих систем у зв'язку з небезпечністю утворення щільних сольових відкладень карбонатного і сульфатного характеру, а також з небезпечністю інтенсифікації корозійних процесів.

#### **1.4 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 та численних і 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 технологіями 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 охолоджувальних елементів не має виникати корозійних процесів і утворення сольових механічних або біологічних відкладень. Інакше порушуються умови теплопередачі, збільшуються енергетичні витрати, погіршуються експлуатаційні характеристики системи та відбувається 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 представляють 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 вимоги до води, що багаторазово використовується для теплообмінних процесів, є такими:

- обмеження карбонатної та сульфатної твердості води для запобігання відкладенням (швидкість відкладень  $\leq 0,25 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$  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 відкладів карбонату та сульфату кальцію, що утворюються, і тим самим

підвищують їхню міцність та інтенсифікують процес утворення карбонатних відкладень);

- граничний вміст солей не рекомендується допускати вище  $2\ 000\ \text{г/м}^3$  за умови корозії трубопроводів та обладнання (допустима швидкість корозії  $\leq 0,09\ \text{г/м}^2 \cdot \text{год}$  або  $< 0,1\ \text{мм/рік}$ );

- для запобігання інтенсивному біообростанню споруд та охолоджувальних апаратів теплообмінних зворотних систем водопостачання у 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  $\leq 0,07\ \text{г/м}^2 \cdot \text{год}$ , а зростання товщини шару – не більше  $0,05\ \text{мм}$  на місяць).

До якості охолоджувальної води зворотних систем різних галузей промисловості ставляться різні вимоги, встановлювані галузевими стандартами, але для найважливіших показників (карбонатна твердість, рН, ХПК, вміст біогенних елементів), що визначають термостабільність, корозійність води та інтенсивність біообростань у системах водопостачання є достатньо близькими. Незначні розбіжності бувають за загальною жорсткістю, солевмістом, концентрацією завислих речовин.

Вимоги до якості охолоджувальної води при її комплексному використанні як середовища, що 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, повинна бути  $\leq 25\text{--}30\ ^\circ\text{C}$ , завислі речовини  $\leq 150\text{--}200\ \text{мг/л}$ , запах до 4 балів, рН  $7,2\text{--}8,5$ , поверхнево-активних речовин (ПАВ)  $\leq 15\ \text{мг/л}$ .

*Вимоги до якості зворотної та додаткової води для технологічних та енергетичних процесів*

### ***Технологічні та енергетичні процеси.***

Якість води для підприємств теплоенергетики відображає специфіку цієї галузі, де більше 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. Вода має бути звільнена від завислих речовин, солей твердості та розчиненого кисню. Така вода, як правило, піддається зм'якшенню

та частковому або глибокому знесоленню. Для котлів високого тиску недопустима присутність кремнієвої кислоти, яка сприяє утворенню щільних відкладень. Окисність води має бути у декілька разів нижчою, ніж для систем охолодження.

При використанні води для потреб паросилового господарства вона не має 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.

Таблиця 1.1 – 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 (по 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	–			0,01		
Масел, мг/л	10	5	2	1	0,5	–
Натрієвих сполук (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), мг/л	Не нормується			0,02		
Заліза (по Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), мг/л	–	–	–	–	0,1	0,01
Міді (по 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 прямотечійні.						

#### Питання для самоперевірки

1. Які системи технічного водопостачання застосовують на промислових підприємствах?
2. Поясніть принципову схему прямоточного водопостачання.

3. Переваги послідовно-зворотних систем водопостачання перед прямоточними системами.

4. Які ускладнення виникають у роботі діючих систем водопостачання та водовідведення промислових підприємств.

5. Чим відрізняються замкнені системи водопостачання від зворотних?

6. Поняття продувки та підживлення систем зворотного водопостачання.

7. Які вимоги до якості води, що використовують для живлення парових котлів?

8. Втрати води в оборотних системах водопостачання.

## **2 СТАБІЛІЗАЦІЯ ЙОННОГО СКЛАДУ ВОДИ В СИСТЕМАХ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ**

2.1 Формування сольового складу і стабілізація йонного складу води в безпродувочних системах зворотного водопостачання.

2.2 Прояснення підживлювальної води і стабілізуючої витрати зворотної води.

2.3 Йонообмінне коректування мінерального складу очищених стічних вод і стабілізуючої витрати перед підживленням замкнених зворотних систем.

### **2.1 Формування сольового складу і стабілізація йонного складу води в безпродувочних 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 йонів та загального солемісту. Підвищення концентрації солей може спричинити:

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

У замкнених безпродувних системах водопостачання скидна вода від різних технологічних процесів  $Q_{\text{скиду}}$  не відводиться за межі підприємства (витрата води на продування  $Q_{\text{прод}} = 0$ ), а після відповідного очищення знову використовується на виробництві ( $Q_{\text{скиду}} = Q_{\text{притоку}}$ ).

Формування сольового складу води в оборотних системах і зміна концентрації окремих йонів в оборотній воді залежить від умов експлуатації систем, тобто. від коефіцієнта упарювання, від величини продування та методу

обробки підживлювальної води, а також від зміни якості води у водоймі чи складу використовуваних для підживлення системи очищених виробничих або біологічно очищених міських стічних вод.

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 повністю замкнених системах водопостачання у зв'язку з відсутністю продувки системи (скиду води з неї) із заміною частини оборотної води свіжою водою, частина оборотної води тимчасово виводиться із системи для коригування її мінерального складу (вмісту суспензії, солей та окремих йонів) і повертається потім в оборотний цикл окремо або спільно з підживлювальною водою. Ця частина оборотної води, що тимчасово виводиться із системи, називається *стабілізаційною витратою*. Необхідний ступінь знесолення цієї частини води залежить від коефіцієнта випаровування зворотної води в системі й відносної кількості води, що виводиться із системи для обробки замість продувки.

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

$$C_{\text{д.}} = \frac{C_{\text{зм}}(P_1 + P_2) + C_{\text{стаб.в.}}P_1}{P_1 + P_2 + P_3}, \quad (2.1)$$

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

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

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

$$P_3 = \frac{C_{\text{д.}}K \cdot \Delta t - \Delta C \cdot P_2}{\Delta C}. \quad (2.2)$$

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 йонів гранично допустимим концентраціям, перевищення яких призводить до інтенсивної корозії або до інкрустації теплообмінних поверхонь трубопроводів та арматури. Гранично допустима концентрація

CaCO<sub>3</sub> визначається його розчинністю при температурі зворотної води. Вміст іонів Ca<sup>2+</sup>, компенсованих йонами HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, а також вміст цих іонів безпосередньо не нормується. Гранично допустимі концентрації їх у зворотній воді залежать від теплового режиму системи і вживаних матеріалів. Тому визначають їх у кожному конкретному випадку за попередніми корозійними випробуваннями в розчинах, що моделюють зворотну воду, або на підставі експлуатаційних даних аналогічних діючих промислових систем зворотного водопостачання.

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 твердості на теплообмінних поверхнях. Методи оцінки і нормування якості охолоджувальної води визначають максимально допустимий вміст солей не більше ніж 300 мг/л, хлор-йонів – не більше 400 мг/л. Дослідження показують, що при підвищенні вмісту хлоридів і сульфатів зворотну воду необхідно обробляти інгібіторами.

## 2.2 Прояснення підживлювальної води і стабілізуючої витрати зворотної води

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:

$$B_1 = \frac{Q \cdot B_{об} - p_1 \cdot B_{об} - Q_в \cdot B_2}{p_1 + p_2 + p_3} \quad (2.3)$$

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;

$B_{об}$  – допустима концентрація завислих речовин у системі оборотного 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, визначений за умовами збереження допустимої концентрації завислих речовин.

У тих випадках, коли величина  $P_3$  (продувки), визначена на основі вимог до сталості сольового складу оборотної води, є меншою за величину  $P_3$ , обчислену для умов дотримання допустимої концентрації завислих речовин, у замкненій оборотній системі передбачається фільтрування об'єму води  $P_3$  з направленням лише частини цієї води, що дорівнює  $P_3$ , на йонообмінне коригування сольового складу.

Для прояснення підживлювальної, 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 у вихрові реактори. Для укрупнення завислих речовин та кристалізації карбонату кальцію та магнію після вихрових реакторів воду коагулюють хлорним чи сірчаноокислим залізом.

У процесі пом'якшення та освітлення води при реагентних методах обробки, а також при використанні осаду, контактне середовище значною мірою залежить від температури води. Наприклад, за температури 25–35 °С залишкова лужність води становить 0,5–0,75 мг-екв/л, швидкість води в освітлювачі  $v \leq 1,6$  мм/с, а при температурі 5 °С залишкова лужність води підвищується до 1,5 мг-екв/л, а швидкість знижується до 0,9 мм/с, витрати часу на обробку води зростають у 1,5 рази. Оскільки швидкість та глибина пом'якшення істотно залежать від температури води, у холодну пору року її доцільно підігрівати до 20–25 °С за рахунок температури нагрітої оборотної води. При цьому станцію освітлення – пом'якшення реагентним способом доцільно розташувати у вузлі охолодження.

Для освітлення підживлювальної води та стабілізаційної витрати застосовують напірні та безнапірні фільтри, а також самопромивні сітчасті фільтри.



## **2.3 Йонообмінне коректування мінерального складу очищених стічних вод і стабілізуючої витрати перед підживленням замкнених зворотних систем**

Йонний склад скидних вод та стабілізаційної витрати залежить від умов експлуатації системи водопостачання та вимагає коригування перед підживленням замкнутих оборотних циклів очищеною скидною водою.

Як правило, потрібне коригування вмісту йонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$ , а також різних аніонів  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  та ін. Необхідність у коригуванні рН оборотної води виникає при попаданні в оборотну систему хімічних продуктів виробництва (кислот, лугів). Коригування катіонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  обумовлено зміною їх концентрації в оборотній воді та необхідністю підтримки необхідного їх рівня для попередження утворення відкладень накипу. Також потрібно коригування концентрації сульфатів та хлоридів, регулювання рН та загального солевмісту для ослаблення корозійної активності оборотної води.

Для підживлення зворотних систем теплообмінного водопостачання іноді достатньо усунути карбонатну твердість води. Використання реагентних методів для коректування мінерального складу води, призначеної для підживлення зворотних систем, дає змогу тільки пом'якшити воду або перевести тимчасову твердість у постійну та підвищити за допомогою цього стабільність води в теплообмінних системах. Однак у замкнених системах водопостачання необхідно не тільки пом'якшення зворотної води, але і зменшення її загального солевмісту й послаблення корозійної активності шляхом коректування концентрації сульфатів, хлоридів та регулювання рН.

Загалом же потрібно скоректувати їх йонний склад так, щоб не тільки запобігти утворенню карбонатних відкладень, але також виключити відкладення гіпсу і накопичення розчинних солей у зворотній воді, не вдаючись до так званого стабілізаційного скиду частини зворотної води із системи для заміни її менш мінералізованою.

У таких випадках необхідно і доцільно застосування йонообмінних процесів. Застосовують в основному Н-катіонування та ОН-аніонування після попереднього очищення води від завислих речовин та сполук, що негативно впливають на процес йонного обміну.

Найчастіше при коригуванні йонного складу скидних вод та стабілізаційної витрати не потрібно повного знесолення підживлювальної води. Буває достатньо: видалити катіони твердості; знизити солевміст до 300–500 мг/л.

Отже, використання очищених стічних вод для промислового водопостачання підприємств залежно від призначення технічної води пов'язане з більш менш глибоким пом'якшенням води, зниженням її мінералізації до певного рівня або практично з повним знесолюванням води.

Такі системи, у яких підтримується тривалий час постійний склад циркулюючої води, отримали назву замкнених зворотних циклів. Підживлення їх свіжою водою здійснюється тільки в кількостях, необхідних для компенсації втрат унаслідок випаровування, віднесення дрібних крапель води з вітром на градирнях й інших неминучих виробничих втрат. Сума всіх цих втрат зазвичай не перевищує 1–2 %, тоді як у вигляді стабілізаційного скиду зі звичайних зворотних систем виводиться від 6 % до 10 % зворотної води, і отже, для компенсації втрат води необхідно додавати в систему щодоби від 8 % до 12 % води, що циркулює в системі.

Визначення необхідного рівня знесолювання води здійснюють на підставі матеріального балансу втрат солей унаслідок випаровування і краплинного віднесення та надходження солей з водою, що додається в систему для компенсації втрат зворотної води.

Для вирішення завдання пом'якшення очищених стічних вод застосовують Na-катіонування. Якщо разом із пом'якшенням необхідно також зменшення загального солемісту води, то замість Na-катіонування або спільно з ним застосовують H-катіонування води. Часткова або глибока демінералізація води досягається послідовним йонним обміном на катіоніті в  $H^+$ -формі й аніоніті в  $OH^-$ -формі.

Але потрібно зазначити, що найбільш складною проблемою для замкнених систем водопостачання без скидання стічних вод є утилізація або ліквідація мінералізованих стоків, оскільки на більшості діючих станцій водопідготовки для обробки скидних вод та стабілізаційних витрат застосовується йонообмінний метод знесолення та коригування йонного складу оборотної води. При цьому необхідно періодично регенерувати катіонітні та аніонітні фільтри кислотою та лугом, а регенераційні води нейтралізувати. Це призводить до того, що кількість солей, що містяться у стічних водах станцій водопідготовки, виявляється у 3–3,5 рази більшою за кількість солей, що вносяться на станції зі свіжою водою.

### *Питання для самоперевірки*

1. Стабілізація зворотної води за допомогою продувки.

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

3. Як визначають йонний склад підживлювальної води при замкненому зворотному водопостачанні?

4. Які методи застосовують для корегування мінерального складу води, призначеної для підживлення замкнених зворотних систем? Чи достатньо тільки реагентного пом'якшення води?

5. Які апарати застосовують для йоннообмінного корегування мінерального складу підживлювальної води?

### 3 ОХОЛОДЖУВАЧІ ВОДИ

2.4 Процеси охолодження в охолоджувачах.

2.5 Класифікація споруд для охолодження води.

3.3 Конструкції охолоджувачів.

#### 3.1 Процеси охолодження в охолоджувачах

Охолодження у промислових апаратах необхідне у двох цілях:

1. Для здійснення технологічного процесу, що протікає за заданої температури.

2. Для збереження міцності охолоджуваної поверхні агрегату.

При зворотному водопостачанні промислового об'єкта охолоджувальний пристрій (охолоджувач) має забезпечити охолодження циркуляційної води до температур, що відповідають оптимальним техніко-економічним показникам роботи об'єкта.

При охолодженні обладнання, продуктів виробництва, газів тощо вода відбирає тепло й віддає його навколишньому середовищу в охолоджувачах. Найбільш часто тілом, що поглинає тепло від зворотної води, служить повітря.

Отже, зниження температури води в охолоджувачах здійснюється в результаті віддачі її тепла повітрю. Ефективність процесу охолодження залежить від температури повітря, його вологості, швидкості руху повітря та поверхні зіткнення охолоджуваної води з повітрям.

Охолодження води повітрям відбувається за рахунок таких процесів:

1. Передача тепла повітрю зіткненням, тобто за рахунок теплопровідності та конвекції:

$$Q_{\text{зіткн}} = \alpha \cdot F \cdot (t - \tau), \text{ кДж/год}, \quad (3.1)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт теплопередачі зіткненням, кДж/м<sup>2</sup>·год;

$F$  – площа зіткнення води з повітрям, м<sup>2</sup>;

$t$  – температура охолоджуваної зворотної води, °С;

$\tau$  – температура повітря, °С.

Тепло від води повітрю передається лише за умови, коли  $t > \tau$ .

2. Передача тепла за рахунок випаровування води, тобто перетворенням частини води на пару;

Кількість тепла, яке віддає вода при випаровуванні, визначається за рівнянням:

$$Q_{\text{вип}} = \beta \cdot F \cdot (1 - \varphi / 100), \quad (3.2)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт теплопередачі випаровуванням;

$F$  – площа зіткнення води з повітрям, м<sup>2</sup>;

$\varphi$  – відносна вологість повітря, %.

Аналізуючи рівняння, можна зробити висновок, що чим менша вологість повітря і більша площа зіткнення води з повітрям, тим вищий ефект охолодження.

Обидва процеси (віддача тепла повітрю зіткненням і випаровуванням) відбуваються в одному напрямку якщо  $t > \tau$ .

У випадку, якщо  $t = \tau$ , охолодження води здійснюється тільки за рахунок випаровування, а при  $t < \tau$  процеси охолодження випаровуванням і зіткненням відбуватимуться в протилежних напрямках.

### 3.2 Класифікація споруд для охолодження води

Для охолодження води використовують як відкриті водойми (ставки, водосховища-охолоджувачі), так і спеціальні споруди.

За способом передачі тепла охолоджувачі поділяють на такі:

- випарні (відкриті), у яких охолодження води відбувається за рахунок випаровування при безпосередньому контакті з повітрям (випаровування 1 % води знижує температуру на 6 °С);

- поверхневі (радіаторні), у яких теплопередача здійснюється за рахунок передачі тепла води до трубок радіатора, а від них – повітрю, тобто немає безпосереднього контакту з повітрям.

До відкритих охолоджувачів відносяться водосховища–охолоджувачі, бризкальні басейни, відкриті градирні, у яких рух повітря забезпечується вітром або природною конвекцією. Баштові й вентиляторні охолоджувачі називаються

градирнями. У баштових градирнях рух повітря забезпечується природною тягою, яка утворюється високою витяжною баштою. Вентиляторні градирні можуть бути обладнані нагнітальним чи всмоктувальним вентилятором, що забезпечує інтенсивний рух повітря.

За способом створення поверхні охолодження охолоджувачі поділяють на: бризкальні, краплинні, плівкові, комбіновані.

### 3.3 Конструкції охолоджувачів

#### Водосховища-охолоджувачі.

Водосховища-охолоджувачі застосовують для охолодження великих витрат води. Охолодження води здійснюється під час руху її від місця випуску до місця водозабору, але при цьому не вся площа бере участь у процесі охолодження.

Орієнтовно, для охолодження 1 м<sup>3</sup> води за годину потрібно біля 30 м<sup>2</sup> площі контакту її з повітрям. Основним показником охолоджувальної здатності є площа активної зони, тобто площа водосховища, з якої відбувається теплопередача. Коефіцієнт використання водосховища  $K_B$  залежить від форми ставка, розташування водозабору й скиду води, умов розтікання потоку. Оптимальною є витягнута форма водосховища з плавним обрисом берегів і розсіювальним випуском, для якої  $K_B$  наближається до одиниці:

$$K_B = \frac{W_{акт}}{W_e}, \quad K_B = 0,5-0,95.$$

Водосховища-охолоджувачі доцільно застосовувати при розташуванні підприємства поблизу природних водоймищ або річок, на яких є сприятливі умови для створення водосховищ.

Використання водосховищ-охолоджувачів дає можливість отримання протягом значної частини року більш низьких температур охолодженої води порівняно із бризкальними басейнами і градирнями. При використанні для охолодження ставків немає необхідності створювати додатковий напір для підйому води та її розбрикування, що є значною перевагою перед іншими типами охолоджувачів.

Недоліки ставків-охолоджувачів:

- складність експлуатації, пов'язана з замулюванням, заростанням ставків і цвітінням води в них; при глибині ставків більше 4 м цвітіння і заростання ставків відбуваються меншою мірою;

- необхідність великих площ через невелике гідравлічне навантаження і значні капітальні витрати на будівництво;
- небажані екологічні наслідки, пов'язані з підвищенням рівня ґрунтових вод, що призводять до зміни флори й фауни, а також ускладнення і дорожчання будівництва промислових цивільних об'єктів у зонах підтоплення.

### Бризкальні басейни.

Бризкальні басейни становлять відкриті резервуари, над поверхнею яких розбризкується вода. Охолодження нагрітої води відбувається за рахунок випаровування та конвективного теплообміну з повітрям.

Такі споруди потребують менше місця, ніж ставки-охолоджувачі, однак вони володіють порівняно низькою і нестійкою охолоджувальною здатністю, що залежить від напрямку і швидкості вітру. Крім того, втрати води в бризкальних басейнах вищі, ніж у градирнях і ставках-охолоджувачах, за рахунок виносу води вітром, що окрім іншого веде до туманоутворення й обмерзання прилеглих будівель і споруд у зимовий час.

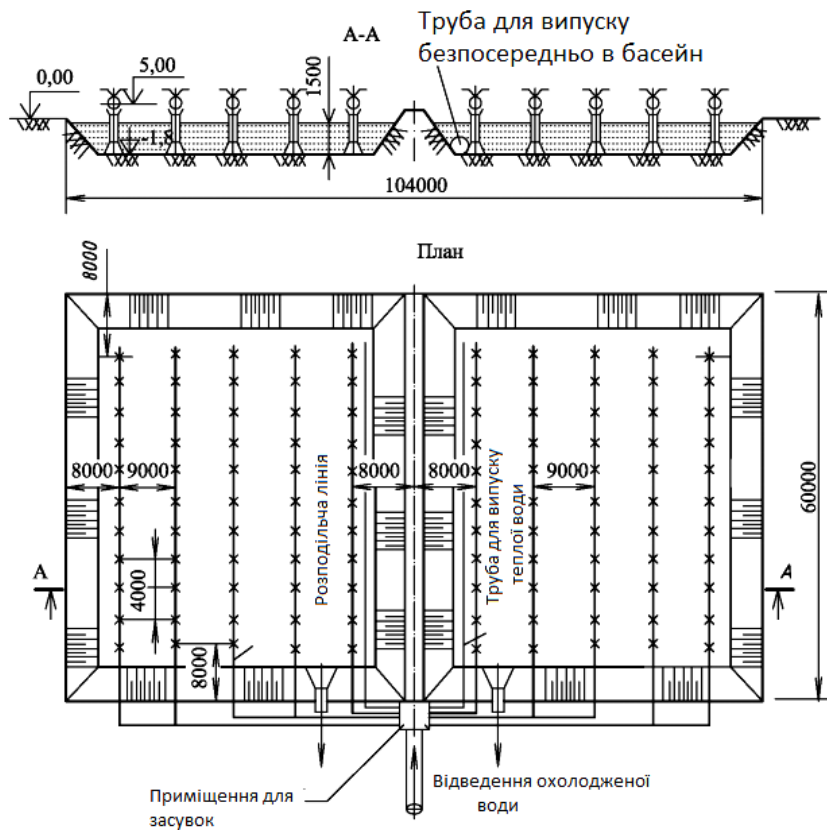


Рисунок 3.1 – Бризкальний басейн

Розбризкування води забезпечується системою розподільних труб для подачі води й сопел. Відстань між розподільними трубами і насадками (соплами), ширина коридорів мають забезпечувати якнайкращі умови для розбризкування води. Факели від окремих насадок не мають перетинатися.

Бризкальні басейни потребують незначних капітальних вкладень, прості в експлуатації, але мають невисокий охолоджувальний ефект і потребують спланованого майданчика. Зазвичай, їх використовують в умовах, коли немає необхідності постійно низької температури води.

Глибина басейну звичайно становить 1,5–2 м, відстань від рівня води до брівки укосу 0,3 м, сопла розташовують на висоті 1,2–1,5 м від поверхні води по одному або пучками, які складаються із 3–5 штук.

Розміри басейнів встановлюються за умови гідравлічного навантаження 0,8–1,3 м<sup>3</sup>/год на м<sup>2</sup> площі. Ширина бризкального басейна має бути не більшою ніж 50 м.

Кількість басейнів повинна бути не менше двох. Через значне винесення краплинної вологи їх розташовують на відстані 50–100 м від інших споруд.

*Розбризкувальні сопла* або насадки призначені для рівномірного розподілу води над басейном і створення однакових за розміром дрібних крапель води. Конструкція сопла й величина напору води перед ним визначають поверхню охолодження водяного факелу.

### **Класифікація градирень, їх конструкції.**

*Градирні* використовують у системах зворотного водопостачання, де потрібне стійке й глибоке охолодження води. Градирні – це більш вдосконалені споруди для охолодження води, що характеризуються високими якісними й кількісними показниками. Високий охолоджувальний ефект градирень визначається наявністю площі поверхні та часу контакту води з повітрям, який досягається різними способами.

У світовій практиці, залежно від конкретних умов, знаходять застосування такі види градирень: відкриті, вентиляторні, баштові, ежекційні та сухі градирні.

У градирнях вихідна вода розбризкується по площі водорозподільним пристроєм у вигляді окремих струменів, які падають до низу, контактують з повітрям і охолоджуються (бризкальні градирні). Проте в більшості градирень для підвищення ступеню контакту води з повітрям встановлюють додатково спеціальний зрошувач. Зрошувач забезпечує подрібнення потоків стікаючої води й контакт їх з повітрям. Охолоджена вода збирається в резервуарі під градирнею. Отже, тепловіддача градирень залежить від швидкості руху крапель чи плівки й головним чином – від швидкості повітря. Рух повітря створюється внаслідок тяги в башті або вентилятором.

Випарні градирні існують двох типів: зрошувальні та безнасадкові.

Безнасадкові градирні (бризкальні та ежекційні) працюють за рахунок розпилення води, розбитої на дрібні краплі, при цьому на поверхні кожної окремої краплі відбувається теплообмін. Поверхня охолодження в бризкальних градирнях створюється за рахунок розбризування води високонапірними соплами, що встановлюють над водозбірним басейном.

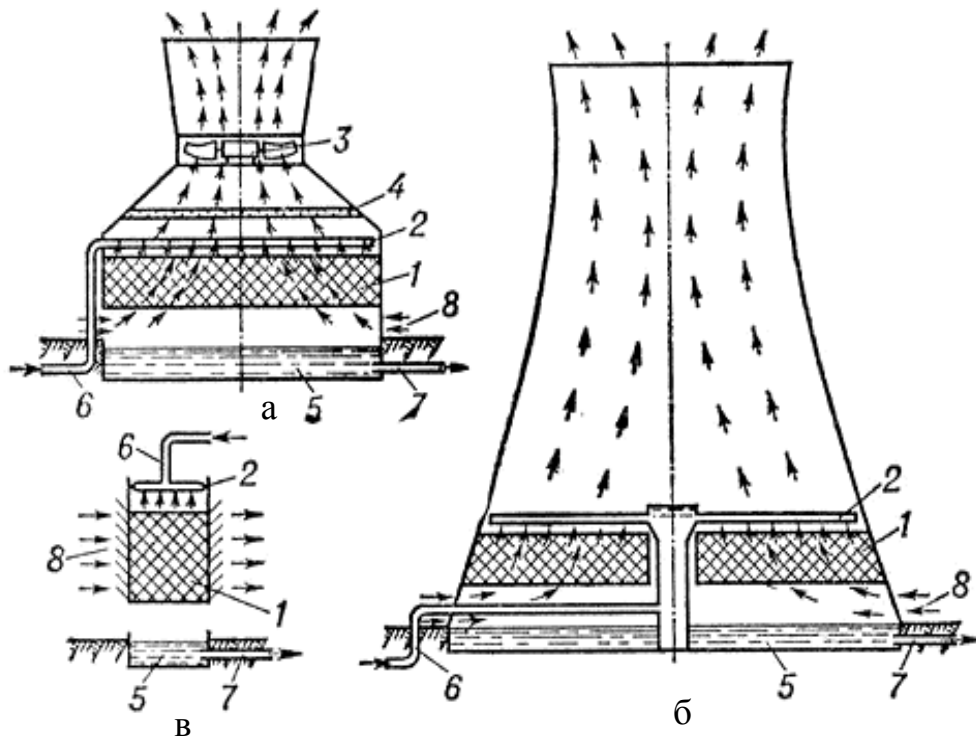


Рисунок 3.2 – Градирні: а – вентиляторна; б – баштова; в – відкрита;  
 1 – зрошувач; 2 – водорозподільувач; 3 – вентилятор; 4 – водоуловлювач;  
 5 – резервуар; 6 – підведення води; 7 – відведення води; 8 – вхід повітря

Краплинний зрошувач складається з великої кількості дерев'яних рейок трикутного або прямокутного перетину, розташованих горизонтальними ярусами. При падінні крапель води з верхніх рейок на нижні утворюються факели дрібних бризок, що створюють велику поверхню зіткнення з повітрям.

Плівкові зрошувачі мають менший, ніж краплинні, аеродинамічний опір, але потребують великих витрат матеріалу на їх виготовлення. Виготовляють їх з дерев'яних та азбестоцементних щитів або конструкцій з полімерних матеріалів. Щити встановлюють вертикально або під невеликим кутом до вертикалі. По поверхні щитів стікає вода, утворюючи плівку товщиною 0,3–0,5 мм.

Потрібно зазначити, що незважаючи на різноманіття конструкцій градирень, вони мають низку загальних елементів: водорозподільні системи, зрошувальні пристрої, водоуловлювачі, а також водозбірні резервуари.



*Відкриті градирні* порівняно з іншими типами градирень найбільш прості та близькі до бризкальних басейнів за своїми якісними й кількісними характеристиками. Їх поділяють на бризкальні та крапельні.

Відкриті бризкальні градирні становлять невеликий витягнутий у плані бризкальний басейн, що з усіх боків огорожений жалюзійною решіткою (рис. 3.2, в), що виконує роль водоуловлювачів і перешкоджає виносу бризг за межі градирні.

*Баштові градирні* мають високі витяжні башти, які забезпечують природну тягу повітря за рахунок різниці в щільності повітря на виході з башти та теплого й зволоженого повітря всередині градирні.

Площа баштових градирень може бути від до 4 000 м<sup>2</sup>, а продуктивність – від 10 м<sup>3</sup>/год до 32 000 м<sup>3</sup>/год. Щільність зрошення приймається 4–8 м<sup>3</sup>/год на м<sup>2</sup>. Площа перерізу башти призначається 30–40 % від площі зрошувача.

Баштові градирні забезпечують більш стійке охолодження, ніж відкриті градирні й бризкальні басейни. Вони припускають більшу інтенсивність зрошення, а тому й більш компактні і можуть мати будь-яку продуктивність. Але вони мають високу будівельну вартість, а також складні при спорудженні.

Гідравлічне навантаження для баштових градирень вище, ніж для відкритих, і становить звичайно 3–6 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год.

У баштових градирнях використовують протитокові й поперечні зрошувачі. При використанні протитокових зрошувачів башти розташовують над зрошувачем, а поперечних – зрошувач розташовують кільцем навколо башти.

Башти градирень споруджують циліндричної, гіперболоїдної і наближеної до неї форми, з круглою підставою або у вигляді багатокутника. Виконують їх із залізобетону або роблять сталевий каркас, який зсередини обшивають деревом чи азбестоцементом.

Водозбірний резервуар градирні виготовляють із залізобетону з відповідною гідроізоляцією, обладнують переливними й грязьовими випусками.

Воду на охолодження до розподільних пристроїв подають стояками центральними або боковими (для невеликих градирень). Зрошувачі встановлюють на дерев'яний або залізобетонний каркас.

*Вентиляторні градирні* дозволяють підвищувати щільність зрошення до 10–14 м<sup>3</sup>/год на м<sup>2</sup>. Вентиляторні градирні поділяють на баштові, що обладнані

вентилятором великої продуктивності, та секційні, які складаються з окремих секцій із самостійними вентиляторами. Бувають односекційні градирні й багатосекційні, що складаються з 2–6 стандартних прямокутних чи квадратних у плані секцій, площею до 200 м<sup>2</sup> кожна.

Односекційні (одновентиляторні) градирні мають площу зрошувача більше 400 м<sup>2</sup>, застосовують їх при великих витратах (більше 10 000 м<sup>3</sup>/год), споруджують круглими, квадратними або прямокутними в плані.

Вентиляторні градирні забезпечують глибоке й стійке охолодження, але витрачають велику кількість електроенергії, складні в експлуатації, вентилятор постійно шумить, може з'являтися туман над землею, який несприятливо впливає на технологічне обладнання. У районах з низькою температурою і високою відносною вологістю зовнішнього повітря вони можуть бути нерентабельними. Звичайно вентиляторні градирні використовують в умовах, коли потрібна низька й стабільна температура води.

#### *Питання для самоперевірки*

1. Класифікація споруд для охолодження води.
2. Водосховища-охолоджувачі. Типи, умови використання.
3. Застосування водосховищ-охолоджувачів і бризкальних басейнів для охолодження води. Переваги й недоліки.
4. Типи градирень.
5. Кількісні та якісні характеристики охолоджувачів.

## **4 ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ВОДИ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ**

- 4.1 Основні споживачі води на підприємствах теплоенергетики.
- 4.2 Системи охолодження конденсаторів.
- 4.3 Водопідготовка на підприємствах теплоенергетики, основні завдання та методи підготовки води.

### **4.1 Основні споживачі води на підприємствах теплоенергетики**

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 охолоджувальної 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.

Теплоенергетичні установки безперервно споживають значну кількість води високої якості. Постійна потреба теплових електростанцій, теплоелектроцентралей, котельень 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.

Найпростішу конденсаційну станцію представлено на рисунку 4.1.

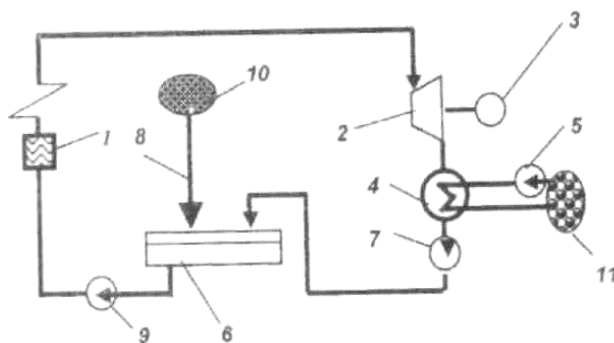


Рисунок 4.1 – Схема конденсаційної електростанції:

*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.

Сумарна витрата технічної води на ТЕС та АЕС залежить від потужності станції, типу встановленого обладнання, кратності охолодження пари, температури охолоджувальної води. Питома витрата охолоджувальної води на 1 кВт встановленої потужності тим менша, чим вищі початкові параметри пари і чим більша одинична потужність турбін.

Питання водопідготовки та організації водно-хімічного режиму електростанцій мають важливе значення для забезпечення роботи електростанцій і підприємств теплових мереж без ушкоджень і зниження економічності, спричинених корозією внутрішніх поверхонь водопідготовчого, теплоенергетичного обладнання, а також без утворення накипу та відкладень на поверхнях передачі тепла, відкладень у проточній частині турбін, шламу в обладнанні і трубопроводах електростанцій і теплових мереж.

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 із вказаних систем характеризується своїми особливостями і пред'являє специфічні вимоги до хімічних і санітарно-бактеріологічних показників складу води, яку використовують.

Крім охолоджувальних 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).

Для виробництва з води пари застосовують парові котли різної продуктивності та різних параметрів, першою чергою – тиску. Вода, що подається у котли для виробництва пари, має бути пом'якшена (хімічно очищена). Загальна твердість цієї води повинна бути не вище 0,6 мг-екв/л для котлів низького тиску, а для котлів високого тиску – 0,03–0,06 мг-екв/л.

Устаткування ТЕЦ має експлуатуватися без утворення відкладень на поверхнях нагрівання. Такі відкладення утворюються з домішок і розчинених солей, що надходять із водою, тому вихідна вода піддається спеціальній фізико-хімічній обробці.

#### 4.2 Системи охолодження конденсаторів на ТЕС

Найбільш водоемкими споживачами води на ТЕС є системи водяного охолодження конденсаторів парових турбін. Кількість охолоджувальної 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.

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.

Для охолодження конденсаторів використовують оборотні системи зі ставками-охолоджувачами, градирнями чи бризкальними басейнами або прямоточні системи при наявності водотоків з великим дебітом води.

Принципова схема прямоточного охолодження конденсаторів зображена на рисунку 4.2.

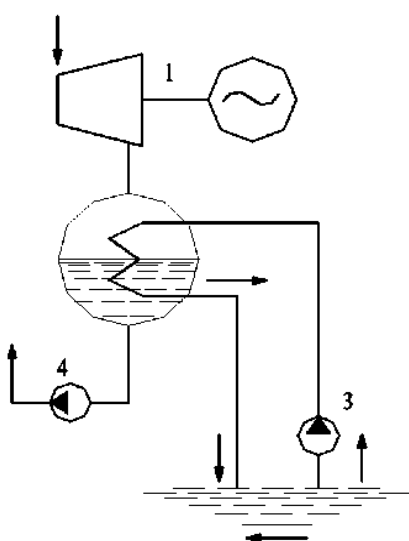


Рисунок 4.2 – Принципова схема прямоточного охолодження конденсаторів:

*1 – турбіна; 2– конденсатор турбіни; 3 – циркуляційний насос;*

*4 – конденсатний насос*

Враховуючи, що нагрівання води в конденсаторі становить 6–12 °С і кількість води дуже велика, необхідно передбачати заходи щодо впливу тепла, що відводиться на екологічну обстановку у водоймі до мінімуму. Використання річки як джерела водопостачання системи охолодження за санітарними нормами дозволено у тому випадку, якщо дебіт річки у створі забору води у три–чотири рази і більше перевищує потребу електричної станції у технічній воді. У цьому випадку виконується вимога, згідно з якою теплові скидання не мають викликати підвищення власної температури водоймища більш ніж на 5 °С влітку та на 3 °С взимку.

Найбільш вигідною для забезпечення конденсаторів парових турбін водою є **оборотна схема**.

В оборотних системах вода охолоджується в природних або спеціальних створених наливних водоймах-охолоджувачах, градирнях та бризкальних басейнах.

В оборотній схемі дуже важливо забезпечити необхідний хімічний склад охолоджувальної води, для того щоб знизити або повністю виключити небезпечність утворення щільних сольових відкладень та корозійне зношення металу, з якого виготовлені конденсатори.

Найбільш поширеним методом стабілізації охолоджувальної води є продувка систем водяного охолодження, тобто відведення 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 охолоджувальної води відносяться підкислення, рекарбонізація, фосфатування.

Система оборотного водопостачання з водоймою-охолоджувачем найбільш поширена на конденсаційних електростанціях.

В оборотних системах зі ставками-охолоджувачами охолодження води відбувається з поверхні дзеркала води, що бере участь у теплообміні (активна зона водоймища). Такий тип оборотної системи застосовується при розташуванні електростанції поблизу природних водойм і річок, де є сприятливі умови для їхнього спорудження. Ставки-охолоджувачі вимагають великих площ і великих капітальних витрат на будівництво гідротехнічних споруд.

Необхідна для охолодження води площа водосховища залежить від потужності електростанції, її ККД, конфігурації та глибини водосховища,

клімату району. Наливним водосховищам надають такої форми, яка б дозволила ефективно використовувати всю їхню акваторію.

*Система зворотного охолодження із градирнями.* На ТЕС і АЕС поширення також набули системи оборотного охолодження з градирнями, в яких вода використовується багаторазово і потрібні лише невеликі добавки води для поповнення втрат в охолоджувальних пристроях (рис. 4.6). У градирнях температура оборотної води знижується за рахунок випаровування частини підігрітої в конденсаторі води та конвективного теплообміну при контакті з повітрям, потім вода знову подається до теплообмінників – конденсаторів. Частина оборотної (охолоджувальної) води в градирнях втрачається за рахунок випаровування ( $P_{\text{вип}} = 1-1,5 \%$ ), частина – крапельного винесення ( $P_{\text{ун}} = 0,1 \%$  – у градирнях з вологовловлювачем та  $P_{\text{ун}} = 0,5 \%$  – без вологовловлювача). Волога, що випаровується, є чистою водою, тому за рахунок випаровування солевміст води в оборотній системі підвищується. Регулювання солевмісту здійснюється методом водообміну за допомогою продувки системи  $P_{\text{прод}}$ .

Втрати з продувкою обумовлені необхідністю підтримання заданої концентрації солей в охолоджувальній воді на рівні, що запобігає утворенню накипу в трубках конденсатора. Зазвичай втрати води з продувкою не перевищують 3 %.

З урахуванням усіх вказаних втрат величина підживлення системи охолодження становитиме

$$P = P_{\text{вип}} + P_{\text{ун}} + P_{\text{прод}} . \quad (4.1)$$

На великих станціях перевагу потрібно віддавати оборотним системам з охолодженням води в баштових градирнях (Рівненська атомна електростанція), у водосховищах-охолоджувачах (Хмельницька атомна електростанція), для невеличких станцій – з охолодженням води у вентиляторних градирнях або бризкальних басейнах. При використанні градирень охолоджена вода потрапляє у машинний зал станції, де встановлені циркуляційні насоси подачі води на конденсатори.

### **4.3 Водопідготовка на підприємствах теплоенергетики, основні завдання та методи підготовки води**

Усі завдання, пов'язані з водопідготовкою або водоочищенням, зосереджуються на забезпеченні максимальної ефективності процесу та створенні продукції належної якості.

До основних галузей, де установка промислової водопідготовки є необхідною умовою для ефективної роботи, ставляться: котельні, ТЕЦ, а також для закладів харчової промисловості, медицини, сільського господарства. У галузі теплоенергетики обов'язковою умовою є використання пом'якшеної води для водогрійних і парових котлів.

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. Отримання води з необхідними характеристиками – питання непросте і, найчастіше, багатоетапне.

Для правильного підбору й установки необхідного водоочисного устаткування необхідно враховувати такі параметри:

- джерело водопостачання і якість вихідної води;
- схеми водопостачання підприємства, режим й обсяг споживаної води;
- технологічні процеси й вимоги до якості очищеної води.

Особливу небезпеку у водонагрівальних процесах представляють солі твердості, що утворюють на поверхні устаткування й нагрівальних елементів щільний наліт, який 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 аварійним ситуацій, зокрема, вибуху котлів.

При роботі котлоагрегата відбувається безперервне накопичення домішок у котловій воді внаслідок її упарювання та припливу солей з живильною водою. Ці домішки можуть забруднювати пару (солі кремнієвої кислоти розчиняються в парі при високому тиску, а потім відкладаються на стінках апаратів при зниженні тиску). Домішки, що залишилися, в котловій воді викликають негативні наслідки, якщо не вжити відповідних заходів для обробки води.

Надходження механічних домішок та солей карбонатної твердості викликають утворення у випарному контурі шламів та пухких сполук, які необхідно періодично видаляти. Розчинені у воді гази ( $\text{CO}_2$  і  $\text{O}_2$ ) при високих температурах мають велику корозійну активність. Присутність у воді органічних сполук також небажана. Висока окислюваність води ускладнює її обробку та видалення мінеральних солей, підвищує піноутворення.



При підготовці води для промислових потреб з води видаляються грубодисперсні та колоїдні домішки, солі для запобігання утворенню накипу, корозії металів, засмічення трубопроводів та забруднення оброблюваних матеріалів при використанні води у технологічних процесах. Так, у теплоенергетиці, де вода є теплоносієм, важливо видалити з води солі твердості та інші домішки у йонній формі, тому що підвищення температури в процесі нагрівання призводить до утворення накипу в технічних елементах системи – котлах, трубопроводах, градирнях.

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 відносяться 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.

Існуючі методи водопідготовки реалізуються в таких основних технологічних прийомах:

- видалення завислих домішок;
- видалення заліза і марганцю;
- видалення органічних забруднень;
- зм'якшення води;
- знесолення;
- видалення мікробіологічних забруднень;
- корегування складу води (корегування рН, фторування, стабілізація).

Як уже згадувалося, накип є основою всіх відкладень на поверхнях, що стикаються з гарячою водою. Чим більший накип, тим більші тепловтрати в системі в результаті порушення теплопередачі. Крім того, відбувається перегрів окремих ділянок котлів, що може призвести до утворення тріщин на них. Через накип та інші відкладення знижується робочий перетин труб, що призводить до збільшення опору потоку, підвищення тиску в котлі, вспінювання води і викиду частини води разом із забрудненнями в пару. У результаті погіршується якість пари, що використовується. Найчастіше це неприпустимо. Підвищення тиску в котлі само по собі дуже небезпечно.

Усунення солей твердості називається пом'якшення. Найбільш поширеними, доступними і такими, що дають хороший результат,

є йонообмінні фільтри. Суть роботи цих фільтрів зводиться до обміну деяких видів катіонів, якими насичена йонообмінна засипка, на катіони кальцію і магнію солей твердості, розчинених у воді. Такий процес називається катіонуванням. Як катіоніти (засипки для фільтра) застосовуються різні матеріали, як природні, так і штучно створені. Найбільш ефективними є синтетичні йонообмінні смоли. Порівняно з іншими катіонітами вони мають велику об'ємну ємність.

Наступним кроком у підготовці води для котельного обладнання є очищення води від розчинених у ній газів, що входять до складу повітря. Частково розчинені у воді кисень і двоокис вуглецю руйнують захисний шар оксидів на поверхні металів. Потім, вступаючи в реакцію з залізом (при наявності навіть невеликої кількості води), призводять до корозії металевих поверхонь. Для зменшення кількості цих газів використовується деаераційне обладнання. Вода після проходження через деаератор надходить в бак для підживлення води.

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.

Технологічні схеми прояснення та знебарвлення можуть передбачати хімічну обробку для часткового пом'якшення, зниження окислюваності, лужності, видалення вільної вуглекислоти, знесолення, а також передбачають додаткове вапнування на попередній стадії. На стадії хімічної обробки передбачається остаточне доведення перелічених показників до нормативних за рахунок Na-катіонування, H-катіонування, H-Na-катіонування (усе це – заміна у воді певних катіонів), аніонування (заміна певних аніонів у вихідній воді), термічне знесолення.

При розгляді споруд підготовки води першою чергою розглядаються вимоги до твердості та загального солемісту. Вміст будь-яких домішок у воді для прямого котлів повинен бути найменшим. При середніх і високих тисках домішки потрапляють в пару завдяки виносу їх з котлової води, при високих тисках у воді розчиняється кремнієва кислота, відкладення якої на турбінах знижує потужність і економічність, а тому виникає потреба вилучення її з води.

Загалом вибір схеми хімічної водопідготовки залежить від якості вихідної води та типу парових котлів. У прямоточних котлах великої продуктивності передбачаються високі, надвисокі, критичні та закритичні параметри пари, вода в яких повністю випаровується, а тому вимоги до додаткової води більш високі, схеми водопідготовки повинні передбачати повне знесолення, знекремнення. Барабанні котли допускають певну концентрацію легкорозчинених солей натрію у котловій воді, а тому додаткова вода повинна пом'якшуватись, і ступінь зм'якшення тим більший, чим більший тиск у котлі.

#### *Питання для самоперевірки*

1. На які цілі витрачається вода на теплових електростанціях?
2. Які системи технічного водопостачання застосовують на ТЕС?
3. З яких основних етапів складається процес водопідготовки?
4. Основні технологічні процеси й споруди, що використовують при підготовці води.
5. Від чого залежить вибір способу обробки води?
6. У чому полягає завдання попередньої очистки води.

## **5 ОБРОБКА ВОДИ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ**

- 5.1 Причини та види заростання труб і теплообмінних апаратів.
- 5.2 Стабільність оборотної води.
- 5.3 Методи обробки води для попередження карбонатних відкладень, корозії труб і теплообмінних апаратів.

### **5.1 Причини та види заростання труб і теплообмінних апаратів**

Хімічний склад води, водний та тепловий режими оборотних систем водопостачання, зміни концентрацій солей та розчинених газів в оборотній воді, її температура, наявність або відсутність у воді біогенних елементів та завислих речовин, а також дисперсний склад визначають причини та види заростання труб та охолоджувальних апаратів.

При експлуатації систем водяного охолодження через незадовільну якість охолоджувальної води часто спостерігаються різні види порушень роботи цих систем внаслідок появи на стінках трубопроводів та теплообмінних апаратів різних відкладень: біологічних обростань; накипу нерозчинних солей; продуктів корозії металевих елементів систем.

Запобігання відкладенням накипу в системах охолодження є одним із основних завдань ефективної експлуатації систем промислового водопостачання.

Відкладення на стінках труб та технологічних апаратів призводять до збільшення втрат напору і зниження внаслідок цього подачі насосів, погіршення умов теплопередачі. Погіршення умов теплопередачі та зменшення витрат охолоджувальної води через утворення відкладень призводить до зниження ефекту охолодження, порушення технологічних режимів роботи теплообмінного обладнання та до значних виробничих втрат.

**Біологічні обростання.** Біологічні обростання – це сукупність мікроорганізмів і водоростей, що оселилися і розвиваються на стінках трубопроводів і теплообмінних апаратів або елементах охолоджувальних пристроїв.

Сприятливі умови для появи обростань створюють поживні речовини, що містяться у воді, та її температура. Найбільш сприятлива температура – до 40–41 °С.

Наявність обростань призводить до збільшення втрат напору, зменшення ефективності теплообміну, забруднення води механічними домішками, колоїдними та розчиненими речовинами органічного походження, підвищує окислюваність води, змінює рН та викликає інші негативні зміни, у результаті відбувається недоохолодження технологічного обладнання, зниження ефективності роботи охолоджувачів, зміна фізико-хімічних властивостей оборотної води. Присутність суспензії інтенсифікує процес біообростань.

Можливість появи біологічних обростань може бути оцінена за окислюваністю води. При окислюваності більше 4–5 мг/л O<sub>2</sub> очікується розвиток біообростань, і чим вона більша, тим за тих самих умов інтенсивніше розвиваються біологічні обростання.

При кількісній оцінці розраховується швидкість зростання біологічних обростань по приросту ваги пластини. Допустима швидкість обростань становить 0,07 г/м<sup>2</sup>· год. Інтенсивність обростань може бути дуже різною для різних локальних зворотних систем одного і того ж підприємства при однаковій якості свіжої підживлювальної води. За сприятливих умов швидкість обростань може досягати дуже великих величин – до 6 г/м<sup>2</sup> на добу. При великій швидкості обростань потрібна спеціальна обробка води з метою запобігання розвитку біоорганізмів. Ефективною виявляється зазвичай комбінація кількох методів обробки води, оскільки види мікроорганізмів різні.

Допустима швидкість біологічного обростання теплообмінних апаратів не повинна перевищувати  $0,07 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ , а швидкість збільшення товщини шару не повинна перевищувати  $0,05 \text{ мм}/\text{місяць}$ . Для попередження інтенсивного біообростання споруд та апаратів в оборотній, а отже і в свіжій воді, має бути обмеженим вміст органічних сполук та сполук біогенних елементів (азоту, фосфору тощо), які є поживним середовищем для мікроорганізмів.

Середні втрати води від випаровування становлять близько  $2,5 \%$  від загального об'єму, від крапельного виносу на градирнях –  $0,3\text{--}0,5 \%$ , скид на продувку становить  $6\text{--}10 \%$ , решта втрат становить близько  $1 \%$  від об'єму оборотної води.

**Відкладення накипу.** При використанні води в парових котлах і системах охолодження (компресори та інші промислові агрегати, що охолоджуються) домішки води можуть обумовлювати утворення накипу. Накипом називають відкладення, що важко видаляються (щільно пристали до металу) темно-сірого або коричневого кольору товщиною до декількох міліметрів.

Заростання трубопроводів і обладнання різними відкладеннями, особливо карбонатом кальцію, а також інтенсивність їх корозії значною мірою пов'язані з кількісними співвідношеннями присутніх у воді різних вуглекислих сполук.

Основною сполукою у складі накипу в системах охолодження є карбонат кальцію. Утворення його є наслідком розпаду бікарбонатних іонів, що містяться в охолоджувальній воді.

До складу накипу також може входити гідроксид магнію і карбонат магнію, сульфат кальцію і силікати кальцію та магнію при великих концентраціях сполук кремнієвої кислоти в охолоджувальній воді.

У більшості оборотних систем теплообмінного водопостачання карбонатна твердість води має знаходитись у межах  $2\text{--}3 \text{ мг-екв}/\text{дм}^3$ .

Накопичення суспензії в холодильниках і теплообмінних трубках відбувається також при розвитку в них біологічних обростань. Виходячи з цього, швидкість руху води в трубчастих холодильниках повинна підтримуватися не менше  $1 \text{ м}/\text{с}$ .

Схильність води до накипоутворення характеризується її термостабільністю, яка визначається за шестибальною шкалою (табл. 5.1).

За складом хімічних компонентів розрізняють: карбонатний накип (до  $90 \%$  карбонату кальцію), сульфатний накип (більше  $50 \%$  сульфату кальцію), силікатний накип (понад  $25 \%$  кремнієвої кислоти), залізоокисний накип

(утворюється сполуками заліза, що надходять з водою, а також внаслідок корозії конструкційних матеріалів), змішаний накип (карбонат кальцію, гіпс, гідроокис магнію, силікати, окиси заліза тощо).

Термостабільність зворотної води рекомендується визначати за шкалою (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Шкала термостабільності охолоджувальної води

Група термостабільності води	Швидкість карбонатних відкладень		Бал термостабільності води
	г/м <sup>2</sup> ·год	мм/місяць	
I Цілком термостабільна	0	0	1
II Термостабільна	<0,1	<0,033	2
	0,1–0,25	0,033–0,08	3
III Обмежено термостабільна	0,25–0,5	0,08–0,16	4
	0,5–1,0	0,16–0,33	5
IV Нетермостабільна	1	>0,33	6

**Корозія металів.** Корозією називається процес руйнування поверхні металу під впливом хімічного чи електрохімічного процесу. Корозія може бути рівномірною або місцевою, різної глибини, у формі бугристих відкладень на стінах труб та теплообмінних апаратів. Корозійна агресивність зворотної води характеризується швидкістю та проникністю корозії (табл. 5.2).

Ступінь корозійної стійкості матеріалу прийнято характеризувати швидкістю корозії його за дії агресивного середовища (води). Корозійна стійкість металів при рівномірній корозії та стаціонарному процесі визначається швидкістю корозії в г/м<sup>2</sup>·год або мм/рік. Корозійна стійкість неметалічних матеріалів оцінюється якісно щодо зміни міцності, проникності та інших властивостей матеріалів.

Серед численних факторів, що спричиняють корозію, найважливішими є: присутність газів – кисню, оксиду вуглецю, сірководню; висока концентрація йонів водню, солей, головним чином сульфатів та хлоридів; контакт різнорідних металів, неоднорідність структури та деформації конструкцій, температура води та високотемпературна пара, а також продукти розкладання накипу. Корозія починається у тих місцях, де хімічні чи фізичні умови порушують цілісність захисної плівки оксидів металу на його поверхні.

Найбільш агресивними є йони хлору та сульфат-йони, оскільки вони легко руйнують захисну плівку, полегшуючи перехід йонів заліза в розчині і сприяють виникненню електрохімічних процесів. Особливо небезпечний комплексний вплив різних факторів.

Швидкість руху води також є одним із найбільш суттєвих факторів, що визначають інтенсивність корозії.

## 5.2 Стабільність зворотної води

Вода, що циркулює у зворотних системах, зазвичай нестабільна і має проходити певну обробку.

У зворотній та стічній воді кожній концентрації йонів  $\text{HCO}_3^-$  і  $\text{Ca}^{2+}$  відповідає певна концентрація розчиненої  $\text{CO}_2$ , яка залежить від констант рівноваги першого та другого ступенів дисоціації вугільної кислоти, а також від константи добутку активностей ( $\text{CaCO}_3$ ). Ця величина розчиненої  $\text{CO}_2$  називається «рівноважною» вуглекислотою.

При недостатній концентрації  $\text{CO}_2$  порівняно з рівноважною концентрацією існує тенденція до розпаду частини бікарбонатних йонів, що призведе до додаткового утворення карбонатних йонів та виділення з розчину осаду у вигляді карбонату кальцію.

У випадку, якщо вміст у воді вільної вуглекислоти збігається з необхідною рівноважною концентрацією, з води не виділяється осад карбонату кальцію і вона буде стабільною. Надлишок  $\text{CO}_2$  у воді може розчинити  $\text{CaCO}_3$ .

Воду, що містить вільну вуглекислоту в концентрації, що перевищує рівноважну, називають агресивною.

Стабільність води може порушуватись через наявність агресивної вугільної кислоти, низького рН, пересиченість води карбонатом кальцію або гідроксидом магнію, підвищеною концентрацією сульфатів або хлоридів, підвищенням температури.

Стабільність води характеризується *показником стабільності  $C_o$* . Існують два методи визначення цього показника: основний і допоміжний. При визначенні основним методом показник стабільності  $C_o$  знаходять за формулою:

$$C_o = \frac{L_{\text{вих}}}{L_{\text{нас}}}, \quad (5.1)$$

де  $L_{\text{вих}}$  – лужність вихідної води, моль/л;

$L_{\text{нас}}$  – лужність води після насичення карбонатом кальцію, моль/л.

При визначенні допоміжним методом показник стабільності  $C_d$  знаходять за формулою:

$$C_d = \frac{pH_{вих}}{pH_{нас}}, \quad (5.2)$$

де  $pH_{вих}$  – значення  $pH$  вихідної води;

$pH_{нас}$  –  $pH$  води, насиченої карбонатом кальцію.

При струшуванні води, що містить агресивну вугільну кислоту з карбонатом кальцію, він розчиняється, перетворюючись на гідрокарбонат кальцію. Внаслідок цього лужність і  $pH$  води підвищуються. Якщо вода пересичена карбонатом кальцію, то відбувається його відкладення і зменшення лужності та  $pH$  води.

Отже, при  $C > 1$  вода нестабільна і схильна до відкладення карбонатів. При  $C < 1$  вода агресивна, схильна до розчинення карбонатних відкладень і бетону. Для стабільної води  $C = 1$ .

Для теоретичної оцінки стабільності води  $J_1$  застосовується метод В. Ф. Ланжельє, яким встановлюється ступінь відхилення певної досліджуваної води від рівноважного стану за величиною концентрації водневих йонів – дійсної величини  $pH$  і обчисленої  $pH$  за даними хімічного аналізу (концентрації солей або сухого залишку  $P$ , лужності  $L$  та вмісту кальцію  $Ca^{2+}$ ) при температурі, з якої вона використовуватиметься: при  $pH = pH_s$  вода стабільна; при  $pH > pH_s$  вода дає відкладення; при  $pH < pH_s$  вода корозійна.

Однак цей метод може бути лише якісним показником «схильності» природної води до того чи іншого процесу, оскільки співвідношенням  $pH$  і  $pH_s$  визначаються не всі властивості води щодо відкладень або корозії металів та бетону, а лише ті, що залежать від наявності у воді вуглекислоти при використанні цієї води в прямоточних системах або системах з повторним використанням (без проміжного охолодження). Для систем оборотного водопостачання цей метод є досить слабкий для застосування.

### **5.3 Методи обробки води для попередження карбонатних відкладень, корозії труб і теплообмінних апаратів**

На сьогодні розроблено велику кількість методів протинакипної обробки води. Це обумовлено різноманітністю умов експлуатації оборотних систем водопостачання. Умовно всі методи можна поділити на *реагентні* (ті, що основані на додаванні в оборотну або підживлювальну воду реагентів) і *безреагентні* (фізичні).



До першої групи відносять регулювання продувки, підкислення, рекарбонізацію, реагентне й катіонітне пом'якшення, знесолювання. До другої групи – фосфатування, додавання комплексонів, фізичні методи. Кислотно-фосфатна обробка води є комбінованим методом запобігання випадінню щільних сольових відкладень.

Вибір того чи іншого засобу обробки води з метою запобігання карбонатних відкладень залежить головним чином від якості води, що використовують, і місцевих умов (конструкції теплообмінних апаратів, температури продукту, що охолоджують, ступеня нагріву охолоджувальної води та швидкості її руху в апаратах, типу охолоджувача оборотної води тощо).

Для попередження корозії та захисту трубопроводів і обладнання в системах промислового водопостачання застосовують як методи стабілізації води, так і інші прийоми:

- нанесення різних захисних покриттів з використанням матеріалів, що традиційно для цього застосовують (захисні лаки, емалі, фарбування поверхні тощо), застосування катодного захисту;
- введення інгібіторів;
- введення фосфатів, що утворюють захисні плівки на катодних і анодних ділянках поверхні металу й гальмують корозійний процес;
- введення вапна для створення і підтримки захисної плівки  $\text{CaCO}_3$ ;
- застосування магнітної, ультразвукової обробки та інших методів обробки води.

Для запобігання утворення відкладень у конденсаторах застосовуються:

1. Освіження зворотної води, тобто додавання до системи свіжої води з меншою карбонатною твердістю  $T_K$  і скидання (продувка) частини відпрацьованої зворотної води.

2. Введення у додаткову воду фосфатів, що гальмують процес кристалізації  $\text{CaCO}_3$ .

3. Підкислення води, причому твердість карбонатна  $T_K$  свіжої води переходить у некарбонатну, солі якої не випадають в осад. При цьому знижується рН і зростає концентрація вільної вуглекислоти  $\text{CO}_2$ .

4. Рекарбонізація зворотної води – компенсація втрат рівноважної вуглекислоти шляхом добавки у воду вуглекислоти, наприклад димових газів.

6. Магнітна обробка води.

7. Комбіновані методи обробки води.

Підкислення циркуляційної води проводиться з метою часткового зниження  $J_k$  до значення, рівного або трохи нижчого за  $J_{k.прод}$  з використанням  $H_2SO_4$  як найбільш дешевого й доступного реагенту. Уведена у воду кислота розкладає гідрокарбонат кальцію за реакцією:



Окрім того до руйнування накипоутворювача  $Ca(HCO_3)_2$  при підкисленні виділяється  $CO_2$ , що стабілізує залишкову частину гідрокарбонату кальцію ( $J_{k.зал}$ ).  $J_{k.зал}$  знаходиться зі співвідношення:

$$J_{k.зал} = J_{k.гран} \cdot \frac{P_2 + P_{прод}}{P_1 + P_2 + P_{прод}} \quad (5.4)$$

Витрати технічної сірчаної кислоти  $Q_k$  (г/год) на обробку охолоджувальної води підраховується за знайденим значенням  $J_{k.зал}$  відповідно до формули

$$Q_k = \frac{49 \cdot Q_{цирк} \cdot P_{доб}}{100 \cdot K} \cdot (J_{k.доб} - J_{k.зал}), \quad (5.5)$$

де  $Q_{цирк}$  – витрата охолоджувальної води в системі, м<sup>3</sup>/год;

$P_{доб}$  – відсоток добавки в систему;

$K$  – вміст  $H_2SO_4$  у технічному продукті, частки одиниці.

Рекомендується вибирати такий режим підкислення, при якому значення  $J_{k.зал}$  не опускалося б нижче 1,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>. При уведенні концентрованої кислоти необхідно забезпечити гарне перемішування кислоти з водою.

Процес підкислення небажаний при великій лужності додаткової води, тому що при цьому значно підвищується концентрація сульфатів в охолоджуючій воді й зростає небезпека утворення відкладень  $CaSO_4$  у трубках конденсаторів і посилення сульфатної корозії матеріалів СОО.

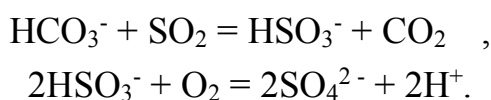
Фосфатування охолоджувальної води в СОО здійснюється з метою гальмування процесу утворення твердої фази  $CaCO_3$ , фосфати гальмують їхній подальший ріст, збільшують припустимий ступінь пересичення розчину й тим самим стабілізують воду. При використанні гексаметафосфату натрію  $(NaPO_3)_6$  з надлишковою концентрацією 1–2 мг/дм<sup>3</sup> у перерахуванні на  $PO_4^{3-}$  стабільний безнакипний режим оборотної системи зберігається до значень  $J_{k.перед} = 5–5,5$  мг-екв/дм<sup>3</sup>. Із часом стабілізуючі властивості фосфатів втрачаються за рахунок їхнього гідролізу, тому потрібно їхнє безперервне дозування.

При високій карбонатній твердості додаткової води ( $J_{k.доб} > 4$  мг-екв/дм<sup>3</sup>) доцільно обробляти охолоджувальну воду комбінованим способом –

підкисленням і фосфатуванням. Кислота призначається для зниження карбонатної твердості до значення, стабілізованого фосфатами, що дозволяє скоротити витрату кислоти й забезпечити безнакипний режим системи охолодження.

Запобігання процесу гідролізу гідрокарбонатів з утворенням іона  $\text{CO}_3^{2-}$  можна домогтися методом заповнення десорбованого в градирні  $\text{CO}_2$  до рівноважного значення його в охолоджувальній воді. Оскільки стабілізація води в цьому випадку відбувається в результаті насичення її вуглекислим газом, процес називається рекарбонізацією води. Як джерело  $\text{CO}_2$  на ТЕС використовують продукти згорання палива. Відзначимо, що при рекарбонізації не відбувається помітного збільшення солевмісту води, що спрощує скидання продувної води  $\text{COO}$  в природні водойми.

Продукти згорання палива містять  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , азот і кисень. Сірчистий газ добре розчиняється у воді й реагує з гідрокарбонатами з утворенням  $\text{CO}_2$ :



У цій технології кількість сульфатів у воді зростає при еквівалентному зниженні карбонатної твердості (подібно до процесу підкислення) і збільшенні її некарбонатної частини.

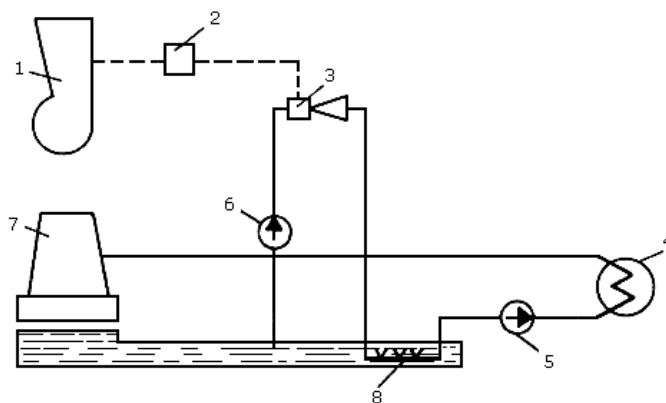


Рисунок 5.1 – Схема рекарбонізації охолоджувальної води димовими газами:

- 1 – димосос; 2 – зололовлювач; 3 – водоструминний ежектор;  
 4 – конденсатор; 5 – циркуляційний насос; 6 – насос подачі води до ежектора;  
 7 – градирня; 8 – барботажний пристрій

Основною технологічною операцією при введенні  $\text{CO}_2$  у циркуляційну воду є організація його розчинення, що становить 40–60 % у відомих технічних пристроях. При обороті води в градирні відбувається безперервний «віддув»  $\text{CO}_2$ , тому потрібне безперервне введення димових газів у циркуляційну воду.

Продукти згорання відбираються за димососом й очищаються від золи в сухих мультициклонах. Найбільш раціональною серед різних систем насичення води газом є схема з використанням ежектора (рис. 5.1), що забезпечує гарне перемішування димових газів з оброблюваною водою. Після ежектора водогазова суміш надходить через барботажний пристрій у прийомний колодязь циркуляційних насосів.

### **Запобігання біологічних обростань.**

Підвищення температури води в системах охолодження, наявність живильних речовин і кисню є причиною інтенсивного розвитку в охолоджувальній воді бактерій, грибків і водоростей різних видів. При окисності води вище  $10\text{--}15 \text{ мг}\cdot\text{O}_2/\text{дм}^3$  біологічні утворення у формі слизуватих відкладень формуються на поверхнях систем оборотного охолодження найбільш інтенсивно.

Біологічні обростання – це сукупність мікроорганізмів і водоростей, що оселилися й розвиваються на стінках трубопроводів і теплообмінних апаратів або елементах охолоджувальних пристроїв. Сприятливі умови для появи обростань створюють живильні речовини, що перебувають у воді, та її температура. Найбільш сприятлива температура – до  $40\text{--}41 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Обростання трубопроводів і теплообмінних апаратів можуть складатися із зооглейних і нитчастих бактерій, водних грибків, інфузорій, залізобактерій (якщо у воді втримуються йони заліза), сіркобактерій (за наявності у воді сірководню або інших сполук сірки), а також мідій, губок, моллюсків тощо.. Розвиток бактерій проявляється у формі слизуватих відкладень. Серед слизуватих відкладень накопичується пісок та інша суспензія. При наявності у воді заліза й марганцю залізобактерії й марганцеві бактерії швидко розмножуються, закупорюючи трубки холодильників. Заселяючи теплообмінну поверхню, мікроорганізми підсилюють корозійні процеси й руйнування металоконструкцій. Інтенсивно розвиваючись, угруповання мікроорганізмів утворюють пружні й міцні плівки уздовж трубок теплообмінних апаратів.

Для запобігання біологічних обростань у системах охолодження, які є ідеальним середовищем для росту живих організмів, застосовуються:

- очищення конденсаторних трубок гумовими кульками;
- обробка води сильними окислювачами, такими як хлор і його похідні, а також мідьвмісними солями.

Механізм бактерицидної дії молекулярного хлору і його похідних полягає в окислюванні ферментів клітки з наступним відмиранням мікроорганізмів.

Для боротьби із твердими, мушлеподібними обростаннями у системах хлорування охолоджувальної води є недостатньо ефективним. У цих випадках застосовують мідний купорос  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  з дозою іонів міді близько 1–2 мг/дм<sup>3</sup>. Іони міді, взаємодіючи з цитоплазмою кліток, призводять до їхньої загибелі. Цей метод придатний тільки для оборотних систем за умови строгого контролю над скидною водою. Концентрація міді в скидній воді не повинна перевищувати 0,01 мг/дм<sup>3</sup>, а вільний хлор повинен бути повністю відсутній.

Для видалення м'яких, мулистих біологічних відкладень – обростань у конденсаторних трубках може застосовуватися очищення трубок «на ходу» монолітними гумовими кульками щільністю 1 г/см<sup>3</sup> з діаметром, що дорівнює внутрішньому діаметру конденсаторних трубок. Схему установки наведено на рис. 7.6. Число циркулюючих кульок, що завантажують у вхідну камеру, становить 10 % від числа трубок у конденсаторі. Кульки захоплюються потоком води, проходять із ним по трубках і очищають відкладення. У вихідній камері конденсатора кульки затримуються сітками й ежекторами знову транспортуються у вхідну камеру. Система включається автоматично при включенні в роботу насоса з періодичністю, обумовленою ступенем забруднення трубок та якістю охолоджувальної води.

#### *Питання для самоперевірки*

1. До яких негативних наслідків призводить утворення накипу?
2. Які реагенти застосовують для боротьби з біологічними відкладеннями?
3. Поясніть особливості технології хлорування охолоджувальної води.
4. Які, крім реагентних, відомі методи боротьби з відкладеннями та обростаннями?
5. Назвіть можливі прийоми видалення відкладень, утворених у конденсаторі.

## **6 ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО ПІДПРИЄМСТВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ**

6.1 Споживачі води на підприємствах чорної металургії.

6.2 Системи виробничого водопостачання металургійних підприємств.

6.3 Водопостачання основних виробництв підприємств чорної металургії.

### **6.1 Споживачі води на підприємствах чорної металургії**

До комплексу підприємств чорної металургії відносяться підприємства з видобування і збагачення руди і нерудних копалин, які є сировиною для виробництва чавуну і сталі, металургійні комбінати з виплавки чавуну і сталі, виробництва прокату і металів, а також коксові заводи з вуглезбагачувальними фабриками, заводи вогнетривких виробів. Усі вони можуть бути розкидані на значній території і, як правило, мають самостійні системи виробничого водопостачання. Є також велике допоміжне господарство, яке не має прямого відношення до продукції, що випускає підприємство. Водопостачання цього господарства досягає 40–50 % загальної витрат води (це об'єкти енергетичного господарства – ТЕЦ і ТЕС, пароповітрядвуні станції, кисневі станції тощо).

До складу металургійного комбінату входять такі виробництва:

- агломераційна фабрика (підготовка (обшматкування) руди і шихти для доменних печей – сировини для виробництва чавуну);
- коксохімічний завод (виробництво коксу, призначеного для відновлення руди);
- доменні печі (виробництво чавуну);
- сталеплавильний цех (виробництво сталі різних сортів);
- цех безперервного розливання сталі (формування слябів і блюмів – заготовок для виробництва кінцевої продукції);
- цех гарячої прокатки (виробництво листів, брусів тощо);
- цех холодної прокатки (виробництво готової продукції (тонкий лист різних сортів).

Металургійні комбінати з повним циклом мають складне водне господарство, що містить понад 30 оборотних систем, оснащених потужними насосними станціями, регулюючими ємностями, спорудами з очищення й охолодження води. Воно повинно безперервно забезпечувати споживачів

водою належної якості і в необхідній кількості, забезпечувати повне очищення виробничих стічних вод для їхнього повторного використання у виробництві.

Незважаючи на багатоманітність зворотних систем водопостачання за якістю води, що використовується на металургійних комбінатах, можна умовно виділити п'ять груп водоспоживачів:

1) споживачі, що використовують чисту воду, вміст зависі в цій воді – до 50 мг/л, солі тимчасової твердості 1–3 мг–екв/л, температура 28–32 °С. Це коксові й доменні печі, нагрівальні печі прокатного виробництва, мартенівські і електроплавильні печі, конвертери, конденсатори на ТЕС, пароповітродувні станції (ПВС), устаткування компресорних і кисневих станцій;

2) споживачі, що використовують воду з тимчасовою жорсткістю не більше 0,5–1 мг–екв/л. До цих споживачів належать установки безперервного розлиття сталі (охладження кристалізаторів) та охолодження металу безпосередньо поливанням (душируючі установки);

3) споживачі, що використовують воду із вмістом зависі 200–300 мг/л, решта вимог аналогічна до вказаних у п.1. – до них належать установки з очищення забрудненого газу доменного, сталеплавильного та агломераційного виробництва;

2) споживачі, що не пред'являють вимог до температури та солевмісту і мають занижені вимоги до наявності завислих речовин. Цю воду використовують для транспортування відходів виробництв (окалини, золи та шлаків);

3) споживачі, що не належать безпосередньо до металургійного виробництва, але пред'являють завищені вимоги до якості води. Цю воду найчастіше використовують у вентиляційних системах, системах для приготування пари та системах господарсько–питного водопостачання.

## **6.2 Системи виробничого водопостачання металургійних підприємств**

До системи водопостачання металургійного комбінату входять водозабірні споруди, водоводи, розводяща мережа, що поповнює втрати води в оборотних циклах, системах протипожежного водопроводу, шламонакопичувачі і хвостосховища, охолоджувальні й очисні споруди, насосні станції, очисні споруди дощових стоків.

На вибір схеми водопостачання металургійних комбінатів впливають: розмір водоспоживання, наявність і потужність джерел водопостачання та їх віддаленість від майданчика заводу, різниця геодезичних відміток рівня води в джерелі і заводського майданчика.

У сучасних умовах, коли вирішального значення набули вимоги екології і раціонального використання води, застосовують оборотні, послідовні й замкнені схеми водопостачання металургійних підприємств.

Застосування замкнених схем водопостачання підприємств чорної металургії є оптимальним вирішенням питань організації водного господарства, оскільки при цьому виключається забруднення водних джерел і досягається майже повне використання у виробництві корисних відходів, отриманих із стічних вод. Безстічні схеми дозволяють використовувати у виробничому водопостачанні всі стоки, що відводяться з території підприємства, скоротивши до мінімуму забір свіжої води з джерела водопостачання.

Найбільш крупними споживачами води, а отже і джерелами утворення значної кількості забруднених стічних вод (до 90 % загальної кількості) на металургійних підприємствах є газоочистки різних металургійних виробництв, а також стани гарячої прокатки листів. Очистка стічних вод на металургійних заводах вирішується самостійно для окремих виробництв.

Система виробничого водопостачання металургійного заводу має декілька оборотних циклів для кожного цеху, що відрізняються один від одного якістю води та потрібним напором у мережі. Кількість свіжої води коливається від 5 % до 8 %. Основні цехи повинні отримувати воду безперервно, тобто обов'язкове дублювання ліній мережі з подачею по кожній повних розрахункових витрат води. До 75 % води використовують на охолодження конструктивних елементів доменних, сталеплавильних, нагрівальних пічок, конденсацію пару тощо. Ця вода тільки нагрівається. Вода для охолодження обладнання і продукції, а також транспортування механічних домішок нагрівається та забруднюється, кількість її доходить до 22 %.

#### *Газоочистка доменного цеху.*

При доменному цеху в самостійний комплекс виділяють споруди з очищення доменного газу та з обробки стічних вод, що утворюються при його очищенні. Доменні гази містять у собі великий відсоток окису вуглецю (до 80 %). Ці гази є хорошим енергетичним паливом, і тому після очистки їх використовують на цьому ж самому заводі.



Водне господарство доменного газоочищення приймають за замкненим зворотним циклом. У цехах очищення доменного газу вода слугує поглиначем механічних домішок, розчинником газів, а також охолоджувачем і транспортувальним середовищем поглинених домішок.

Сумарна витрата води при підвищеному і високому тиску газу під колошником становить близько 3,2–4,5 м<sup>3</sup> на 1 000 м<sup>3</sup>. Склад газу і відповідно склад стічних вод залежить від багатьох факторів: виду палива, режиму плавлення (температура, тиск у печі), якості руди, особливостей обладнання тощо.

### **6.3 Водопостачання основних виробництв підприємств чорної металургії**

Переважну кількість води на металургійних заводах використовують на охолодження й очищення газів, що виділяються під час плавлення металу, охолодження обладнання, гідротранспорт, промивання металу після травлення і знежирювання, охолодження прокатних станів.

У доменних цехах проводиться виплавка чавуну із шихти (суміш руди з коксом та вапняком). Для інтенсифікації процесу у доменну піч повітродувками подається нагріте повітря, а також кисень, отриманий на спеціальних станціях, і природний газ. Продукти виробництва – чавун та шлак. Шлак подається на грануляційну установку і потім утилізується. Доменний газ після попереднього очищення використовується як паливо.

Напір води в мережі у доменних печей становить 45–70 м. Система водопостачання – оборотна, при якій вода від холодильників пічок і арматури водонагрівачів (температура до 800 °С) потрапляє у приймальний резервуар і потім – на охолодження. На 1 т чавуну витрачається до 24 м<sup>3</sup> води, у тому числі свіжої 3–4 %. При охолодженні чавуну в розливальних машинах до 20 % води випаровується, вода насичується шматками ламаного чавуну та вапна. Тому перед охолодженням воду спочатку відстоюють у відстійнику. Для доменних печей і повітронагрівачів має забезпечуватись безперервна подача охолоджувальної води, оскільки навіть тимчасове припинення подачі води може спричинити аварію, прогар конструкції доменної печі. Для цього передбачається, окрім робочих, не менше двох резервних насосів. Кількість трубопроводів для підведення і відведення води повинна бути не меншою за два. Кожен з водоводів розраховують на пропуск 100 % витрати води.

У доменному цеху воду витрачають на зволоження шихти, охолодження доменних печей та арматури повітронагрівачів, очищення доменного газу,

грануляцію шлаку, охолодження чавуну на розливальних машинах і гідроприбирання підбункерних приміщень.

У сталеплавильному виробництві основними споживачами води, а отже і джерелами утворення стічних вод, є конвертори, мартенівські та електросталеплавильні печі, газоочистки сталеплавильних печей та установок безперервного розливання сталі (УБРС).

У киснево-конверторних цехах воду витрачають на охолодження фурм, зрошення й охолодження газів, на очистку газів та інші потреби. Залежно від способу охолодження конвертора, відведення й очистку газів, що відходять, витрати води становлять від 5 м<sup>3</sup>/т до 13,5 м<sup>3</sup>/т сталі, яку виплавляють. З цієї кількості приблизно 35 % води, що витрачається, не стикається з продуктом і не забруднюється, а тільки нагрівається, що дозволяє використовувати її повторно. Решта води стикається з газами, що відходять, забруднюється частками пилу і потребує належної очистки для можливості її повторного використання чи скиду у водойму.

Сталеплавильні цехи мають зазвичай два цикли зворотного водопостачання. В одному з них вода виконує функцію теплоносія, у другому вода виконує функцію охолоджувача та середовища, що поглинає й транспортує механічні домішки до водоочисних споруд (металевий пил, окалину тощо).

Водопостачання конверторного цеху здійснюють тільки за зворотною схемою.

В електросталеплавильному цеху сталь виплавляють в електричних печах, плавка металу відбувається під дією електричного току за рахунок електричної дуги, яка утворюється між електродами. У процесі плавки сталі з електрпечей відходить велика кількість газів, які очищаються найчастіше за допомогою води.

Готову сталь у рідкому вигляді подають на установки безперервного розлиття сталі (УБРС), де її розливають у спеціальні форми, охолоджують і вона твердіє. Вода витрачається на охолодження кристалізаторів, обтискаючих роликів, рольгангів, тягнучих клітей, газових різаків, охолоджувачів гідравлічних систем, на охолодження злитка (вторинне охолодження) та для гідротранспорту окалини. Зазвичай передбачаються роздільні системи водопостачання: охолодження кристалізаторів, охолодження машин і вторинне охолодження. Для охолодження кристалізаторів води використовується 15 м<sup>3</sup>/т сталі, що розливається, тиск 0,8–1 МПа. Вода

в кристалізаторах контактує зі стінками, які своєю чергою стикаються зі злитком, температура поверхні злитка на виході з кристалізатора досягає 1 100–1 200 °С. Тому в цій системі пред'являються найвищі вимоги до якості охолоджувальної води.

Виробництво гарячого прокату належить до найбільш водоемких виробництв на металургійному заводі. Воду використовують для охолодження елементів нагрівальних печей, охолодження обладнання стану (валків і підшипників валків, рольгангів, роликів, повітроохолоджувачів), охолодження смуги металу, що прокочують, і моталок для гідрозбивання та гідрозмиву окалини.

Системи водопостачання прокатних станів проєктують тільки оборотними з очищенням відпрацьованої води в декілька етапів, на яких видаляють забруднення різної дисперсності.

Особливістю систем водопостачання станів гарячого прокату є наявність агрегатів, які потребують для своєї роботи води різної характеристики (за вмістом механічних домішок). Найбільш жорсткі вимоги пред'являють механізми гідрозмиву окалини, що обумовлено особливими умовами роботи. Воду для систем гідрозмиву окалини очищують за спеціальною технологією, для того щоб концентрація завислих речовин була знижена до величини, меншої за 20 мг/л. Недотримання цих вимог призводить до інтенсивного абразивного зносу всіх елементів системи, першою чергою насосів високого тиску і форсунок. Знос форсунок призводить до зниження ефективності видалення окалини з поверхні металу й отримання неякісної прокатної продукції.

Для охолодження валків, роликів, рольгангів і пилу гарячої та холодної різки особливі вимоги не пред'являють. Звичайно подають оборотну воду брудного циклу окалиновмісних стічних вод, яка пройшла двоступеневу очистку й охолодження на градирнях.

## **7 ОЧИЩЕННЯ ТА ПОВТОРНЕ ВИКОРИСТАННЯ СТІЧНИХ ВОД МЕТАЛУРГІЙНИХ ВИРОБНИЦТВ У СИСТЕМАХ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ**

- 7.1 Обробка стічних вод на локальних очисних спорудах.
- 7.2 Конструкції відстійників для очистки виробничих стічних вод.
- 7.3 Відкриті гідроциклони, флокулятори.
- 7.4 Фільтрування води.

## 7.1 Обробка стічних вод на локальних очисних спорудах

### Охолодження доменних печей

Для охолодження доменних печей застосовують водяне та випарне охолодження. При охолодженні елементів доменних печей водою відвід тепла здійснюється за рахунок нагріву води, унаслідок чого тимчасова твердість розкладається відповідно до рівняння вуглекислотної рівноваги з утворенням малорозчинного карбонату кальцію. Карбонат кальцію ( $\text{CaCO}_3$ ), що утворюється, випадає на теплонавантажених поверхнях і перешкоджає теплообміну й ефективному охолодженню доменних печей. Витрати охолоджувальної води на 1 доменну піч коливаються від 2 тис. м<sup>3</sup>/год до 3 тис. м<sup>3</sup>/год.

Зазвичай система водяного охолодження доменних печей організовується за зворотною схемою з підживленням свіжою технічною водою, з продувкою в кількості до 5 % від витрати циркулюючої в системі води.

Сутність випарного охолодження (рис. 7.1) полягає в тому, що для охолодження доменних печей використовується пароводяна суміш.

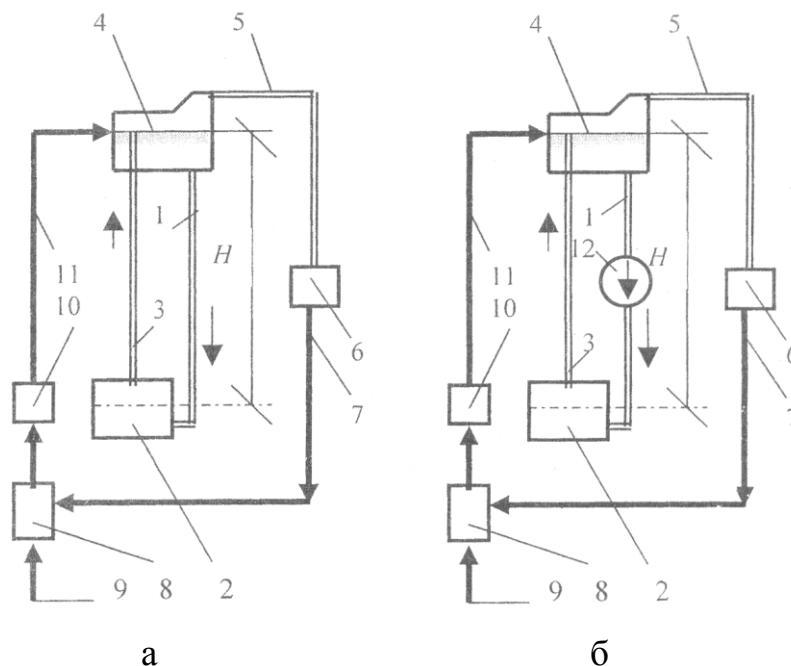


Рисунок 7.1 – Схеми випарного охолодження металургійних печей:  
*а* – з природною циркуляцією води; *б* – з примусовою циркуляцією води;  
*1* – трубопровід охолоджувальної води; *2* – піч; *3* – трубопровід пароводяної емульсії; *4* – бак-сепаратор пари; *5* – паропровід до споживачів пари;  
*6* – споживачі пари; *7* – трубопровід конденсату пари;  
*8* – хімоводоочистка; *9* – подача води з джерела; *10* – насосна станція;  
*11* – подача пом'якшеної води; *12* – циркуляційний насос

Порівняно з водяним при випарному охолодженні використовується значно менше води через більш інтенсивний відбір тепла. Але при цьому з'являється проблема утворення щільних сольових (карбонатних) відкладень на теплонавантажених поверхнях. У зв'язку з цим система випарного охолодження повинна підживлюватись хімічно очищеною або глибоко пом'якшеною водою.

Відпрацьована вода доменних печей відноситься до «умовно чистої». Температурний перепад становить 7–8 °С.

Водопостачання доменного цеху може бути здійснено послідовною або оборотною схемою використання води.

При оборотній схемі до складу споруд додаються охолоджувачі води та мережа відпрацьованої води між доменним цехом та охолоджувачами. Як охолоджувач за наявності вільних площ можуть бути застосовані бризгальні басейни, в яких створюються великі запаси води, що забезпечують водопостачання доменного цеху протягом 5–6 год. Однак вони повинні бути віддалені на 80–100 м від найближчих заводських споруд з метою запобігання обмерзання. Крім того, площа, яку займають басейни, приблизно в 5–6 разів перевищує площу крапельних або плівкових градирень.

#### ***Газоочистка доменного цеху.***

Під час плавки чавуну у доменних печах утворюється біля 4 000 м<sup>3</sup> газів на 1 т чавуну, що містять від 5 г/м<sup>3</sup> до 20 г/м<sup>3</sup> пилу. Ці гази проходять три етапи очистки: перший – «сухий», на якому затримується 70–80 % пилу, другий – «мокрый» – у скруберах, що зрошуються водою, при якому виноситься біля 15 % пилу, і третій – на електрофільтрах, де затриманий пил змивається водою. Загальна витрата води становить 4–9 м<sup>3</sup> на 1 000 м<sup>3</sup> газу, що очищається, або 20–30 м<sup>3</sup> на 1 т чавуну, що виплавляється.

До водного господарства газоочистки (рис. 7.2) входять насосна станція, зазвичай суміщена з насосною станцією доменного цеху, вентиляторна градирня, радіальні відстійники зі шламовою насосною станцією, самопливні лотки і напірні трубопроводи.

Температура води, що відходить від газоочистки, зазвичай становить 45–55 °С. Вода характеризується високим вмістом завислих речовин за рахунок частинок пилу, що потрапляють з газу у воду, кількість яких коливається від 500 мг/л до 4 000 мг/л або в середньому при роботі печей з нормальним тиском 2 900 мг/дм<sup>3</sup>, а при підвищеному до 170 кН/м<sup>2</sup> – 1 000 мг/л.

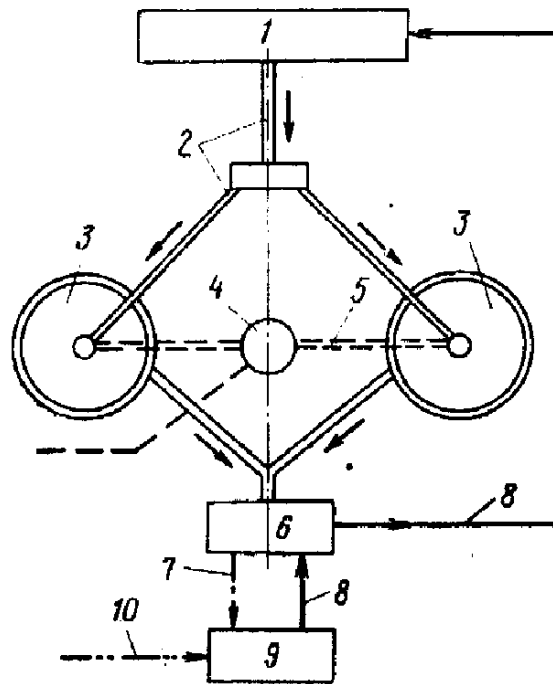


Рисунок 7.2 – Схема водного господарства доменного газоочищення:  
 1 – газоочистка; 2 – самопливні лотки; 3 – радіальні відстійники;  
 4 – шламозна насосна станція; 5 – всмоктувальні трубопроводи;  
 6 – насосна станція; 7 – трубопроводи нагрітої води; 8 – трубопроводи охолодженої води; 9 – градирня; 10 – трубопровід додаткової (свіжої) води

Стічні води доменного газоочищення, склад і властивості яких залежать від складу шихти і тиску газів під колошником, освітлюються зазвичай у радіальних відстійниках різних конструкцій із застосуванням коагулянтів і флокулянтів. Освітлену воду після охолодження і стабілізаційної обробки використовують повторно, осад зневоднюють і утилізують.

Необхідно також відмітити, що для систем оборотного водопостачання газоочисток доменних печей характерний складний водно-хімічний режим. У системі оборотного водопостачання доменної газоочистки відбувається інтенсивне забруднення нижньої частини газоочисних скрубєрів, краплинного зрошувача градирень і трубопроводів карбонатними відкладеннями у вигляді  $\text{CaCO}_3$ , заліза та ін., а на деяких заводах також сполук цинку  $\text{ZnCO}_3$ . У результаті забруднення швидко падає охолоджувальний ефект градирень і знижується пропускна здатність скрубєрів і трубопроводів.

Причиною утворення карбонатних відкладень є висока концентрація вільної вуглекислоти ( $\text{CO}_2$ ) та відповідний їй вміст бікарбонатних ( $\text{HCO}_3^-$ ) і карбонатних ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) йонів.

Механічне видалення карбонатних відкладень з газоочисних апаратів і трубопроводів у системах оборотного водопостачання дуже трудомістке, при цьому елементи системи потрібно відключати з роботи; краплинний зрошувач градирні необхідно розбирати і здійснювати заміну новим.

Для запобігання або зменшення інтенсивності карбонатних відкладень на поверхнях, що контактують зі стічними водами, попередження корозійного руйнування устаткування (скрубєрів високого тиску тощо) в системах зворотного водопостачання доменних газоочисток знаходять застосування такі методи обробки, як фосфатування, рекарбонізація води, додавання інгібіторів відкладень мінеральних солей (ІОМС).

*Газоочистка конверторів.* Стічні води від очищення конвертерного газу забруднені твердими частинками і розчиненими хімічними речовинами. Склад і кількість забруднень залежать від схеми відведення й очищення газів, що відходять. При цьому відбувається зміна складу стічних вод за ходом плавки.

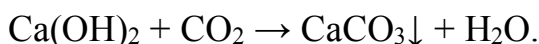
Очищення стічних вод від завислих речовин здійснюють у радіальних відстійниках, відкритих гідроциклонах, флокуляторах.

Гази, що утворюються під час виплавки сталі в кисневих конвертерах, містять металевий пил і частинки вапна (негашене CaO). Вапно, вживане в киснево-конвертерному процесі для його інтенсифікації, потрапляє в потік газів, що відходять, і розчиняється у воді. Кількість розчинного вапна залежить від її якості й способу подачі. У зв'язку з цим збільшується гідратна лужність зворотної води.

Очистка газів здійснюється мокрим способом. Концентрація завислих речовин перебуває в межах 4–10 г/л. При цьому вапно розчиняється у воді за формулою



У газах, що відходять від конверторів, міститься вуглекислий газ CO<sub>2</sub>. Після очищення стічних вод від завислих речовин вода повертається знову на очищення газів. При цьому Ca(OH)<sub>2</sub>, що є у воді, реагує з CO<sub>2</sub>, що міститься в газах:



Таким чином, насичена вапном оборотна вода при повторному використанні реагує з вуглекислою газів, що відходять, в газоочисних апаратах, у результаті цього в системі подачі води до сопел камери і скрубєра утворюються дуже тверді відкладення карбонату кальцію з невеликим вмістом

оксиду заліза. Ефективнішим для подібних систем оборотного водопостачання є метод обмеження розчинення вапна, що поступає у воду, і зниження гідратної лужності стічних вод. ДП УкрНДЦ «Енергосталь» запропоновано два типи реагентів для здійснення цього методу – силікатний реагент (рідке скло) і фосфоровмісний реагент (триполіфосфат натрію).

Система водопостачання газоочисток конверторів – оборотна. Передбачається попереднє уловлювання завислих часток крупністю більше 500 мкм, віддувка у разі необхідності вільного оксиду вуглецю, прояснення в радіальних відстійниках або флокуляторах і наступне охолодження на градирнях. Віддувка вільного оксиду вуглецю потрібна для того, щоб поблизу прояснювачів приземна її концентрація не перевищувала рівня, шкідливого для обслуговуючого персоналу.

При питомому гідравлічному навантаженні  $6 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$  вміст завислих речовин у проясненій воді на виході з флокуляторів без застосування коагуляції не перевищує 300 мг/л, а зі застосуванням коагуляції і додаванням поліакриламід у становить 60–80 мг/л.

#### *Газоочистка електросталеплавильних печей.*

При виробництві сталі в дугових електрод печах виділяється досить велика кількість газів – 200–500  $\text{м}^3/\text{год}$  на 1 т сталі. Очистка газів, що відходять від електрод печей, може здійснюватися в апаратах сухої газоочистки (мішкові тканинні фільтри, електростатичні фільтри) або застосовують мокру газоочистку.

Стічні води, що утворюються від очистки газів електрод печей, містять дрібнодисперсні завислі речовини (концентрація до 2–3 тис. мг/л), окисли заліза та інші хімічні забруднення (йони важких металів, сірчані сполуки), рН на 1,5–2,5 одиниці менший, ніж рН вихідної води. Стічні води газоочистки електрод печей можуть мати як кислу, так і лужну реакцію, залежно від марки сталі. У зв'язку з цим, для повторного використання цих стічних вод у системах оборотного водопостачання потрібна певна хімічна обробка (нейтралізація, стабілізація). Найбільш раціональним методом нейтралізації і знешкодження стічних вод при оборотному водопостачанні є застосування вапняного молока.

Для прояснення стічних вод застосовують радіальні відстійники або у здійснюють це у відкритих гідроциклонах. Необхідний для повторного використання ступінь прояснення стічної води до залишкового вмісту завислих речовин у ній 150–200 мг/л досягається при гідравлічному навантаженні на відстійник  $0,8\text{--}1 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ , а на гідроциклон  $4 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ . Як реагент застосовують поліакриламід концентрацією 1 мг/л.



### *Прокатні стани.*

«Умовно чиста» вода утворюється при охолодженні нагрівальних печей. На всіх інших операціях утворюється «брудна» вода. В процесі гарячої прокатки металу утворюються стічні води від охолодження металу, що прокочують, та охолодження устаткування. Ці стічні води забруднені завислими речовинами (окаліною) і маслами. У міру прокатки (зліва направо) концентрація завислих речовин, що потрапляють у стічні води, зменшується; також зменшується їх гранулометричний склад. Найбільш крупні часточки завислих речовин утворюються на чорнових операціях прокатки, більшість дрібнодисперсних часток – на чистових операціях. Завислі речовини надходять при деформації металу, а нафтопродукти потрапляють у стічні води від змащення різних механізмів, двигунів, підшипників (наприклад, роликів, прокатних валків тощо).

При повторному використанні проясненої води залишковий вміст завислих речовин не повинен перевищувати 10 мг/л, масел – 5 мг/л.

Після кожної технологічної операції гарячої прокатки металу використану воду скидають у підстановий лоток, розташований під центральним рольгангом. Він має нахил у сторону первинних відстійників, це забезпечує необхідні транспортувальні швидкості для змиву окаліни.

Очищення стічних вод здійснюють у три ступені. Первинну очистку від крупних часточок окаліни здійснюють в ямах для окаліни (первинні відстійники), час перебування становить 5–8 хв. Вторинне очищення від завислих речовин і масел здійснюють у горизонтальних і радіальних відстійниках або гідроциклонах. Залишкова концентрація завислих речовин – 30–90 мг/л, масел – 12–20 мг/л. Доочищення – на фільтрах із зернистим завантаженням підвищеної брудоемкості (піщаних або гравійних фільтрах), фільтрах з плаваючим завантаженням, сітчастих фільтрах. Прояснена вода використовується повторно.

### **7.2 Конструкції відстійників для очистки виробничих стічних вод**

Для очищення стічних вод промислових підприємств використовують як звичайні конструкції відстійних споруд, що застосовуються при очищенні міських стічних вод (піскоуловлювачі, відстійники), так і спеціальні. Залежно від вимог до якості проясненої виробничої стічної води застосовують горизонтальні й радіальні відстійники різних конструкцій, які можуть бути обладнані камерами флокуляції.

При виборі типу відстійників необхідно враховувати деякі експлуатаційні особливості. При значних витратах води горизонтальні відстійники доводиться влаштовувати багатосекційними, оскільки зазвичай ширина однієї секції приймається 5–6 м (продуктивність становить 100–120 м<sup>3</sup>/год). Загальним недоліком секційних відстійників є важкість рівномірного розподілення води за секціями, унаслідок чого окремі секції виявляються перевантаженими й очищення погіршується. Крім цього, ефект очищення залежить від своєчасного видалення осаду з відстійників.

Радіальний відстійник – круглий у плані резервуар, вода в якому в процесі очищення рухається від центра до периферії. Стічна вода надходить у відстійник через центральний розподільчий пристрій, а освітлена вода збирається в круговий периферійний жолоб. Осад, що випадає на дно відстійника, згрібається за допомогою скребкової ферми у центральний приямок, звідки видаляється за допомогою шламових насосів. Ефективність прояснення в радіальних відстійниках досягає 60 %. Глибина коливається від 1,5 м до 5 м.

Глибина проточної частини становить 1,5–5 м, діаметр – від 15 м до 60 м. Тривалість перебування стічної води у відстійнику – 1,5–2 год.

Радіальні відстійники звичайних конструкцій діаметром 26–30 м упродовж багатьох років використовують для очищення стічних вод газоочисток доменних печей та інших металургійних агрегатів при питомому гідравлічному навантаженні 0,4–2 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год.

Горизонтальні відстійники найчастіше застосовують для очищення стічних вод підприємств чорної металургії, зокрема для первинного і вторинного очищення стічних вод станів гарячої прокатки металу. Задовільний ступінь очищення стічних вод у вторинних горизонтальних відстійниках може бути досягнутий при питомих навантаженнях, менших за 0,8–1,1 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год, а в умовах роботи замкнених систем зворотного водопостачання – 0,4–0,8 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год, що потребує значних виробничих площ для розміщення очисних споруд.

При переведенні систем зворотного водопостачання на замкнений (безстічний) або близький до нього режим роботи стало очевидно, що горизонтальні й радіальні відстійники традиційних конструкцій не дадуть бажаного результату через низку наявних недоліків:

- низька продуктивність (питомі гідравлічні навантаження перебувають у межах 1–2 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год));

- непристосованість для роботи з коагуляцією і флокуляцією;
- недосконалість конструкції (коефіцієнт використання обсягу дорівнює 0,5, що свідчить про їхню гідравлічну недосконалість, періодичне відведення осаду тощо).

У горизонтальних відстійниках неможливо організувати безперервне видалення осаду, що випадає. Це призводить до порушення їхньої роботи і спричиняє труднощі при подальшому збезводненні, утилізації або складуванні шламів, а також низьку ефективність маслоуловлювальних пристроїв. Крім цього, їм притаманні недосконалість пристроїв впуску, розподілу та збирання води.

### 7.3 Відкриті гідроциклони, флокулятори

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

Широке застосування гідроциклонів обумовлюється низькою 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 (рис.7.3) використовують для видалення грубодиспергованих домішок, зокрема мінерального походження.

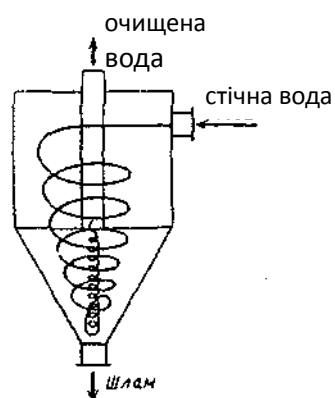


Рисунок 7.3 – Принципова схема руху потоку рідини в напірному гідроциклоні

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.

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 апарата, 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 апарата. 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 ступеня очистки і від геометричних розмірів гідроциклона.

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

$$q = 3,6 \cdot U_0 \cdot K, \quad (7.1)$$

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.

Відкриті гідроциклони без внутрішніх устроїв (рис. 7.4, а) рекомендується застосовувати для затримання крупно- та дрібнодисперсних домішок гідравлічною крупністю 5  $\text{мм}/\text{с}$  і більше.

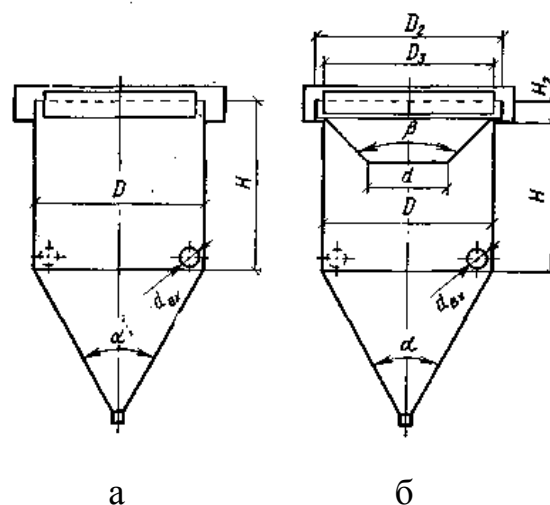


Рисунок 7.4 – Відкритий гідроциклон:

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

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

Для підвищення ефективності конструкція гідроциклона доповнюється циліндричною перегородкою,

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 гідроциклона 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 5–6 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>· год, а із застосуванням коагулянтів – 12 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>· 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.

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 сірчаноокисле залізо, сірчаноокислий алюміній тощо, як флокулянт – використовують ПАА.

Установлено, що у флокуляторі із плоскою діафрагмою й розосередженим випуском води найкращі результати прояснення води досягаються при навантаженні  $10\text{--}11 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ .

#### 7.4 Фільтрування води

##### *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 фільтрувального матеріалу:** природні матеріали (кварцовий пісок, гравій, гранітний щебінь, доменний шлак, керамзит, антрацит, горілі породи, мармурова крихта) або штучні матеріали (полімери – пінополіуретан, полістирол тощо).

*Фільтрувальні матеріали.* До фільтрувальних 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 фільтрувального матеріалу сприяє збільшенню гідравлічного опору завантаження й віднесенню матеріалу промивною водою.

Хімічна стійкість матеріалу завантаження – одна з основних вимог, що запобігає забрудненню очищуваної води та зміні властивостей фільтрувального 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 фільтрувального 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.

Збільшення брудоемкості 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), брудоемкість багатошарових фільтрів вища у 2–4 рази, а тривалість фільтроциклу – у 2–3 рази, ніж одношарових фільтрів.

*Напірні фільтри* становлять закриті резервуари циліндричної форми, що можуть витримувати значний тиск (рис. 7.7). 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 фільтрувальний шар, освітлюється і через трубчастий дренаж видаляється під залишковим напором за межі фільтра. У міру забруднення фільтрувального 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 фільтрувального 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).

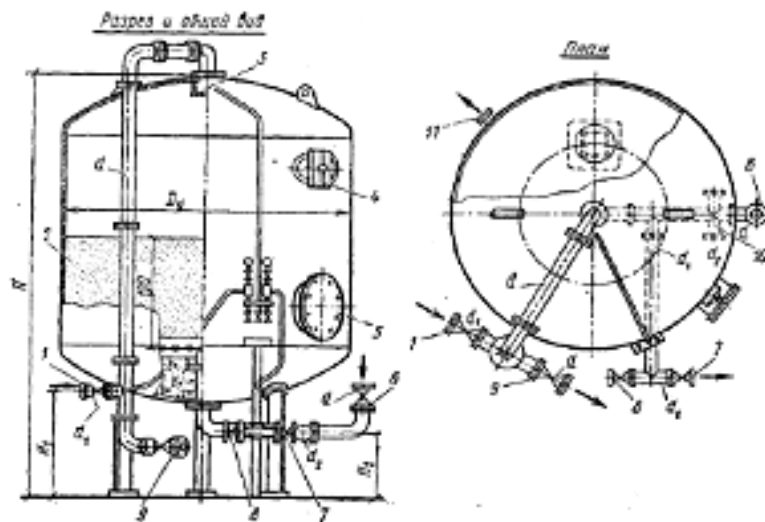


Рисунок 7.5 – Напірний вертикальний фільтр із зернистим завантаженням:

1 – подача води на очищення; 2 – фільтрувальний 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 фільтра

Фільтри промивають через дренажну систему знизу нагору. При крупності частинок піску 0,6–0,8 мм інтенсивність промивання приймають 10–12 л/(м<sup>2</sup>·с), а при крупності 1–1,2 мм – 14–16 л/(м<sup>2</sup>·с). Тривалість промивки становить 10–20 хв.

Розрахунок фільтрів та їх комунікацій здійснюють на нормальний та форсований режим роботи. При форсованому режимі швидкість фільтрування приймають на 20–25 % більшою, ніж при нормальному режимі.

*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 підтримувальний 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 брудоемкість, ніж фільтри інших конструкцій, і барабанні сітки перед ним не встановлюють.

Конструкція каркасно-засипного фільтра (рис. 7.6) аналогічна до конструкції звичайного швидкого фільтра зі спадним рухом води й нижнім відводом промивної води.

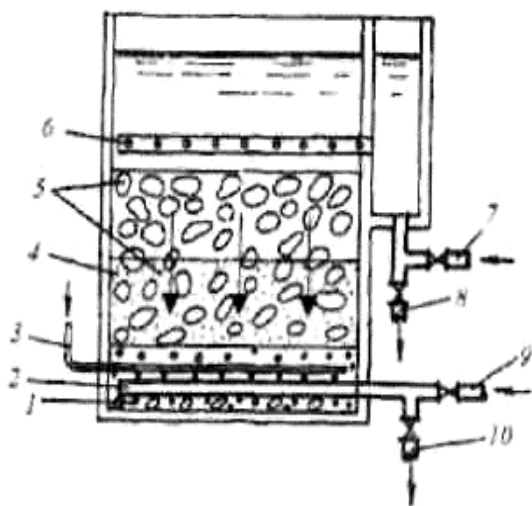


Рисунок 7.6 – Схема каркасно-засипного фільтра:

- 1 – підтримувальний 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 фільтраційного циклу – 20 год, висоту шару води над піщаним завантаженням – близько 2 м, втрати напора в завантаженні до кінця фільтраційного циклу – 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. На яких основних принципах базується створення замкнених систем?
2. Переваги й недоліки горизонтальних відстійників.
3. Типи гідроциклонів. Конструктивні особливості.
4. Принцип дії відкритих гідроциклонів.
5. Конструктивні особливості і принцип роботи флокулятора.

## **8 ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ГАЛЬВАНІЧНИХ ЦЕХІВ МАШИНОБУДІВНИХ ЗАВОДІВ ТА ПІДПРИЄМСТВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ ВІД ЙОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ**

8.1 Гальванічне виробництво машинобудівних підприємств і металургійних заводів. Особливості стічних вод.

8.2 Огляд основних методів, технологічних схем та обладнання процесів очищення стічних вод гальванічних виробництв.

8.3 Маловідходні йонообмінні технології очищення гальваностоків від хроматів.

### **8.1 Гальванічне виробництво машинобудівних підприємств і металургійних заводів. Особливості стічних вод**

Гальваніка – електролітичне осадження тонкого шару металу на поверхні металевого предмета для захисту його від корозії, підвищення зносостійкості, запобігання від цементації, у декоративних цілях тощо.

У процесі нанесення гальванічних покриттів застосовуються добре розчинні у воді солі важких металів: міді, нікелю, цинку, кадмію, хрому й інших металів. У процесі промивання готових виробів солі попадають у воду, а потім можуть потрапити й у каналізацію. При цьому більшу частину домішок вдається очистити методами реагентного очищення відновниками і вапном або електрокоагуляцією.

У процесі гальванічного виробництва утворюється значний обсяг токсичних стічних вод і шламів, що забруднюють навколишнє природне середовище і негативно впливають на здоров'я людини. Але при цьому містять безліч коштовних важких і рідкісних металів (далі – ВРМ).

За концентрацією розчинених речовин, що втримуються в них, стічні води гальванічних виробництв поділяють на дві основні групи:

- малоконцентровані, що утворюються в різних промивних операціях;
- висококонцентровані, що становлять відпрацьовані розчини й електроліти.

За хімічним складом їх поділяють на три основні групи:

- утримуючі ціанисті сполуки (ціаніди);
- утримуючі сполуки шестивалентного хрому (хромати);
- утримуючі вільні мінеральні кислоти або луги.

## **8.2 Огляд основних методів, технологічних схем та устаткування процесів очищення стічних вод гальванічних виробництв**

Для очищення гальванічних стоків від йонів шестивалентного хрому й важких металів зазвичай застосовують реагентні або електрохімічні методи. Однак ці методи не дають змогу очищати воду до необхідних вимог щодо вмісту шкідливих компонентів, через що в поєднанні з ними застосовують інші методи.

Стічні води травильних і гальванічних відділень характеризуються тим, що забруднення, що містяться в них, неможливо видалити за допомогою фільтрування й інших методів, що зазвичай застосовують для очищення комунальних стічних вод.

Найчастіше зустрічаються такі забруднювачі: неорганічні кислоти, луги, поверхнево-активні речовини й неорганічні солі ВРМ. Для очищення стічних вод гальванічних виробництв застосовують реагентні, електрохімічні, йонообмінні та деякі інші фізико-хімічні способи, здійснювані на установках безперервної та періодичної дії й засновані на хімічному окислюванні, відновленні й осадженні розчинених речовин, а також на нейтралізації вільних кислот і лугів.

Для знешкодження ціановмісних стічних вод застосовують переважно реагенти-окислювачі, що містять активний хлор (хлорне вапно, хлорна вода тощо). Необхідний час контакту стічних вод із реагентами за умов інтенсивного перемішування реакційної суміші становить 3–5 хв.

Гальванічні стоки можуть бути очищені різними способами. Класифікація способів очищення гальванічних стоків залежить від обраного критерію.

Нижче (рис. 8.1) наведено сучасні методи очищення промивних стічних вод, відпрацьованих електролітів та інших стічних вод основного гальванічного виробництва.



Рисунок 8.1 – Методи очищення стічних вод гальванічних виробництв

Загальноприйнятою вважається класифікація за способом очищення гальванічних стоків:

1. *Механічний спосіб.* Сутність механічного способу полягає в тому, що зі стічних вод шляхом відстоювання й фільтрації видаляються механічні домішки. Грубодисперсні частинки, залежно від розмірів, уловлюються решітками, ситами, піскоуловлювачами, септиками тощо.

Механічне очищення дає змогу виділяти з побутових стічних вод до 60–75 % нерозчинних домішок, а із промислових – до 95 %, багато з яких використовуються у виробництві як коштовні домішки.

2. *Реагентний спосіб.* Цей спосіб є одним із основних методів очищення стічних вод. У його основі лежать хімічні реакції, які переводять шкідливі забруднювачі у воді з розчину в нерозчинний осад із подальшим витягом осаду зі стоку.

Для проведення хімічних реакцій необхідні відповідні умови. Наприклад, у гальванотехніці виділяється декілька типів стоків: ціановмісні; хромовмісні; що утримують солі важких металів; кислотно–лужні.

Для застосування реагентного методу очищення цих стоків на попередній стадії необхідно провести корекцію рН-середовища. Потім проводяться хімічні реакції, які переводять метали в нерозчинну форму.

3. *Електрохімічний спосіб.* Цей спосіб очищення стічних вод гальванічного виробництва володіє низкою переваг: проста технологічна схема у процесі експлуатації обладнання, зручність автоматизації його роботи, скорочення виробничих площ під розміщення очисних споруджень, можливість очищення стічних вод без попереднього розведення, зниження солевмісту й зменшення обсягу осаду, що утвориться в процесі очищення.

4. *Електрофлотація* – процес очищення стічних вод, при якому електролітично отримані газові пухирці, спливаючи в обсязі рідини, взаємодіють із частинками забруднень, унаслідок чого відбувається їхнє взаємне злипання, обумовлене зменшенням поверхневої енергії частинки й пухирця газу на границі поділу фаз «рідина–газ».

Щільність пінного продукту, що утворюється в електрофлотаторі, нижчий за щільність води, що забезпечує його спливання й нагромадження на поверхні очищуваної води. Флотошлам періодично видаляється з електрофлотатора автоматичним пристроєм збору шламу.

5. *Йонообмінний спосіб.* Досить ефективним методом очищення промивних стічних вод є йонний обмін, за допомогою якого повертається знесолена вода, а сорбовані забруднення витягаються з йонообмінних смол при регенерації. Доцільність використання йонного обміну як технології очищення й повернення 85–95 % води обмежується приростом вмісту солей від 50 мг/л до 250 мг/л.

При багатоступінчастому каскадному промиванні в декількох ваннах, у зв'язку з високою концентрованістю промивних вод, застосування технології йонного обміну є недоцільним, а кращим є метод зворотного осмосу.

6. *Мембранний спосіб (зворотний осмос).* Установки зворотного осмосу забезпечують можливість очищення води одночасно від розчинних неорганічних (йонних) і органічних забруднювальних домішок, високомолекулярних сполук, завислих речовин, вірусів, бактерій та інших шкідливих домішок.

Оскільки потік фільтрату прямо пропорційний площі поверхні мембрани й обернено пропорційний її товщині, у процесі проектування установок зворотного осмосу необхідно підбирати мембрани з максимально можливою площею й мінімально можливою товщиною на одиниці об'єму апарата.

Надійність установок зворотного осмосу підвищують через устанавлення резервного обладнання, з можливістю його багатофункціонального застосування, оптимізації кількості мембранних елементів у кожній секції апарата, а також підвищуючи надійність фільтрувальних елементів.

Для скорочення кількості гальванічних стоків, що підлягають очищенню на очисних спорудах, використовуються системи локального очищення гальванічних стоків. Для локального очищення використовуються йонообмінні та мембранні методи.

На очисних спорудах гальванічних цехів багатьох промислових підприємств успішно реалізується ресурсозберігаюча технологія очищення стічних вод і зворотного водопостачання. Відповідно до схеми, кислотно-лужні промивні води та відпрацьовані концентровані кислотно-лужні розчини електролітів надходять до усереднювачів. З усереднювача стічні води подаються в реактор-флокулятор, у який дозуються робочі розчини реагентів: їдкий натр для підтримання рН, гідроксидоутворення важких металів, аніонний флокулянт для укрупнення дисперсної фази й інтенсифікації процесу електрофлотатії. Далі стічні води надходять в електрофлотатор, з якого прояснена вода подається на комплекс автоматизованих механічних фільтрів, де відбувається фінішне очищення води від залишкового вмісту дисперсних речовин. Далі прояснена вода з нейтральним значенням рН подається на сорбційний фільтр із завантаженням активованого вугілля БАУ, де відбувається фінішне очищення води від залишкового вмісту розчинних органічних сполук. Очищена вода, що відповідає вимогам до подачі на установку промислового зворотного осмосу, надходить на установку зворотного осмосу з метою знесолення. Знесолена вода подається на повторне використання в гальванічних цех на операції промивання деталей і готування розчинів електролітів. Технологія передбачає попереднє знешкодження хромовмісних стічних вод у самостійному технологічному ланцюжку, де шестивалентний хром повністю відновлюється до тривалентного бісульфітом натрію в кислому середовищі. Потім знешкоджений хромовмісний стік направляють для змішування із загальним потоком стічних вод.

Основним технологічним вузлом очисних споруд є електрофлотатор із нерозчинними електродами. Допоміжним технологічним вузлом очищення стічних вод є комплекс автоматизованих механічних фільтрів. Механічні напірні фільтри заповнені гранульованими завантаженнями (здебільшого це подрібнений антрацит, керамзит, фільтроматеріал АС й/або FC). Фільтрація забрудненої води здійснюється зверху вниз. Фільтрат механічних фільтрів містить розчинні солі, такі як  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$  та  $\text{NaNO}_3$  (у разі вихідної наявності йонів  $\text{NO}_3^-$ ), і збирається в проміжній ємності для коректування рН перед скиданням у міську каналізацію або подачею на установку зворотного осмосу. Для захисту зворотно-осмотичних мембран від розчинних органічних забруднень перед установкою зворотного осмосу встановлений сорбційний фільтр.

За середньостатистичними результатами очищення стічних вод гальванічних виробництв технологія із застосуванням електрофлотації, механічної фільтрації та сорбції забезпечує глибоке очищення стічних вод від важких металів до рівня 0,04 мг/л і нафтопродуктів до 0,05 мг/л. Однак при використанні зазначеної технології практично неможливо домогтися залишкового вмісту йонів міді й кадмію в очищеній воді менше ніж 0,04 мг/л.

### **8.3 Маловідходні іонообмінні технології очищення гальваностоків від хроматів**

Унаслідок промивання деталей і виробів після процесів хромування, пасивації, оксидування тощо утворюються розведені хромовмісні стоки гальванічного виробництва, основними компонентами яких є хромовий ангідрид (суміш поліхромових кислот  $\text{H}_2\text{CrO}_4$  і  $\text{H}_2\text{CrO}_7$ ), хромати, біхромати.

Високі вимоги до якості очищення гальваностоків від сполук хрому обумовлені їхньою токсичністю. Гранично припустима концентрація Cr (VI) у воді, що скидається в каналізацію, становить 0,10 мг/дм<sup>3</sup>, а у водойми – 0,05 мг/дм<sup>3</sup>.

Реагентний метод і методи електро- гальванокоагуляції, які використовуються на вітчизняних підприємствах, не забезпечують необхідного ступеня очищення промивних стічних вод. При низьких концентраціях Cr (VI) не завжди ефективно проходить його відновлення до Cr (III) і відстоювання після нейтралізації розчину.

Особливо різко знижується ефективність відстоювання гідроксиду хрому (III) при використанні надлишку відновника. До недоліків зазначених методів



належить також вторинне забруднення води реагентами, а також утворення шламів, утилізація яких є проблемою (виділення з них корисних продуктів – складний і дорогий процес). Найперспективнішим методом витягу хроматів із промивних вод гальванічних виробництв є йонний обмін.

Схему йонообмінної установки очищення промивних стічних вод процесу хромування представлено на рисунку 8.2.

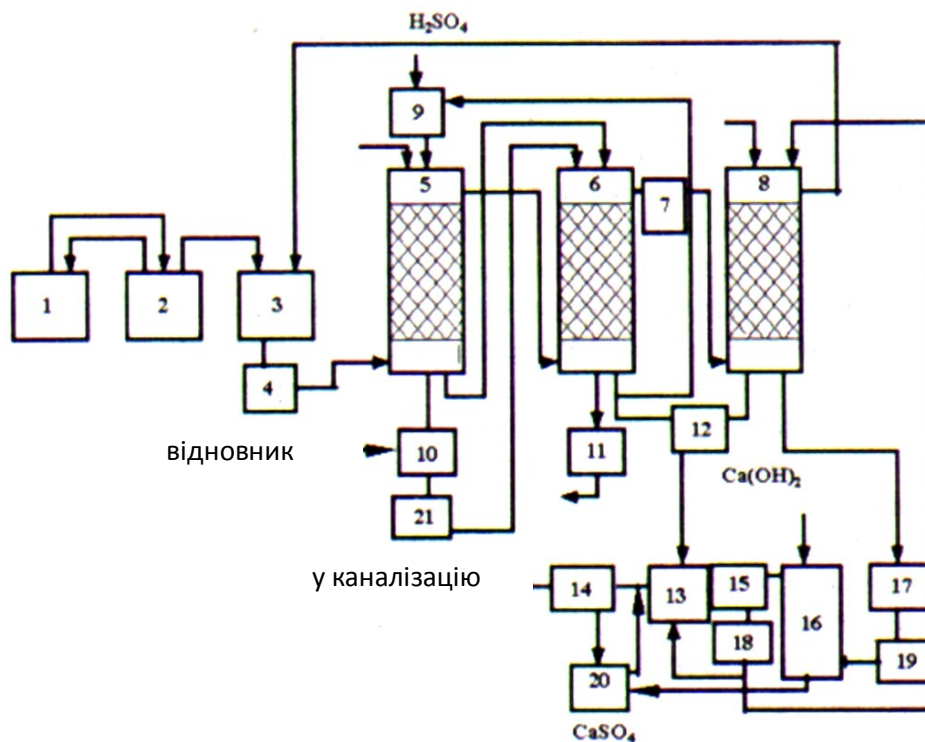


Рисунок 8.2 – Схема йонообмінної установки очищення промивних стічних вод процесу хромування:

1 – ванна хромування; 2 – ванна вловлювання; 3 – ванна промивання деталей;  
4, 18, 19, 21 – насоси; 5 – катіонообмінний фільтр;

6 – аніонообмінний фільтр (A1); 7 – сигнальний пристрій;

8 – аніонообмінний фільтр (A2); 9 – витратний бак кислоти; 10 – бак розчину відновника; 11 – бак сульфату хрому; 12 – усереднювач промивних вод;

13 – нейтралізатор; 14 – тонкошаровий відстійник; 15 – бак розчину вапна;

16 – реактор; 17 – бак відпрацьованого регенованого розчину;

20 – фільтр-прес

У запропонованій установці вода за допомогою насоса (4) циркулює через катіонообмінний фільтр, аніонообмінні фільтри A1, A2 і ванну промивання деталей. Катіонообмінний фільтр заповнений катіонітом КУ-2-8 і призначений для сорбції катіонів Cr (III). Аніоніт у фільтрі A1 призначений для вловлювання хроматів. Сульфати затримуються на фільтрі A2. Промивна

вода циркулює у циклі до насичення фільтра А1 хроматами-аніонами, які можна зафіксувати за сигнальним пристроєм – прозорій проточній ємності, заповненій свіжим аніонітом тієї самої марки.

### *Питання для самоперевірки*

1. Охарактеризуйте основні види забруднень стічних вод гальванічних виробництв.
2. Які реакції лежать в основі реагентного методу знешкодження ціановмісних стічних вод? Які реагенти при цьому застосовують?
3. Наведіть основні рішення з очищення стічних вод гальванічних виробництв.
4. Надайте порівняльну характеристику методів очищення стічних вод від йонів важких металів.

## *ЗМ З ФІЗИКО-ХІМІЧНЕ ТА БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ВИСОКОКОНЦЕНТРОВАНИХ СТІЧНИХ ВОД ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ*

### **9 ВИСОКОКОНЦЕНТРОВАНІ СТІЧНІ ВОДИ ЯК СКЛАДНА ПОЛІДИСПЕРСНА СИСТЕМА**

9.1 Умови формування і фізико-хімічний склад стічних вод харчової промисловості. Стічні води молокопереробних підприємств. Стічні води м'ясної промисловості.

9.2 Загальна характеристика методів очищення стічних вод харчової промисловості.

#### **9.1 Умови формування і фізико-хімічний склад стічних вод харчової промисловості. Стічні води молокопереробних підприємств. Стічні води м'ясної промисловості**

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 забруднювальних 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.

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 забруднювальних 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 забруднювальних речовин (розчини кальцинованої соди, хлорного вапна, кислот). Наявність у воді високих концентрацій хлоридів пов'язана також із застосуванням *NaCl* для просоловання 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.

**Склад забруднень стічних вод м'ясопереробних підприємств.** На м'ясокомбінатах виробничий процес полягає в утримуванні й забої худоби, переробці туш на м'ясо та 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 нутрошів, 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 йонів 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), які було віднесено стоками.

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.

## **9.2 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, передбачають: 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.

### *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?

## **10 ФІЗИКО–ХІМІЧНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ВИСОКОКОНЦЕНТРОВАНИХ СТІЧНИХ ВОД**

10.1 Використання методу флотації для попереднього очищення висококонцентрованих стічних вод промислових підприємств. Сутність флотації.

10.2 Види флотації. Схема напірної флотації.

### **10.1 Використання методу флотації для попереднього очищення висококонцентрованих стічних вод промислових підприємств.**

#### **Сутність флотації**

Флотація відноситься до фізико–хімічних методів очищення стічних вод і застосовується в багатьох виробництвах нафтопереробної, гірничої, металургійної, машинобудівної, хімічної, харчової промисловості, при виготовленні штучного волокна, а також у целюлозно–паперовій, шкіряній та м'ясо–молочній промисловості.

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.

Використання флотаційних установок з різними способами аерації обумовлено присутністю в стічних водах частинок, що володіють добре вираженими гідрофобними властивостями.

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 частинки рідиною. При флотації пухирці газу 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.

Кількісною характеристикою процесу змочування є *крайовий кут змочування* ( $\theta$ ), утворений краплею і твердою поверхнею.  $\theta$  змінюється в межах від  $0^\circ$  до  $180^\circ$ . Величину  $\theta$  визначають між твердою поверхнею і дотичною, проведеною до поверхні краплі в точці дотику твердої, рідкої і газової фаз. Вимір кута роблять з боку рідини. Лінію, по якій поверхня розділу «рідина – газ» стикається з поверхнею твердого тіла, називають *периметром змочування*.

Повного незмочування ніколи не спостерігається, тому що завжди є сили взаємодії, хоча б і дуже малі, між рідиною та твердою поверхнею. Зазвичай вважають, що при  $\theta < 90^\circ$  відбувається змочування, при  $\theta > 90^\circ$  – незмочування.

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, тож 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;
- електрофлотація.

Класифікація флотаційних реагентів залежно від їхньої ролі й призначення:

- реагенти-збирачі, що підвищують гідрофобність поверхні частинок;
- 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 становлять 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.

Аналіз фізико–хімічного складу висококонцентрованих стічних вод показав, що найбільш придатним для попереднього очищення стічних вод підприємств харчової, легкої промисловості є метод флотації, що обумовлено присутністю в стоках легких твердих (шерсть, волокно тощо) домішок, а також поверхнево-активних речовин та збирачів.

Флотаційні технології забезпечують високу ефективність очищення стічних вод від нерозчинених домішок (у твердому та емульгованому стані) і завислих речовин (90–98 %) протягом досить короткого часу їх перебування у флотаційних установках (у середньому 20–30 хв), зниження показників БПК, ХПК.

Наприклад, на підприємствах м'ясної галузі очищення стічних вод, які містять важкоокиснювану органіку, мають інтенсивне забарвлення, рН 6,5–6,7 та концентрації забруднень: завислих речовин 2 300–6 000 мг/дм<sup>3</sup>, жирів

820–1 000 мг/дм<sup>3</sup>, ХПК 2 800–3 200, БПК 1 200–1 760, було запропоновано здійснювати реагентною напірною флотацією з використанням солей заліза (III), що дозволило одержати ступінь зниження концентрації жирів та завислих речовин до 85 %, БПК 62–78,8 %, ХПК 74,5–79,5 %.

Недоліком цієї технології є утворення значної кількості осадів, що містять органічні речовини і сполуки заліза. Тобто використання флотаційного методу для очищення стічних вод, що містять великі концентрації органічних забруднень, зокрема підприємств харчової промисловості, спричиняє утворення значних об'ємів осадів та флотаційних шламів, у які переходять частина завислих та розчинених органічних речовин, і які потребують обробки та утилізації, оскільки здатні швидко загнитися.

Для ефективного очищення стічних вод від високодисперсних частинок суспензій, емульсій та розчинених речовин, йонів важких металів, таких як хром, мідь, цинк, нікель запропоновано використання коагулянтів і флокулянтів у технологіях з послідовними процесами флотації та електрофлотації.

## 10.2 Види флотації. Схема напірної флотації

### *Види флотації залежно від типу границі розділу фаз:*

- масляна (вода – масло), коли забруднення, змочені маслом, виносяться на поверхню флотоустановок;

- 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;

- 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).

- йонна (газ – рідина), коли витягуються у піну зі стічних вод забруднення у вигляді йонів металів. Процес флотації відбувається за наявності дрібних пухирців повітря і збирача (ПАВ). При цьому збирач повинен утворювати у воді йони, які мають заряд, протилежний заряду йона,

що вилучається. Процес ефективний при низьких концентраціях йона, 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 флотомашин (розміром 1–3 мм), а отже, у них при меншій аерованості забезпечується значно більша поверхня поділу «газ – рідина».

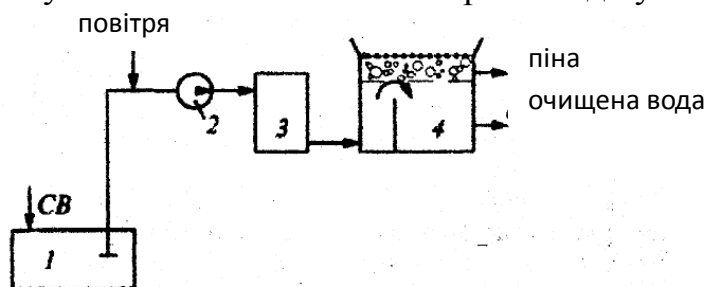


Рисунок 10.1 – Принципова схема напірної флотації:

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.

За кількістю оброблюваної води на напірній флотоустановці може бути:

- прямоточна флотація (пряма), коли весь обсяг оброблюваних стоків надходить до сатуратора;
- флотація з рециркуляцією, коли до сатуратора (у напірний бак) подається 30–50 % очищеної стічної рідини.

Установки для напірної флотації (рис. 10.1) прості й зручні в експлуатації. Напірна флотація дозволяє очищати стічні води з концентрацією суспензій до 4–5 г/л.

Залежно від об'єму і ступеня забруднення стічних вод нафтопродуктами використовують горизонтальні флотатори (рис. 10.1) (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) та осадів, підбору насосів і визначенні місткості напірних баків.

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. Поясніть сутність процесу флотації.
2. Назвіть відомі способи диспергування повітря.
3. Види флотації.

4. Від чого залежить ефективність процесу флотації? Переваги флотації.
5. Наведіть схему напірної флотації.

## **11 ОЧИСТКА ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД МЕТОДАМИ ЕЛЕКТРОКОАГУЛЯЦІЇ ТА ЕЛЕКТРОФЛОТАЦІЇ**

1. Застосування методу електрофлотації для очищення висококонцентрованих стічних вод.
2. Очищення виробничих стічних вод методами електрокоагуляції та електрофлотокоагуляції.

### **11.1 Застосування методу електрофлотації для очищення висококонцентрованих стічних вод**

Установки електрофлотації застосовують для обробки невеликої кількості стічних вод (до 20–40 м<sup>3</sup>/год) і технологічних розчинів гальванічних виробництв з високим вмістом солей і низькою електропровідністю.

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 частинок відіграють пухирці водню.

Сутність цього способу очищення стоків полягає в переносі забруднювальних часточок з рідини на її поверхню поділу фаз за допомогою пухирців газу, що утворюються при електролізі стічної води. Пухирці поступово ростуть на поверхні електродів і при досягненні певного розміру відриваються. При спливанні вони зіштовхуються із частками забруднень і за рахунок дії молекулярних та електростатичних сил, що сприяють їхньому злиттю, транспортуються на поверхню розчину. Присутні в розчині домішки, що володіють поверхнево-активними властивостями, будуть сприяти утворенню флотоактивних комплексів і поверхневого пінного шару.

Електрофлотація дозволяє видаляти зі стічних вод домішки, що перебувають у розчиненому стані, емульгованому і суспендованому вигляді, зважені речовини й колоїдні частки.

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 потрібен правильний підбір матеріалу, діаметра дроту катода і щільності струму. Змінюючи щільність струму, можна варіювати швидкість флоатації.

Зазвичай, чим більше насичення розчину пухирцями, тим вища швидкість флоатації, але до певної межі. Збільшення щільності струму буде збільшувати потік пухирців, і вони почнуть відриватися від часток домішок.

При застосуванні розчинних електродів (звичайно залізних або алюмінієвих) на аноді відбувається анодне розчинення металу, у результаті чого у воду переходять катіони заліза або алюмінію, що приводять до утворення пластівців гідроокисів.

Електрофлоатаційний спосіб має низку переваг порівняно з іншими способами флоатації: 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 м<sup>3</sup>/год флоатоустановки однокамерні, а при більшій – двокамерні горизонтального або вертикального типу.

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

## **11.2 Очищення виробничих стічних вод методами електрокоагуляції та електрофлоатокоагуляції**

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 та 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 хлоридіонами, 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. У чому полягає сутність процесу електрофлотації? Які процеси протікають на електродах?
2. У чому полягає сутність процесу електрокоагуляції?
3. Які фактори впливають на процес розчинення анодів?



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айрапетян Т. С. Водне господарство промислових підприємств : навч. посіб. / Т. С. Айрапетян. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 280 с.
2. Браславский И. И. Проектирование бессточных схем промышленного водоснабжения / И. И. Браславский, В. Д. Семенюк, А. М. Когановский. – Київ : Будівельник, 1977. – 204 с.
3. Гіроль М. М. Технології водовідведення промислових підприємств : навч. посіб. / М. М. Гіроль, А. М. Гіроль, А. М. Гіроль. – Рівне : НУВГП, 2013. – 625 с.
4. Олов В. О. Водопостачання та водовідведення : підручник / В. О. Орлов, Я. А. Тугай, А. М. Орлова. – Київ : Знання, 2011. – 359 с.
5. 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.
6. Нестер А. А. Стічні води підприємств та їх очищення : монографія / А. А. Нестер, Н. М. Корчик, Б. А. Баран. – Хмельницький : ХНУ, 2008. – 171 с.
7. Пляцук Л. Д. Аналіз технологій очистки гальванічних стоків у країні / Л. Д. Пляцук, О. С. Мельник // Вісник СумДУ. – № 2. – 2008. – С. 116–120.
8. Большаніна С. Б. Очищення стічних вод гальванічних виробництв сорбційними методами / С. Б. Большаніна, Г. М. Гурець, Д. С. Балабуха, Д. В. Міляєва // Екологічна безпека. – 2014. – Вип. 1. – С. 114–118.
9. Босюк А. С. Аналіз сучасних технологій та методів очистки гальванічних стоків машинобудівних підприємств / А. С. Босюк, О. В. Шестопапов // Екологічні науки : науково-практичний журнал – 2022. – № 4(43). – С. 74–78.
10. Долина Л. Ф. Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов : монография / Л. Ф. Долина. – Дніпропетровськ : Континент, 2008. – 254 с.
11. Смірнова О. Л. Ресурсозберігаючі електрохімічні виробництва : навч. посіб. / О. Л. Смірнова, С. А. Лещенко. – Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2019. – 120 с.
12. Промышленные отходы. Проблемы и решения. Технологии и оборудование : учебное пособие / [А. М. Касимов, В. Т. Семенов, А. А. Романовский] ; под ред. А. М. Касимова. – Харьков : ХНАГХ. – 2007. – 436 с.

*Електронне навчальне видання*

**ЕПОЯН** Степан Михайлович,  
**АЙРАПЕТЯН** Тамара Степанівна

**СПЕЦКУРС ІЗ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ  
ПРОМІСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

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

*192 – Будівництво та цивільна інженерія,  
освітня програма «Цивільна інженерія»)*

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

Редактор *М. О. Гаман*

Комп'ютерне верстання *Є. Г. Панова*

План 2023, поз. 37Л

---

Підп. до друку 25.09.2024. Формат 60 × 84/16.  
Ум. друк. арк. 5,7.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Черноглазівська (Маршала Бажанова), 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.