

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

Т. С. Айрапетян, С. В. Лукашенко

«ПРОМИСЛОВА ВОДОПІДГОТОВКА»
КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

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

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Айрапетян Т. С. Промислова водопідготовка : конспект лекцій (для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Цивільна інженерія») / Т. С. Айрапетян, С. В. Лукашенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 181 с.

Автори:

канд. техн. наук, доц. Т. С. Айрапетян,
канд. техн. наук, доц. С. В. Лукашенко

Рецензенти:

А. А. Титов, кандидат технічних наук, доцент (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова);

Т. О. Шевченко, 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

Конспект лекцій складено з метою допомогти здобувачам будівельних, екологічних спеціальностей ЗВО під час підготовки до занять та іспитів з курсу «Промислова водопідготовка».

© Т. С. Айрапетян, С. В. Лукашенко, 2024

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	5
Розділ 1 РОЛЬ ВОДИ У ПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ Й ОСОБЛИВОСТІ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ	7
1.1 Особливості систем водопостачання промислових підприємств ..	7
1.2 Типи водоспоживання у виробництві	9
1.3 Джерела водопостачання	11
1.4 Основні схеми виробничого водопостачання та водовідведення ..	13
1.5 Витрати води на промислових підприємствах	20
1.6 Втрати води в оборотних циклах водопостачання	22
1.7 Вимоги споживачів до якості води	23
Розділ 2 МЕТОДИ ВОДОПІДГОТОВКИ. ОСНОВНІ ТИПИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ВОДИ.	29
2.1 Коагуляція і прояснення води. Фізико-хімічні основи процесу коагуляції	29
2.2 Основне обладнання та схеми попередньої обробки води	36
2.3 Фільтрування води. Освітлювальні фільтри.....	38
2.4 Хімічна обробка води. Реагентне пом'якшення води.....	42
2.5 Знекремнення води магnezіальними реагентами.....	47
2.6 Обробка води методом іонного обміну.....	48
2.7 Водопідготовка для джерел і систем тепlopостачання	56
2.7.1 Основні методи очищення води.....	56
2.7.2 Видалення з води розчинних газів.....	59
2.7.3 Опріснення води методом дистиляції. Загальні поняття й визначення.....	63
2.7.4 Накипоутворення. Види накипу, його властивості.....	66
Розділ 3 ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДИ	70
3.1 Системи охолодження промислових агрегатів.	70
3.2 Споруди для охолодження води	75
3.2.1 Водосховища-охолоджувачі.	77
3.2.2 Бризкальні басейни	78
3.2.3 Класифікація градирень та їх конструкції.	80
Розділ 4 ЗАПОБІГАННЯ УТВОРЕННЮ КАРБОНАТНИХ ВІДКЛАДЕНЬ.	86

4.1 Характер та причини утворення карбонатних відкладень у системах оборотного водопостачання.....	86
4.2 Теоретична оцінка стабільності води та практичні рекомендації щодо необхідності її обробки.....	92
4.3 Методи запобігання утворенню карбонатних відкладень.....	98
4.4 Дослідження термостабільності води та ефективності методів запобігання утворенню карбонатних відкладень.....	105
4.5 Розведення та освіження оборотної води.....	118
4.6 Підкислення води як метод запобігання карбонатних відкладень.....	119
4.7 Фосфатування води.....	128
4.8 Спільна обробка води підкисленням та фосфатуванням.....	133
4.9 Рекарбонізація оборотної води.....	134
4.10 Пом'якшення води, що додається до системи.....	145
4.11 Інші методи обробки води.....	147
Розділ 5 ЗАХИСТ МЕТАЛУ ВІД КОРОЗІЇ	150
5.1 Характер та причини корозії теплообмінних апаратів, трубопроводів та споруд.....	150
5.2 Теоретична та практична оцінка агресивності води.....	161
5.3 Методи захисту металу від корозії.....	164
5.4 Дослідження швидкості корозії ефективності захисту металу.....	165
5.5 Утворення захисної карбонатної плівки на металі.....	168
5.6 Обробка води сповільнювачами корозії.....	170
5.7 Захисні покриття металу смолами, лаками, фарбами та емалями...	174
5.8 Електрохімічний захист.....	175
5.9 Лабораторний контроль та оцінка ефективності обробки води та захисних покриттів.	178
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.	179

ВСТУП

Системи промислового водовідведення забезпечують нормальне та високоефективне функціонування промпідприємства; здійснюють очистку стічних вод до необхідного ступеня з метою їх наступного використання, що сприяє охороні водоймищ від забруднень і раціональному використанню води.

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 рішення 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 першою чергою глибокого зм'якшування і знесолювання води, видалення біогенних елементів, стабілізації і дегазації води, знезалізнення, знекремнення тощо.

Водне господарство промислових підприємств України є на сьогодні найбільш перспективним для наукових досліджень, що стосуються як захисту навколишнього середовища, так і збереження матеріальних ресурсів промислових підприємств. Комплексне вирішення цих двох завдань відповідає технологіям водопостачання без скиду стічних вод і переведенню технологічних циклів виробництва в режим замкненого водопостачання.

Основою проектування, будівництва та експлуатації сучасного промислового водопостачання є науково обґрунтоване раціональне і комплексне використання водних ресурсів, розробка сучасних систем і технологічних схем промислового водопостачання, які забезпечать охорону водних джерел від виснаження і забруднення, що гарантує мінімальний екологічний збиток навколишньому природному середовищу. Ці основи закріплені у конституції країни, рішеннях уряду, основах водного законодавства, а також нормах будівельного проектування. У зв'язку з цим швидкими темпами росте застосування оборотних, послідовних і замкнених систем водопостачання промислових підприємств з багатократним використанням після відповідної обробки технологічних і побутових стічних

вод, причому останні розглядають як основний резерв для водопостачання промислових підприємств.

Проектування, будівництво й експлуатація систем промислового водопостачання повинні здійснюватися відповідно до основних нормативних актів у галузі охорони навколишнього середовища і здоров'я населення, до яких, перш за все, відносять: Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Водний кодекс України» та інші нормативні акти, що встановлюють правові основи комплексного і раціонального використання й охорони водних об'єктів і покликані сприяти забезпеченню екологічної безпеки господарської та іншої діяльності, яка чинить негативну дію на стан навколишнього природного середовища.

З викладеного вище витікають основні завдання у сфері промислового водопостачання, пов'язані з раціональним використанням водних ресурсів, підвищенням ефективності функціонування систем водного господарства промислових підприємств та їх екологічної безпеки:

- впровадження безводних і маловодних технологічних схем;
- здійснення заміни водяного охолодження повітрям або випарним;
- широке застосування оборотних і замкнених систем водопостачання з відповідним очищенням або охолодженням води;
- повторне використання очищених промислових і міських стічних вод;
- нормування відпуску води промисловості і регулювання промислового водоспоживання;
- підвищення якості проектування, будівництва й ефективності експлуатації систем водопостачання, впровадження прогресивних технологічних схем і устаткування, автоматизації і диспетчеризації, зниження вартості будівництва водного господарства промислових підприємств;
- підвищення надійності і довговічності систем за рахунок використання сучасних конструкцій і стійкіших матеріалів, труб із захисним покриттям, зокрема неметалевих труб, інших способів захисту трубопроводів і споруд від корозії;
- реконструкція існуючих систем водопостачання з метою підвищення ефективності й екологічної безпеки їх роботи, економії енергетичних і природних ресурсів.

ЗМ 1 ВОДОПІДГОТОВКА ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ВОДИ

Розділ 1 РОЛЬ ВОДИ У ПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ Й ОСОБЛИВОСТІ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ

1.1 Особливості систем водопостачання промислових підприємств

Промислові підприємства є практично в кожному населеному пункті. Це можуть бути невеличкі заводи місцевої промисловості (цегельні, заводи залізобетонних конструкцій тощо), фірми з переробки сільськогосподарської продукції або заводи-велетні (металургійні, хімічної промисловості тощо). Вони можуть працювати в одну, дві чи три зміни. Воду найчастіше витрачають протягом робочої зміни. Деякі з підприємств не працюють в окремі періоди року. Потреби підприємств у воді розрізняють технологічні і господарсько-питні. Режим споживання води на технологічні потреби залежить від устаткування, технології виробництва та інших факторів і встановлюється технологами.

Промислові підприємства витрачають велику кількість води, а деякі підприємства вимагають навіть безперервної подачі води. Зі збільшенням потужності підприємств, використанням складних технологічних процесів потреби у воді збільшуються. Витрати води, що споживає промисловість, у десятки разів перевищують кількість води, що споживає населення. Наприклад, кількість води, яку використовують тільки на охолодження металургійні підприємства, складає більше 5 млрд м³ на рік, що у два рази перевищує водоспоживання населення.

Найбільш крупними споживачами води є металургійні, нафтопереробні, хімічні заводи, теплосилові станції, що використовують воду для охолодження; підприємства целюлозно-паперової та гірничодобувної промисловості, де значну кількість води використовують для промивки сировини та продукції.

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

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

На підприємствах залежно від прийнятих технологій, виготовленої продукції, потужності, займаних площ може існувати декілька систем

водопостачання. Загалом можна виділити такі системи водопостачання: **виробничі; господарсько-питні; протипожежні.**

Господарсько-питна система подає воду для питних та інших потреб робітників і службовців протягом зміни, а також для прийняття душу протягом 45 хв після закінчення зміни. Залежно від виду виробництва (холодні або гарячі цехи) в розрахунках встановлюють графік витрачання води протягом зміни. Воду забирають питними фонтанчиками, раковинами, мийками, різними санітарними приладами. Для розрахунків вважають, що воду споживають усі працівники, а душем користуються не всі працівники, а якась їх частина. Кількість працівників, які приймають душ, встановлюють залежно від типу виробництва. Якість води повинна відповідати вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною [1].

Протипожежна система має подавати воду тільки під час пожежі із зовнішньої та внутрішньої мереж. Витрати води на пожежогасіння можуть бути великими, але це спостерігається дуже рідко. Використовувати можна воду як питної, так і іншої якості.

Вимоги до якості води господарсько-питного призначення і води, що йде на технічні потреби (технічної води), – різні. Тому на більшості промислових підприємств споруджують окремі системи господарсько-питного і технічного водопостачання. Протипожежні потреби можна забезпечити водою з виробничого або господарсько-питного водопроводу. Якщо промислове підприємство розташоване на території міста, то виникає питання про можливість об'єднання його водопостачання з міським. Рішення залежить від необхідних витрат води, її якості, напору і низки місцевих умов.

Для підприємств, що є великими споживачами неочищеної води, звичайно будують самостійний (окремий від міського) виробничий водопровід.

Іншим характерним типом об'єктів водопостачання є великі підприємства, що розташовані за межами міста. При проектуванні водопроводів подібного промислового підприємства та селища при ньому необхідно враховувати витрати на виробничі потреби підприємства, господарсько-питні потреби населення житлового селища і працівників під час перебування їх на виробництві, на поливання заводської території й зелених насаджень, на гасіння пожежі на підприємстві і в селищі. На промислових підприємствах залежно від якості води, яку воно використовує, можна влаштовувати як об'єднані, так і окремі системи господарсько-питного, виробничого та протипожежного водопроводів. Протипожежний водопровід здебільшого об'єднують з господарсько-питним. На підприємствах з підвищеною небезпечністю

влаштовують окремі протипожежні водопроводи. У разі потреби в якісній воді (кращій, ніж питна) для якогось цеху можна робити локальні установки поліпшення якості води.

Іноді система виробничого водопостачання значно ускладнюється 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.

Кількість і якість води для виробничих потреб залежать від характеру виробництва, схеми технологічних процесів, використовуваного обладнання, можливих джерел водопостачання. Звичайно, ці параметри задають технологи і вони можуть коливатися в дуже широких межах. Різноманітні вимоги до якості води потребують навіть різних виробничих систем. Вимоги до якості води дуже часто визначають можливі схеми водопостачання. У деяких випадках якість води може визначати питоме водоспоживання. Так, при охолодженні мартенівських печей на Донбасі жорсткою водою на одну піч використовують 250–500 м³/год, а на Уралі при більш якісній воді – всього 150–300 м³/год.

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

Виробнича система забезпечує водою тільки виробничі процеси. При цьому залежно від типу виробництва на підприємстві можуть бути споживачі з різними вимогами до якості води. Як приклад можна навести водопостачання сучасного заводу синтетичного каучуку, де існує 10 мереж води різної якості.

1.2 Типи водоспоживання у виробництві

Воду в промисловості витрачають на найрізноманітніші цілі. З усього різноманіття функціонального використання водних ресурсів у промисловості найбільшу кількість води використовують як охолоджувач (50–70 %), розчинник (15–20 %), транспортуючий агент (15–25 %).

Загалом водоспоживання у виробництві можна класифікувати так: ***охолодження, промивання, пароутворення, гідротранспорт, як складова продукції.***

Охолодження. Воду на охолодження використовують для конденсації пари, охолодження печей, машин, агрегатів. Звичайно, питома вага цих витрат значно перевищує інші витрати води і безперервно зростає. Наприклад, у чорній і кольоровій металургії, у нафтопереробній промисловості на водяне

охолодження використовують 95 % води і тільки 5 % на підсобні потреби, у хімічній і коксохімічній відповідно 90 % і 10 %. Наприклад, на теплових електростанціях 85 % загальної витрати води використовують на охолодження, 12% – на транспортування золи (на станціях, де вугілля використовують як паливо), 3 % – на приготування пари.

Промивання водою сировини або продукції. Велику кількість води витрачають на підсобні потреби (промивання виробів). Наприклад, воду використовують для промивки, замочування та зволоження в целюлозно-паперовій, текстильній, шкіряній промисловості, на фабриках з виробництва штучного волокна. Промивання водою сировини або продукції здійснюють, наприклад, на таких підприємствах, як шкіряні, консервні, овочесушильні, цукрові тощо.

Пару, яку одержують на різноманітному за потужністю та конструкцією паросилового обладнанні, використовують практично на всіх підприємствах для обігріву приміщень, підігріву різних матеріалів, прогріву продукції – наприклад, залізобетонних плит на заводі будівельної індустрії тощо.

Гідротранспорт передбачає транспортування потоком води лотками або жолобами шлаку, золи, сировини тощо. Наприклад, на теплосилових станціях воду використовують для транспортування шлаку і золи, у доменному виробництві – для транспортування шлаку, на збагачувальних фабриках – для транспортування різних відходів, на цукрових заводах – для транспортування цукрових буряків тощо.

Вода в складі продукції – прикладом можуть бути харчова промисловість, будівельна індустрія. Це стосується виготовлення консервів і продукції на овочесушильних виробництвах, молочних заводах, виготовлення цегли на цегляних заводах тощо.

Таким чином, у загальному випадку, водоспоживання конкретного підприємства – це комплекс, що складається з окремих систем, які забезпечують ті чи інші категорії споживачів.

Залежно від ролі, що виконує вода в системах виробничого водопостачання, її можна поділити на чотири категорії:

- *воду I категорії* використовують для охолодження обладнання і продукту в теплообмінних апаратах (без контакту з продуктом). Вода тільки нагрівається і вона практично не забруднюється. Тобто вода виконує роль теплоносія;

- *воду II категорії* використовують як середовище, що поглинає та транспортує домішки, без нагрівання (збагачення корисних копалин, гідро-

транспортування). Вода забруднюється механічними та розчинними домішками, але не нагрівається;

- *воду III категорії* використовують також як середовище, що поглинає та транспортує механічні та розчинні домішки, з нагріванням (вода також виконує роль теплоносія). У цьому випадку вода використовується комплексно. Наприклад, уловлювання та очистка газів, гасіння коксу тощо);

- *воду IV категорії* використовують як розчинник реагентів (наприклад, флотаційне збагачення руди, вугілля).

1.3 Джерела водопостачання

Потреба підприємства у воді всіх категорій задовольняється з природних джерел, що повинні відповідати таким основним вимогам:

а) забезпечувати безперервне отримання необхідної підприємству кількості води з урахуванням перспективи його розвитку;

б) подавати воду такої якості, яка найбільшою мірою відповідає вимогам споживачів або дозволяє досягти її за рахунок простої обробки вихідної води;

в) забезпечувати можливість подачі води споживачам з найменшими затратами;

г) володіти такою потужністю, щоб розрахунковий відбір води з нього не порушував екологічну систему, що склалася.

При виборі джерела водопостачання ретельно враховувати якість води і його потужність. Вибір джерела води визначається головним чином місцевими природними умовами, тому заздалегідь проводять топографічні, гідрологічні, санітарні та інші дослідження.

Правильне вирішення питання про вибір джерела водопостачання для конкретного споживача вимагає ретельного вивчення й аналізу водних ресурсів району, в якому розташований споживач.

Для водопостачання промислових підприємств використовують поверхневі й підземні води. До поверхневих джерел належать річки, озера, водосховища. Підземні води залежно від глибини залягання й умов їхнього живлення поділяють на артезіанські напірні, міжпластові безнапірні, верховодки, джерела (ключі).

Властивості води визначаються концентрацією окремих домішок, сукупність яких визначає якість води. Для практичних цілей промислового водопостачання достатнім є лабораторний контроль за фізичними, хімічними та бактеріологічними показниками води.

Води поверхневих і підземних джерел уміщують гази, різноманітні мікроорганізми, різні домішки як органічного, так і неорганічного походження.

За фізико-хімічним складом і розмірами (дисперсністю) забруднюючих домішок виділяють чотири групи:

- грубо дисперсні (розмір більше 10^{-4} мм);
- колоїдно розчинені (розмір від 10^{-4} мм до 10^{-6} мм);
- молекулярні розчини (розмір менше 10^{-6} мм, вони розподілені у воді у вигляді іонів, молекул,
- іонні розчини (розмір від 10^{-6} мм до 10^{-8} мм), головним чином мінеральні солі, що збагачують воду іонами.

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

До другої групи входять колоїдні та високомолекулярні сполуки (мінеральні частинки гумусових речовин, що надають воді забарвлення. Це домішки органічного походження – продукти розкладання органічних речовин, гумінові речовини; або мінерального походження – кремнекислота, сполуки заліза та ін.

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

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

Усі води характеризують такими показниками якості:

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

Вода в більшості річок володіє значною каламутністю, високим вмістом органічних речовин і бактерій, а часто і значною кольоровістю. Разом з цим річкова вода характеризується відносно невеликою жорсткістю. Вода озер звичайно відрізняється невеликим вмістом завислих речовин (тобто малою каламутністю). Якість усіх поверхневих вод сильно залежить від атмосферних опадів і танення снігу, у період паводків їх каламутність і бактерійна забрудненість зростає, а твердість знижується.

Підземні води, як правило, не містять завислих речовин, володіють низькою бактерійною забрудненістю, але разом з цими позитивними якостями у багатьох випадках сильно мінералізовані. Залежно від характеру розчинених у них солей, вони можуть володіти тими або іншими негативними властивостями: підвищеною жорсткістю, наявністю неприємного присмаку і деякими іншими.

Питання про вибір джерела водопостачання є одним з головних при проектуванні схеми та системи виробничого водопостачання, оскільки воно визначає наявність в її складі тих або інших споруд, а отже, вартість будівництва й експлуатації.

1.4 Основні схеми виробничого водопостачання та водовідведення

Система водного господарства – це складне поняття, що містить у собі принцип будування всього господарства від подачі води до водовідведення.

Системи виробничого водопостачання призначені для забезпечення подачі води на виробництво в необхідних кількостях і відповідної якості. Вони складаються з комплексу взаємопов'язаних споруд водозабірних пристроїв, насосних станцій, водоводів, установок для очищення і поліпшення якості води, регулюючих і запасних ємностей, охолоджувачів води і розвідної мережі. Залежно від призначення і місцевих умов деякі з перерахованих споруд у системі можуть бути відсутніми.

Особливості водоспоживання (якість води, що подається, витрати, напір тощо) на різних промислових підприємствах і різноманітність місцевих природних умов (наявність джерел водопостачання, їх потужність, якість води, економічні та екологічні чинники) зумовлюють і різноманітність схем водопостачання, які можуть бути застосовані на підприємствах: від простих прямоочних до найскладніших.

Для більшості промислових підприємств вимоги до якості води значно менш жорсткі, ніж до складу вод, що підлягають скиду у водні об'єкти або міську систему водовідведення. Тому виробничі стічні води значно вигідніше спрямовувати на повторне використання в системах оборотного та послідовного водопостачання, ніж піддавати їх очистці, що відповідає вимогам скиду.

Існують три основні схеми виробничого водопостачання:

- прямооточній;
- з повторним використанням води;

- оборотні схеми з охолодженням води й оборотні схеми з очищенням води.

Вибір схеми виробничого водопостачання здійснюють, враховуючи такі фактори:

- наявність тих чи інших джерел водопостачання, їх потужність і якість води в них;
- режим споживання води, її кількість і вимоги до якості;
- типи споживачів і їх розміщення;
- відстань від джерела до промислового підприємства;
- характер забруднення води після її використання на підприємстві;
- місцеві природні умови.

Найчастіше в системах промислового водопостачання використовують оборотне і послідовне використання води, зрідка – прямоточне.

При цьому навіть на одному підприємстві іноді використовують одну або дві чи всі три перелічені системи – для різних цехів. Так, деякі цехи можуть мати оборотне водопостачання, а інші – прямоточне або послідовне. У цьому випадку схема водопостачання промпідприємства, фактично, є змішаною або комбінованою.

Розглянемо перші дві схеми – прямоточну та схему з повторним використанням води. Чому одразу рис. 1.3, а де 1.1, 1.2? Перевірте нумерацію.

При *прямотечійній схемі* (рис. 1.1, а) 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.

Така схема досить проста і дешева. Великим недоліком прямоточної системи є значне навантаження на водойму як з точки зору відбирання свіжої води на одиницю продукції, так і скиду відпрацьованої води, що зрештою призводить до забруднення та виснаження природних джерел.

Умови застосування прямоточної системи водопостачання:

- достатньо потужне джерело водопостачання, розташоване поблизу промислового підприємства (не більше 1,5–2 км);
- невелика різниця відміток майданчика підприємства і горизонту води джерела водопостачання (≤ 15 м);
- неможливість чи недоцільність використання скидної води.

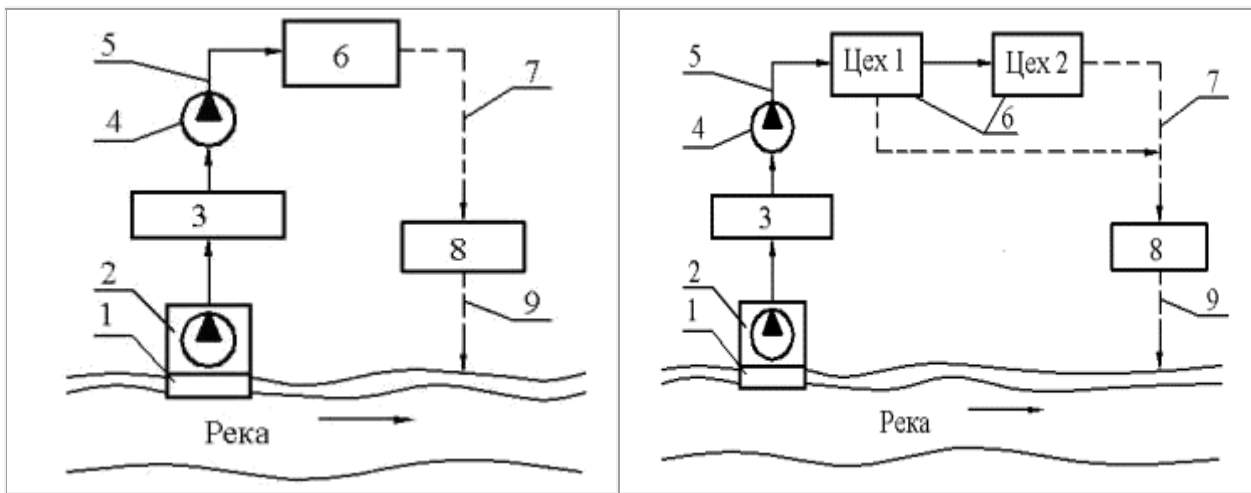


Рисунок 1.1 – Системи виробничого водопостачання:

а – прямотечійна; б – із повторним використанням води;

1 – водозабір; 2 – насосна станція I підйому; 3 – водоочисні споруди;

4 – насосна станція II; 5 – подача річкової води; 6 – промислове підприємство;

7 – відведення відпрацьованої води; 8 – станція очистки стічних вод;

9 – скидання води в річку

Особливі вимоги до температури води, що використовують для виробничих потреб. Так, наприклад, на теплоелектростанціях більш низька температура охолоджуючої води забезпечує підвищений виробіток електроенергії.

Прямотечійна система водопостачання не може бути впроваджена при хімічному забрудненні відпрацьованої нагрітої води, яку без спеціальної очистки не можна скидати у водойму, але за умовами технологічного процесу можна знову використовувати після охолодження.

Промислові стічні води можна очищати разом із міськими або на позамайданчикових очисних спорудах. Перед скидом в об'єкт водопостачання такі води потребують розбавлення водою. Кратність розбавлення: для нафтопереробної промисловості – у 60 разів, целюлозно-паперової – у 20–40 разів, для виробництва синтетичного волокна – у 10–15 разів, для азотної промисловості – у 10 разів, для виробництва синтетичного каучуку – у 2 000 разів. При недостатньому очищенні й розведенні відпрацьованої води відбувається забруднення поверхневих джерел. Вид забруднення залежить від функціонального використання води. Якщо вода використовується як теплоносій, то вона забруднюється механічно та термічно. Якщо воду використовують для поглинання та транспортування різних домішок у виробництві, то в цьому випадку наявні ще й хімічні забруднення.

Схема з повторним використанням води (рис. 1.1, б) відрізняється від попередньої тим, що забруднену воду в першому виробничому процесі

повторно використовують у другому виробничому процесі. При цьому якість води після забруднення першим виробничим процесом має відповідати потребам другого виробничого процесу. Прикладом застосування такої схеми може служити використання води, що витрачається на охолодження конденсаторів паротурбінних установок на крупних теплоенергетичних об'єктах, оскільки ця вода тільки нагрівається і не забруднюється якимись компонентами, а тому може повторно використовуватися іншими споживачами, які забруднюють цю воду і не пред'являють завищених вимог до температури води. Після використання вони скидають свої стічні води після відповідної очистки. Завдяки такому рішенню, відпадає необхідність подачі води споживачу II безпосередньо з джерела – таким чином економиться електроенергія на підймання води на висоту ΔH (на цю висоту вода вже була піднята при наданні її споживачу I).

Ця схема більш прогресивна, ніж перша, оскільки дозволяє зекономити приблизно в два рази кількість свіжої води, що забирають підприємства з водних об'єктів, крім того, зменшуються розміри і вартість водозабірних споруд, насосної станції першого підйому і водоводів, хоча виникає необхідність у додаткових затратах 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 $Q = Q_I \geq Q_{II}$.

Умови застосування схеми з повторним використанням води:

- відносно невелика потужність джерела водопостачання;
- висока вартість поданої води;
- можливість повторного використання води;
- достатній напір на скиді (тобто не потрібна вторинна перекачка води).

З економічних міркувань, вимог екології, а також при обмежених запасах води в природних джерелах на промислових підприємствах рекомендується споруджувати *оборотні системи* технічного водопостачання. В оборотних системах технічного водопостачання воду використовують багато разів.

Оборотні схеми використання води є найнадійнішими з екологічної точки зору. 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 % від

кількості оборотної води (залежно від характеру виробничого процесу). Звичайно воду, що повторно використовується, необхідно кожен раз охолоджувати, очищати, щоб вона відповідала технологічним вимогам.

Найбільшого поширення оборотні схеми отримали в теплообмінних циклах, де технологічну воду використовують для відведення тепла від працюючих агрегатів (рис. 1.2, а), а після використання охолоджують у градирнях, бризкальних басейнах, ставках.

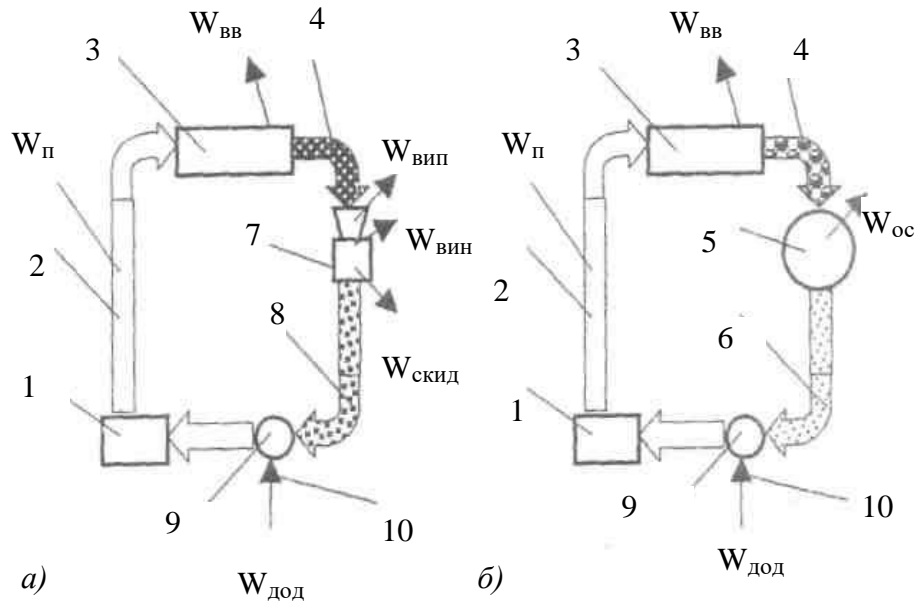


Рисунок 1.2 – Оборотні схеми водопостачання:

а – оборотна з охолодженням; б – оборотна з очищенням води;

1 – насосна станція; 2 – подача чистої води;

3 – підприємство; 4 – відведення відпрацьованої води;

5 – очисні споруди; 6 – відведення очищеної води; 7 – охолоджувальний пристрій; 8 – подавання охолодженої води, 9 – підживлювальний колодязь;

10 – подача підживлювальної води; W_n – кількість води, що подають на виробничий процес; $W_{вв}$ – виробничі витрати води; $W_{ос}$ – кількість води, що втрачається з осадом на водоочисній станції; $W_{скид}$ – кількість води, що скидають у водойму

. У процесі охолодження 2–3 % води випаровується чи розбризкується. Крім цього, через негерметичність теплообмінної або водопровідної мережі бувають витікання води. Тому оборотні системи повинніПотім її знову подають для охолодження обладнання постійно поповнюватись свіжою водою.

За рахунок випаровування в оборотному циклі зростають мінералізація та твердість води, що призводить до відкладення солей (карбонатів кальцію і магнію) на стінках теплообмінної апаратури та водопровідних труб. Щоб забезпечити певний сольовий склад, із системи постійно скидають частину води та додають певну кількість свіжої (підживлюють), тобто здійснюють продувку системи.

Оборотні схеми з очищенням (рис. 1.4, б) – це такі системи, в яких вихідну воду використовують, а стічну воду очищають на очисних спорудах від домішок і використовують знову на тому самому виробництві. Наприклад, у гальванічному виробництві стічні води забруднюються солями важких металів, очищення води на досить складних очисних спорудах дозволяє повернути воду у виробництво і захистити водойми від забруднення токсичними елементами.

Оборотне водопостачання дозволяє в десятки разів зменшити споживання вод. Так, наприклад, у виробництві синтетичного каучуку при прямоточній системі водопостачання на кожен тону продукції витрачають 2 100 м³ води, а при оборотній системі додавання свіжої води всього 165 м³ на 1 т каучуку.

Оборотне водопостачання лише тоді вигідніше за прямоточне, коли вартість додаткових споруд при його реалізації перебивається економією при будівництві головних споруд, водоводів і з урахуванням зменшення витрат електроенергії на подачу свіжої води.

Переваги оборотної системи водопостачання порівняно з прямоточною:

- зменшуються розміри головних споруд і водоводів;
- зменшуються витрати електроенергії для подачі води від джерела до підприємства;
- зменшуються розміри колекторів скидної води;
- більша надійність (безперебійність) водопостачання, оскільки в цьому випадку завжди є деякий запас води на майданчику підприємства.

Недоліки оборотної системи:

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

Схему виробничого водопостачання обирають за результатами аналізу призначення води, яку використовують, технічних і місцевих умов (наприклад, потужність джерела та якість води в ньому), відстані підприємства від джерела,

санітарних вимог до скидання стічних вод. Проте в усіх випадках потрібно більше використовувати оборотні системи.

Випадком оборотної системи водопостачання є *замкнена система виробничого водопостачання*, коли скид відпрацьованої води за межі підприємства відсутній. З точки зору захисту навколишнього середовища та захисту водоймищ від забруднення стічними водами ця система найбільш прогресивна. Однак при цій системі дуже складно забезпечити стабільність води в оборотному циклі, суттєво зростають вимоги до якості підживлюючої (свіжої) води, доводиться застосовувати більш складні технологічні схеми очистки як свіжої, так і оборотної води на локальних очисних спорудах, ускладнюється експлуатація всієї системи водного господарства промислового підприємства, збільшуються безповоротні втрати води.

Системи оборотного водопостачання є кроком уперед з питання захисту водоймищ від забруднення, оскільки дозволяють значно скоротити забір свіжої води і скоротити кількість стічних вод, що скидають у водойми. Однак повністю замкнені системи оборотного водопостачання, в яких використовують очищені й охолоджені води, не отримали ще великого поширення (наприклад, на заводах чорної металургії), оскільки роблять скид води у вигляді продувки, для того щоб підтримати сольовий вміст оборотної води на певному рівні. Однією з основних причин, що перешкоджають повному використанню забруднених або нагрітих стічних вод в обороті, є утворення щільних сольових відкладень по тракту руху води – в одних випадках, а також корозійні процеси – в інших. Дуже часто ці обидва процеси протікають одночасно і нерозривно пов'язані. Таким чином, при переході на замкнений режим роботи виникає необхідність вивчення водно-сольового балансу систем оборотного водопостачання.

Отже, основні питання, що характеризують роботу систем оборотного водопостачання, такі:

- водний і сольовий баланси;
- оцінка небезпечності та інтенсивності утворення щільних сольових відкладень в обладнанні та трубопроводах;
- оцінка небезпечності корозійного зносу;
- методи стабілізаційної обробки води.

Системи оборотного водопостачання поділяють на відкриті й закриті.

Відкриті системи – це такі системи, у яких охолодження води здійснюється в градирнях, бризкальних басейнах, ставках-охолоджувачах,

з використанням обладнання та споруд відкритого типу при безпосередньому контакті охолоджуючої води та повітря.

Закриті системи – це такі системи, в яких охолоджуюча вода не вступає у безпосередній контакт з повітрям і охолоджується в закритих теплообмінниках, тобто через стінку.

У відкритій системі втрати води складаються із втрат на випаровування та на крапельний винос з вітром. Поповнення втрат води здійснюється за рахунок підживлення. Втрати води називаються безповоротними.

У закритих системах втрати води зведені до мінімуму та визначаються тільки витіканням з нещільних з'єднань трубопроводів і арматури. Сучасні закриті систем застосовуються в основному в охолоджуючих системах водопостачання, де вода тільки нагрівається і не забруднюється механічними домішками. Для забруднених систем закриті теплообмінники поки що не застосовують.

На підприємствах часто кількість охолоджуючих систем значно перевищує інші, в яких вода забруднюється. В охолоджуючих системах використовують до 70–80 % води від загальної витрати, що споживає підприємство. Це так звані умовно-чисті цикли.

1.5 Витрати та втрати води на промислових підприємствах

Промислові підприємства використовують значну кількість води – на виробничі, господарсько-питні та протипожежні потреби. До найбільш значних виробничих споживачів відносяться металургійні, нафтопереробні, хімічні заводи, теплоелектростанції, що використовують воду для охолодження, підприємства целюлозно-паперової й гірничодобувної промисловості, де значна кількість води задіяна 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 пред'являють різні вимоги.

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

Витрати води на виробничі потреби підприємств залежать від характеру й обсягу виробництва та застосованих технологічних процесів і визначають за нормами водоспоживання або питомими витратами води на одиницю продукції.

Норма водоспоживання для виробництва однакової продукції визначається низкою факторів:

- видом і якістю сировини;
- технологічною схемою виробництва;
- застосуванням обладнання;
- системою водопостачання;
- місцевими умовами;
- якістю води, що використовується;
- умовами використання води (температура нагріву, ступінь забруднення).

Також потрібно зазначити, що для одного і того ж виробництва норма водоспоживання може змінюватися в широких межах залежно від різної якості води. Наприклад, охолодження мартенівських печей у Донбасі жорсткою водою потребує 250–500 м³/год на піч при температурному перепаді 10 °С, а для заводів Уралу – 150–300 м³/год при температурному перепаді 20 °С, оскільки якість води краща. Для охолодження конденсаторів турбін на 1 кВт потужності витрачається 300 л води при температурі 25 °С, а при температурі 15 °С – 200 л.

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

Орієнтовно для розрахунків споживання води на виробничі потреби норми водоспоживання приймають за довідником «Укрупнені норми витрат води та відведення стічних вод на одиницю продукції для різних галузей промисловості».

Для різних підприємств витрати води на одиницю продукції (м³/т) змінюються в широких межах:

- підприємства вугільної промисловості – 3–5;
- металургійні заводи з повним циклом виробництва (доменні печі, мартенівські печі, газоочистка, прокатні стани, повітродувні станції) на 1 т чавуну – 150–200;
- нафтопереробні заводи – 100–120;

- заводи синтетичного каучуку – 600–1000;
- виробництво пластмас – 200–250;
- машинобудівельні заводи – 15–20;
- молочні заводи – 15–20;
- м'ясокомбінати – 10–15;
- підприємства целюлозо-паперової промисловості – 50–800.

Значні витрати води характерні для теплоелектростанцій (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Витрати води на ТЕС

Потужність, тис. кВт	25	50	100	200	1 200
Витрата води, м ³ /год	5 000	12 000	20 000	40 000	200 000

При таких великих витратах зазвичай застосовують оборотне водопостачання з додаванням 3–5 % свіжої води.

Режим витрачання води на ПП відрізняється від режиму роботи комунального водопостачання і залежить від особливостей технологічного процесу: може бути рівномірним, нерівномірним та епізодичним.

1.6 Втрати води в оборотних циклах водопостачання

При використанні й охолодженні води в системах оборотного водопостачання, частина її втрачається на випаровування, краплинне винесення, у виробництві, з осадом, що видаляється з очисних споруд, на скид води з системи (продувку системи). Співвідношення величин цих втрат характеризує водний режим оборотного циклу водопостачання.

Продувка – це освіження циркулюючої води за рахунок скиду частини води, що призводить до зниження рівня забруднень циркулюючої в системі води.

Втрата води на продувку системи залежить від продуктивності системи оборотного водопостачання, карбонатної твердості води, що додається у систему та способу її обробки. Для сучасних систем оборотного водопостачання втрата води на продувку становить 1–3 % витрати циркулюючої в системі води.

Втрати води у вигляді шламової пульпи, що видаляється з очисних споруд. Кількість цієї води коливається для різних систем у межах від 2–3 % до 5 % і більше.

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

Позначимо кількість води, що перебуває в обороті $Q_{об}$, м³/год, тоді

$$q_d = \frac{P_d \cdot Q_{об}}{100}; \quad q_1 = \frac{P_1 \cdot Q_{об}}{100}; \quad q_{пр} = \frac{P_3 \cdot Q_{об}}{100}.$$

1.7 Вимоги споживачів до якості води

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

Якість і властивості води, що подають для виробничих потреб, встановлюють у кожному конкретному випадку залежно від ролі води та вимог технологічного процесу виробництва з урахуванням сировини, що використовують.

Загальними є такі вимоги до якості та властивостей технічної води:

1) вода не повинна бути шкідливою для здоров'я обслуговуючого персоналу;

2) не повинна погіршувати якість продукції;

3) не повинна викликати корозії;

4) не повинна давати карбонатних та інших сольових відкладень і не викликати біологічного обростання;

5) не повинна погіршувати техніко-економічні показники виробничого процесу.

У промисловості найбільшу кількість води використовують для охолодження технологічного обладнання, пари, рідких і газоподібних продуктів, конденсаторів парових турбін, доменних і мартенівських печей. При цьому застосовують прямоточні й оборотні системи водопостачання.

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

Природні води, що використовують у системах технічного водопостачання і в яких не відбувається сольових відкладень, тобто не випадають солі карбонатної твердості при температурі 40–60 °С, прийнято

називати *термостабільними*. Карбонатна твердість цих вод не перевищує 4 мг-екв/л для прямиоточного водопостачання, та 2–3 мг-екв/л – для оборотного.

Обмежено термостабільними називають води, якщо утворення карбонатних відкладень відбувається при накопиченні солей кальцію.

Не термостабільні води – це коли при нагріванні води відразу утворюються відкладення.

У практиці водопідготовки *стабільною* прийнято називати воду, що при визначеній температурі не виділяє нерозчинні сполуки карбонату кальцію та не є агресивною, тобто не руйнує конструкційні матеріали.

Якість охолоджуючої води визначається умовами застосування. Так звичайно обмежується максимальна температура нагріву води і бікарбонатів кальцію і магнію, загальна твердість води, вміст завислих речовин, їхній гранулометричний склад, вміст заліза, марганцю, органічних з'єднань для запобігання утворення накипу, засмічення відкладеннями суспензії або біообростання холодильних апаратів чи конденсаторів, а також трубопроводів, що знижує ефективність роботи всієї системи охолодження і збільшує витрати на експлуатацію.

Для запобігання утворення накипу в оборотних 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 охолоджуючій 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 охолоджуючій 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.

Вимоги до води, що використовують для технологічних процесів, відрізняються значним різноманіттям, обумовленим специфікою виробництва, і загалом вони нижчі за вимоги ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води

питної, призначеної для споживання людиною [1] – таку воду називають технічною. Однак для низки виробництв за деякими показниками ці вимоги можуть бути значно вищі, оскільки для багатьох галузей промисловості виключно важливе значення має одержання вимог відносно вмісту у воді різних речовин. Наприклад, лімітується твердість води при її використанні на підприємствах паперової і текстильної промисловості, виробництві штучних волокон. Вміст заліза і марганцю строго обмежено у воді, яку використовують при виробництві пластмас. У харчовій і текстильній промисловості обмежена окисність води і вміст хлоридів. У воді, яку використовують для приготування розчинів кислот, лугів, барвників, мила, твердість води не повинна перевищувати 0,35 мг-екв/л. Вода, яка використовується з промивною метою, не повинна містити речовин, які негативно впливають на матеріал, що промивається. Специфічні вимоги пред'являють до води, що входить до складу продукції.

Для низки виробництв, у гірничодобувній промисловості при збагаченні корисних копалин, у воді для гідротранспорту, обмивання і сортування сировини повинні бути відсутні грубодисперсні домішки.

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

Температура води, як правило, повинна бути $\leq 25-30$ °С, завислі речовини $\leq 150-200$ мг/л, запах до 4 балів, рН 7,2–8,5, поверхнево-активних речовин ≤ 15 мг/л.

Внаслідок неможливості встановити єдині усереднені показники для всіх підприємств, у таблиці 1.2 наведено приблизні загальні вимоги до якості води, що використовують у системах оборотного водопостачання підприємств чорної металургії.

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

Таблиця 1.2 – Приблизні загальні вимоги до якості води, що використовують у системах оборотного водопостачання

Показники якості води	Вода I категорії, яку використовують для охолодження обладнання і продукту в теплообмінних апаратах (без зіткнення з ним), що працюють при температурах охолодження продукту чи стінки			Вода, яку використовують як середовище, що поглинає і транспортує домішки	
	≤80°C	80–400 °C* ²	≥400 °C (із вогневим обігрівом)* ³	без нагрівання (збагачення корисних копалин, гідрозоло-видалення тощо). Вода II категорії	З нагріванням (уловлювання і очистка газів, гасіння коксу тощо) Вода III категорії
1	2	3	4	5	6
<i>Фізичні:</i>					
температура* ¹ , °C	25–28	28–40	40–45	Не нормується	30–45
завислі речовини в оборотній воді* ⁴ , мг/л	20–30	10–20	5–10	При гравітації до 1 000–10 000, при флоатації до 200	150–200
олії і смолоутворюючі продукти (ефіророзчинні), мг/л	≤20	10-20	≤10	Не нормується	Не нормується
Запах, бали	≤3	≤3	≤3	≤3	≤4
<i>Хімічні:</i>					
pH	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5	Не нормується	6,5–9
Твердість загальна, мг-екв/л	Не нормується	≤7	≤5	Не нормується	Не нормується
Твердість карбонатна, мг-екв/л в оборотній воді в підживлюючій воді	2–3,5 ≥1,5 та ≤2,5	1,5–3	1,5–2,5	Не нормується Не нормується	При очищенні газів необхідна води
Лужність загальна в оборотній воді, мг-екв/л	4	3,5	≤3	Не нормується	Не нормується
Загальний солевміст (сухий залишок) в оборотній воді, мг/л	≤2 000	≤1 300	≤800	Не нормується	Не нормується

Продовження таблиці 1.2

Показники якості води	Вода I категорії, яку використовують для охолодження обладнання і продукту в теплообмінних апаратах (без зіткнення з ним), що працюють при температурах охолодження продукту чи стінки,			Вода, яку використовують як середовище, що поглинає і транспортує домішки	
	$\leq 80^{\circ}\text{C}$	$80-400^{\circ}\text{C}^{*2}$	$\geq 400^{\circ}\text{C}$ (з вогневим обігрівом) ^{*3}	без нагрівання (збагачення корисних копалин, гідрозоло-видалення тощо). Вода II категорії	З нагріванням (уловлювання і очистка газів, гасіння коксу тощо). Вода III категорії
Хлориди в оборотній воді, мг/л	≤ 350	≤ 350	≤ 150	Не нормується	Не нормується
Сульфати в оборотній воді, мг/л	≤ 500	≤ 600	≤ 250	Не нормується	Не нормується
Fe _{заг} , мг/л	1-4	≤ 2	$\leq 1,5$	При гравітації не нормується, при флотації до 10	Не нормується
Окисність перманганатна	≤ 20	≤ 20	≤ 20	Не нормується	Не нормується
ХПК у підживлюючій воді, мг/л	100-150	Не нормується	Не нормується	Не нормується	Не нормується
<i>Біологічні:</i>					
БПК ₅ в оборотній воді	15-30	10-15	10-5	Не нормується	Не нормується
Біогенні елементи в підживлюючій воді, мг/л					
Азот загальний	50-80	50-80	≤ 8	Не нормується	Не нормується
Фосфати P ₂ O ₅	2,5	2,5	–	Не нормується	Не нормується

Примітка 1. ^{*1} – уточнюють залежно від технологічного процесу за допустимою різницею температур.

Примітка 2. ^{*2} – може бути водяне охолодження замінено повітряним.

Примітка 3. ^{*3} – на металургійних печах застосовують випарне охолодження.

Примітка 4. ^{*4} – уточнюють залежно від швидкості руху охолоджуючої води в теплообмінних апаратах.

До води, яку використовують для живлення парових котлів, пред'являють завищені вимоги порівняно з водою, що використовують для охолодження. При використанні води для потреб паросилового господарства вона не повинна утворювати накипу, викликати корозію металу, спінюватися, приводити 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.

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

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

Тому в теплоенергетиці вміст солей для цілої низки процесів допускається не більше 10–15 мг/л, а вміст солей твердості в десятки і сотні разів менший, ніж для води, що використовують при охолодженні. Така вода, як правило, повинна піддаватися частковому або глибокому знесолюванню і пом'якшуванню. Для казанів високого тиску недопустима присутність кремнієвої кислоти, яка сприяє утворенню щільних відкладень накипу. Окисність води повинна бути у декілька разів нижчою, ніж для систем охолодження.

Недопустиме спінювання котлової води, що звичайно обумовлене присутністю фосфатів, лугів, нафтопродуктів, поверхнево-активних речовин і призводить до забруднення пари різними домішками та подальшого відкладення забруднень на лопатках турбін. Луги з одного боку створюють небезпеку забруднення пари, а з іншого боку сприяють утворенню щільної плівки гідроокису заліза на поверхні казана, що запобігає корозії металу. Тому доцільно підтримувати в живильній воді деякий мінімальний вміст лугів у межах 20–50 мг/л їдкого натру.

Контрольні запитання

1. Які системи технічного водопостачання застосовують на промислових підприємствах?
2. На які цілі витрачається вода на теплових електростанціях?
3. Поясніть принципову схему прямого водопостачання.
4. Норми водопостачання та водовідведення на промислових підприємствах.
5. Які вимоги до якості води, що використовують для живлення парових котлів?
6. Послідовно-оборотні системи водопостачання. Їх переваги перед прямоочисними системами.
7. Втрати води в оборотних системах водопостачання.

Розділ 2 МЕТОДИ ВОДОПІДГОТОВКИ. ОСНОВНІ ТИПИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ВОДИ

2.1 Коагуляція і прояснення води

Необхідність видалення з води грубодисперсних і колоїдних домішок на перших стадіях очистки води обумовлюється вимогами покращення техніко-економічних показників наступних ступенів очистки природних вод від інших видів домішок. З досвіду експлуатації установок іонообмінного знесолення води відомо, що присутність у вихідній воді органічних речовин призводить до «старіння» іонітів, тобто веде до безповоротної зміни їхніх технологічних властивостей. Зниження терміну служби іонітів у 4–7 разів викликає не тільки підвищення вартості знесоленої води, але й необхідність збільшення виробництва іонообмінних матеріалів.

Попередню очистку води здійснюють шляхом поєднання декількох технологічних процесів. На цей час попередню очистку води на установках водопідготовки здійснюють при поєднанні таких процесів: коагуляції та прояснення; коагуляції, вапнування і прояснення; коагуляції, вапнування, магnezіального знекремнення і прояснення води.

Коагуляція – це процес, у якому відбувається зниження ступеня дисперсності колоїдно-розчинених домішок внаслідок агломерації їх частинок з утворенням макрофази. При коагуляції проходить процес укрупнення завислих та колоїдних частинок за рахунок їх взаємного злипання під дією молекулярних сил. Завершується процес утворенням великих пластівців розміром 1–10 мм із наступним їх видаленням із води.

Щоб зрозуміти сутність процесу коагуляції, розглянемо спочатку причини стійкості колоїдних розчинів, тобто причини того, чому колоїдні частинки невизначено довгий час перебувають у зваженому стані і не осаджуються.

Колоїдні частинки, що містяться у воді, перебувають у безперервному та безладному броунівському русі. Між ними діють сили взаємного тяжіння та відштовхування. Сили взаємного відштовхування пояснюються тим, що однорідні колоїдні частинки мають електричні заряди одного знаку. Наявність електричних зарядів пояснюється такими причинами: кожна колоїдна частинка має дуже значну адсорбційну здатність, завдяки чому вона адсорбує з розчину іони електролітів одного знаку, які розподіляються рівномірно по її поверхні, утворюючи адсорбційний шар. Колоїдна частка разом з адсорбційним шаром називається гранулою. Зважаючи на наявність у гранули електричного заряду, навколо неї концентруються іони із зарядами протилежного знака (протиіони). Протиіони не пов'язані міцно з гранулою; вони зберігають здатність до дифузії в навколишню рідину, утворюючи навколо гранули дифузійний шар, у якому концентрація протиіонів зменшується в міру віддалення від гранули. Гранула разом із дифузійним шаром називається міцелою, схема будови якої показана на рисунку 2.1.

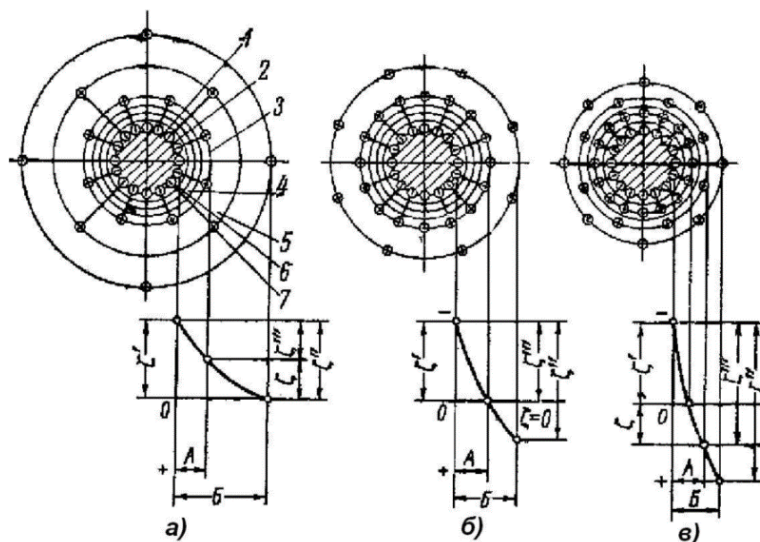


Рисунок 2.1 – Схема будови колоїдної міцели:

1 – ядро колоїдної частки; 2 – адсорбційний шар; 3 – поверхня ковзання;
 4 – подвійний електричний шар завтовшки A ; 5 – дифузійний шар товщиною B ;
 6 – адсорбовані іони; 7 – протиіони: а – стан міцели, при якому колоїдна частка має негативний заряд; б – стан міцели, при якому колоїдна частка не має заряду; в – стан міцели, при якому знак заряду колоїдної частинки змінився з негативного на позитивний

Оскільки всі однорідні частинки мають на поверхні ковзання заряди одного знака, то між ними діють сили взаємного відштовхування, які, так само як і сили взаємного тяжіння, зменшуються зі збільшенням відстані між частинками. Залежність взаємодії сил тяжіння і відштовхування графічно зображено на рисунку 2.2.

Для того щоб відбулася коагуляція, тобто взаємне тяжіння і злипання частинок, що рухаються, вони повинні подолати максимальну результуючу силу відштовхування – «силовий бар'єр» БД. Чим вищий «силовий бар'єр», тим важче його подолати та викликати коагуляцію. Чим менша величина електричних зарядів, тим менша сила взаємного відштовхування, тим нижчий «силовий бар'єр». Зниження величини зарядів частинок може бути досягнуто збільшенням концентрації протіонів у розчині шляхом додавання до цього розчину відповідних електролітів.

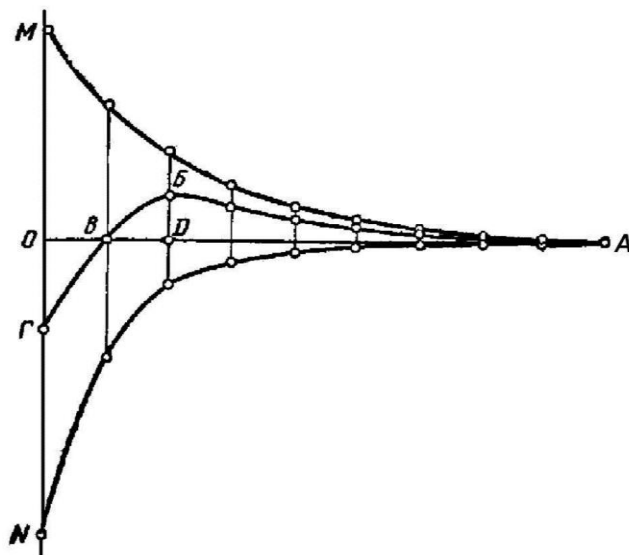


Рисунок 2.2 – Залежність взаємодії сил відштовхування та тяжіння від відстані між колоїдними частинками:

OA – відстань між колоїдними частинками; *AM* – крива відштовхування;
AN – крива тяжіння; *АБВГ* – результуюча крива взаємодії колоїдних частинок;
БД – «силовий бар'єр»

Для здійснення технологічного процесу коагулювання колоїдних домішок, що містяться у воді як коагулянти, застосовуються сульфат алюмінію $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, сульфат заліза і хлорид заліза $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ та $FeCl_3$.

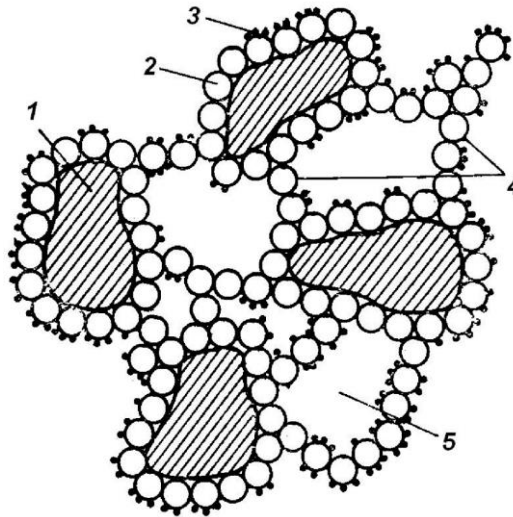
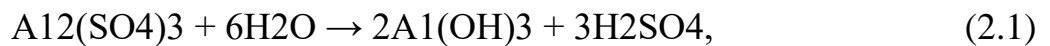


Рисунок 2.3 – Структура пластівців, що утворюються при коагуляції:
 1 – частинки суспензії; 2 – частинки гідроксиду алюмінію; 3 – гумінові речовини; 4 – «клеюві містки»; 5 – «захоплена» вода

У результаті реакцій гідролізу:



і наступного окислення гідроксиду заліза (2+) розчиненим у воді киснем за реакцією:



утворюються майже нерозчинні у воді гідроксиди алюмінію та заліза, які є нестійкими компонентами колоїдної системи.

Для прискорення процесу коагуляції застосовують підігрів коагулюючої води до 30–40 °С і перемішування її, завдяки чому колоїдні частинки забруднень і коагулянту зазнають більш частих та сильних зіткнень, що призводять до їх злипання. Однак перемішування не повинно проводитися занадто енергійно, щоб не роздробити пластівців, що утворилися. Підвищення температури понад 40 °С погіршує ефект освітлення внаслідок швидшого броунівського руху колоїдних частинок і гальмування адсорбції їх пластівцями. Процес коагуляції в деяких випадках можна прискорити також при застосуванні суміші коагулянтів FeCl_3 та $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Для прискорення процесу коагуляції останнім часом дедалі ширше застосування отримує поліакриламід. Додавання поліакриламиду в коагулювану воду після утворення пластівців коагулянту навіть у дуже малих дозах (0,5–2,0 мг/кг) значно укрупнює та обтяжує пластівці коагулянту, що призводить до прискорення їх осадження та

дає можливість підвищити швидкість підйому води в освітлювачах та їх продуктивність.

Поліакриламід випускається у вигляді студнеподібної маси і застосовується у вигляді розчину 0,1–0,2 %-ї концентрації.

Сульфат заліза (FeSO_4), як коагулянт, має такі переваги порівняно із сульфатом алюмінію $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:

а) процес коагуляції сульфатом заліза залежить від температури води і тому вимагає її підігріву;

б) швидкість осадження гідроксиду заліза вища, ніж гідроксиду алюмінію, оскільки щільність гідроксиду заліза в 1,5 раза більша за щільність гідроксиду алюмінію, що дозволяє зменшити тривалість відстоювання та розміри освітлювачів.

Незважаючи на ці переваги сульфату заліза, у прямоочних коагуляційних установках доцільніше застосовувати як коагулянт сульфат алюмінію, що не вимагає, як правило, підлужування води за наявності достатньої для створення оптимального рН природної лужності (карбонатної твердості).

Вибір виду та експлуатаційної дози коагулянту, а також дози лужного реагенту та оптимальної величини рН проводять на основі результатів пробної коагуляції води різними реагентами, проведеними в лабораторних умовах у характерні для джерела водопостачання періоди року.

Коагуляція води в освітлювачах

Великі завислі частинки видаляються відстоюванням, дрібні – фільтруванням. Для фільтруючого завантаження використовують пісок, мармурову крихту, антрацит, сульфовугілля.

Для видалення колоїдних речовин з води з низькою лужністю (до $2,5 \text{ мг-екв/дм}^3$) зазвичай воду оброблюють коагулянтами, які сприяють укрупненню завислих речовин (сірчаноокисле залізо FeCl_3 і сірчаноокислий алюміній $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Ці речовини гідротуються з утворенням пластівців ($\text{Al}(\text{OH})_3$ і $\text{Fe}(\text{OH})_3$). Після цього осад видаляється в освітлювачах.

На рисунку 2.4 наведено принципову схему коагуляційної установки із освітлювачем. Вихідна вода після підігріву її до температури $25\text{--}30^\circ\text{C}$ надходить в освітлювач разом або окремо з розчином коагулянту. У трубопровід вихідної води перед освітлювачем вводиться розчин кислоти або луги для створення оптимального значення рН, а у випадку застосування як коагулянту сульфату заліза (Fe^{2+}) вводиться розчин хлору для окислення двовалентного заліза в тривалентне.

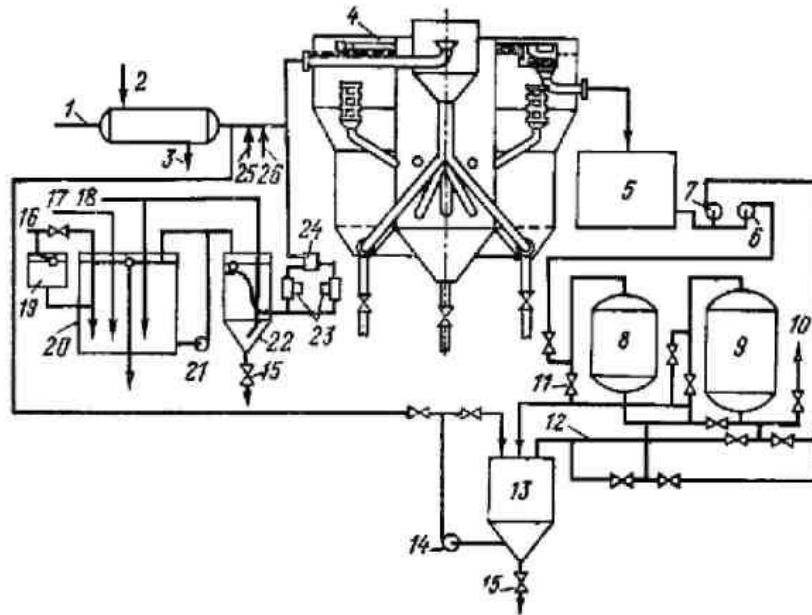


Рисунок 2.4 – Принципова схема коагуляційної установки з освітлювачем:
 1 – вихідна вода; 2 – гріюча пара; 3 – конденсат; 4 – освітлювач; 5 – бак коагульованої води; 6 – насос коагульованої води; 7 – насос для промивки фільтрів; 8 – освітлювальний фільтр; 9 – адсорбційний фільтр; 10 – освітлена вода; 11 – скид промивної води; 12 – скид першого фільтрату; 13 – бак для скиду промивних вод; 14 – насос для перекачки промивних вод в освітлювач; 15 – дренаж; 16 – технічна вода; 17 – гаряча вода або пара для розчинення коагулянту; 18 – стиснене повітря для перемішування; 19 – бачок постійного рівня; 20 – бак мокрого зберігання коагулянту; 21 – перекачувальний насос коагулянту; 22 – витратний бак коагулянту; 23 – насоси-дозатори розчину коагулянту; 24 – повітряний ковпак; 25 – ввід хлору; 26 – ввід кислоти або лугу для створення необхідного значення рН

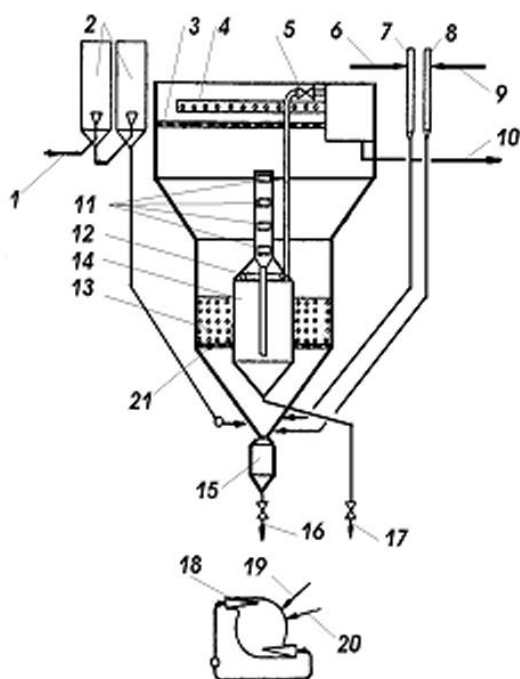
Освітлювач є апаратом, у якому одночасно протікають хімічні реакції, пов'язані з введенням реагентів, а також фізичні процеси формування утворених осадів (шламу) в об'ємі води освітлювача і фільтрації обробленої води через їх шар. Контактне середовище в освітлювачі – шламований фільтр, утворений з раніше утворених і знову утворених частинок шламу, що перебувають у завислому стані за рахунок дії вихідного потоку води. Вода, що пройшла через шламований фільтр, звільняється від грубодисперсних частинок, що містяться у вихідній воді та утворилися в результаті хімічних реакцій в освітлювачі. Їх остаточна концентрація буває в межах 5–10 мг/дм³.

Освітлювачі використовуються для реалізації осідання при обробці води коагулянтами, гашеним вапном, содою, магнезитом.

В освітлювачі відбувається утворення пластівців та прояснення води. Освітлена вода надходить у проміжний бак, з якого насосами подається на освітлювальні фільтри для остаточного звільнення від тонкої зависі, не затриманої в освітлювачі. З фільтрів завись видаляється розпушуючою промивкою зворотним током води. Промивні води збираються у спеціальному відстійнику, з якого рівномірно перекачуються насосом в лінію вихідної води. Крім економії води, тепла і реагентів, ця операція дозволяє інтенсифікувати утворення пластівців унаслідок сприятливого впливу зависі, що міститься у промивній воді. Для більш глибокого видалення органічних речовин з коагульованої води її після освітлювальних фільтрів пропускають через сорбційні фільтри, завантажені активованим вугіллям.

В теплоенергетиці при вапнуванні води використовують освітлювачі із завислим осадом, які розроблені ЦНДІ МПС на продуктивність від 30 до 1 000 м³/год і становлять металеві відкриті зверху місткості (рис. 2.5).

Рисунок 2.5 – Схема освітлювача із завислим осадом ЦНДІ:



- 1 – подача вихідної води;*
- 2 – повітровиділювачі; 3 – решітка;*
- 4 – водозбірний жолоб; 5 – засувка повертання води із шламовідділювача;*
- 6, 9 – підведення коагулянту та вапна;*
- 7, 8 – повітровиділювачі реагентів;*
- 10 – відведення очищеної води;*
- 11 – шлакоприймальні вікна; 12 – колектор проясненої води; 13 – гасник турбулентного потоку; 14 – шламовідділювач;*
- 15 – брудозбірник; 16 – періодична продувка; 17 – безперервна продувка;*
- 18 – сопло для вводу вихідної води;*
- 19, 20 – вводи реагентів; 21 – решітка*

Вихідна вода 1 подається в повітровиділювач 2, де видаляються бульбашки повітря, а далі через сопло тангенціально впускається в нижню частину освітлювача. Туди ж так само впускаються реагенти. У верхній частині освітлена вода збирається збірним трубопроводом та трубопроводом 10 відводиться на фільтри. Для того щоб осад менше захоплювався освітленою водою, у верхній частині освітлювач розширюється. Для підтримки постійної

висоти завислого шару та оновлення його, осад (шлам) постійно відсмоктується через вікна в шламовідділювач 14. Зі шламовідділювача осад (шлам) безперервно видаляється трубопроводом 17. При продувці (випуск певної кількості осаду) випускається 1,5–3 % води від продуктивності освітлювача.

Для води з більш високою лужністю коагуляцію поєднують із вапнуванням. Разом з вапном може застосовуватися також сода. Ці процеси проводяться в освітлювачі, де осад, що утворився в результаті вапнування і коагуляції, фільтрується через зважений у висхідному потоці води шар шламу. Застосування вапна дозволяє знизити лужність і твердість води, що обробляється і, як наслідок, скорочення витрат реагентів (кислоти і лугу) для регенерації іонообмінних фільтрів при подальшому хімічному знесолуванні.

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

2.2 Основне обладнання та схеми попередньої обробки води

За принципом течії води системи водопідготовки поділяють на самопливні (безнапірні) й напірні. У самопливних спорудах вода тече внаслідок дії сили тяжіння у відкритих спорудах, а рівень води в кожній наступній споруді нижчий, ніж у попередній. У напірних спорудах вода тече спорудами закритого типу під тиском, який створює насос. Усі споруди можуть бути розташовані на одному рівні. Напірні споруди, звичайно, використовуються на станціях підготовки води для технічних цілей та на станціях підготовки питної води невеликої продуктивності. Схеми освітлення і знебарвлення поділяють на безреагентні (в яких частинка затримується завдяки своїм природним даним) і реагентні, в яких частинка затримується за допомогою введених реагентів.

Попереднє очищення може проводитись на двох типах споруд: на спорудах загальних для господарсько-питного та виробничого водопроводу; на спорудах водопідготовки тільки виробничого призначення. Технологічна схема першого типу споруд для освітлення і знебарвлення або знезалізнення води передбачає, частіше, самопливний варіант, на заключному етапі якого передбачається знезараження. Розташовуються споруди, звичайно, біля

джерела і найчастіше приймається безреагентна схема при знезалізненні, реагентна одноступенева схема – при очищенні малокаламутних, кольорових вод і двоступенева – при каламутних водах.

При каламутності води до 120 мг/л, кольоровості до 120 град ПКШ та будь-якій продуктивності станції використовують схему з контактними освітлювачами (рис. 2.6, а). Вихідну воду попередньо очищують від планктону, сміття на барабанних сітках або мікрофільтрах 2, змішують у трубопроводі з хлором 3 і подають у контактний резервуар, де окислюються органічні речовини. З резервуару вода надходить у змішувач 4, де вона змішується з коагулянт 4. Далі вода поступає безпосередньо в контактний освітлювач 6 із зернистою засипкою, де, рухаючись знизу вгору, освітлюється й збирається в резервуарі чистої води.

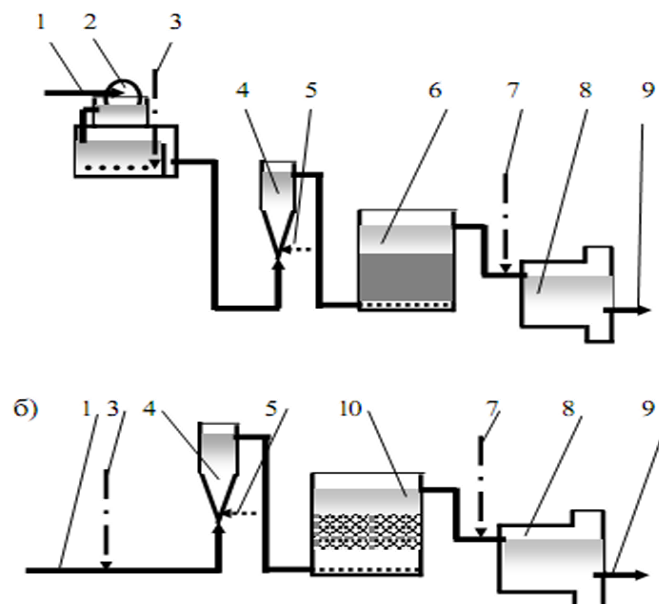


Рисунок 2.6 – Одноступеневі реагентні схеми освітлення і знебарвлення води:
а – з контактними освітлювачами; б – з контактними пінополістирольними фільтрами;

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

При каламутності вихідної води до 100 мг/л, кольоровості до 100 град ПКШ і будь-якій продуктивності станції можна використовувати схему з контактними пінополістирольними або пінополістирольно-вугільними фільтрами (рис. 2.6, б), на які вода, змішана з реагентами, потрапляє із змішувача 4. Проходячи через шар плаваючого пінополістиролу знизу вгору,

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

При продуктивності станції до 5 000 м³/добу рекомендується двоступенева схема з вертикальними відстійниками (перший ступінь очистки) і швидкими фільтрами (другий ступінь очистки).

При продуктивності станції більше 30 000 м³/добу замість вертикальних використовують горизонтальні відстійники. Перед ними в схемі обов'язково влаштовуються камери утворення пластівців, конструкція яких залежить від якості вихідної води. Вода з добре сформованими пластівцями після камери рухається повільним горизонтальним потоком через відстійник і пластівці осідають по всій довжині в нижній частині відстійника. Інші споруди в цій схемі такі самі, як у попередній. В інтервалі продуктивності від 5 000 до 30 000 м³/добу замість відстійників широко використовують освітлювачі із шаром завислого осаду.

На освітлювачі вода, змішана з реагентами, подається безпосередньо із змішувача 4. У самих освітлювачах вода рухається вертикальним висхідним потоком через шар раніше затриманих пластівців, який і затримує нові порції забруднень. Освітлена вода з верхньої частини освітлювача також, як і в попередніх схемах, відводиться на швидкі фільтри 7. Така сама схема, але з напірними фільтрами, може використовуватись при попередній підготовці води на станціях хімічної обробки води. При цьому разом з коагуляцією передбачається вапнування для зниження твердості, лужності тощо.

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

2.3 Фільтрування води. Освітлювальні фільтри

Практично в усіх технологічних схемах водопідготовки використовуються споруди для фільтрування води. Фільтрування застосовується для глибокого видалення води грубодисперсних частинок, пластівців коагулянту і зкоагульованих колоїдних частинок. При фільтруванні води тверді частинки затримуються на поверхні або товщі фільтруючого матеріалу.

За відсутності попередньої коагуляції в освітлювачах вода, що містить грубодисперсну суспензію, утворює на поверхні фільтруючого матеріалу

фільтруючу плівку. Якщо ж застосовується попередня коагуляція в освітлювачі, у якому затримується основна маса суспензії, і на фільтри надходить вода, що містить дрібні завислі частинки, то фільтрування йде не на поверхні, а в товщі фільтруючого шару. При такому процесі повніше використовується вся товща зернистого завантаження фільтра та забезпечується високий ступінь прояснення.

Освітлювальні фільтри поділяють на горизонтальні і вертикальні; одношарові, двошарові і багатошарові; одно-, дво- і трикамерні (в одному вертикальному корпусі декілька паралельних камер); на одно- і двопотокові (мають у середині дренаж). За конструкцією фільтри є безнапірні та напірні.

На рисунку 2.7 наведено схеми освітлювальних фільтрів, які застосовуються на водопідготовчих установках електростанцій:

1) за типом – на вертикальні (а–к) та горизонтальні (л, м);

2) за тиском води над фільтруючим шаром – на самопливні або відкриті (а), що працюють під напором, створюваним різницею рівнів води у фільтрі і збірному баку освітленої води, і напірні або закриті (б–м), що працюють під напором, створюваним насосом або високо розташованим баком; 3) за кількістю послідовно працюючих фільтруючих шарів – на одношарові (а, б, в, е, к, л, м) та двошарові (г, д); в одношарових фільтрах фільтруючий шар складається з одного матеріалу (дрібний гравій, кварцовий пісок, активоване вугілля, антрацит, напівспалений доломітовий вапняк), у багатошарових – з різних матеріалів;

4) за кількістю паралельно працюючих камер – на однокамерні (а, б, в, д, л, м), двоповерхові (е), двокамерні (г, ж), трикамерні (з);

5) за способом фільтрування – на однопотокові (а, б, г, д, л) та двопотокові (в, м).

Найбільшого поширення на електростанціях отримали вертикальні напірні однопоточні фільтри діаметром до 3400 мм, що визначається габаритами транспортабельності, з граничною продуктивністю до 90 м³/год.

У схемах обробки води на ТЕС, промислових і опалювальних котелень найпоширеніші вертикальні напірні освітлювальні фільтри.

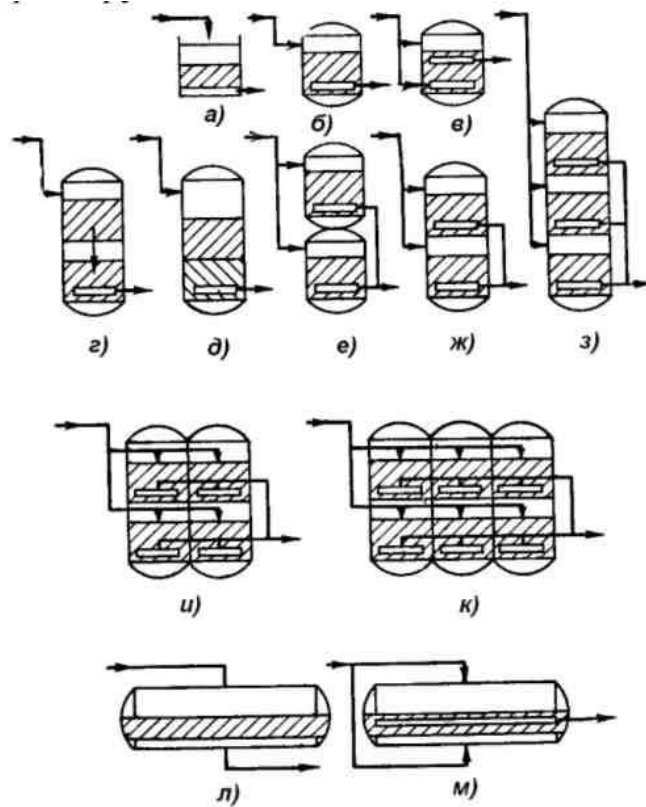


Рисунок 2.7 – Принципові схеми освітлювальних фільтрів

Напірні фільтри становлять закриті резервуари циліндричної форми, що можуть витримувати значний тиск (рис. 2.8). Основні елементи напірних фільтрів такі самі, як у безнапірних фільтрах – фільтрувальне завантаження і підтримуючі шари, дренажна система, призначена для відведення проясненої води й подачі промивної води, розподільний пристрій для стисненого повітря тощо. Фільтри розраховані на тиск 0,4–0,6 МПа. Їх виготовляють діаметром від 0,3–0,5 м до 3,4 м.

Фільтр складається з корпусу, верхнього та нижнього розподільних пристроїв, трубопроводів, запірної арматури, пробовідбірною пристроєм та фільтруючого завантаження. Дренажно-розподільні пристрої є найважливішим елементом конструкції освітлювального фільтра. Верхній дренажно-розподільний пристрій призначений для підведення у фільтр і рівномірного розподілу за площею поперечного перерізу води. Нижній дренажно-розподільний пристрій забезпечує відведення освітленої води та рівномірний розподіл за перерізом фільтра води для промивання і стисненого повітря. Трубопроводи та запірні арматури дозволяють у процесі експлуатації перемикаєти потоки води та стиснутого повітря.

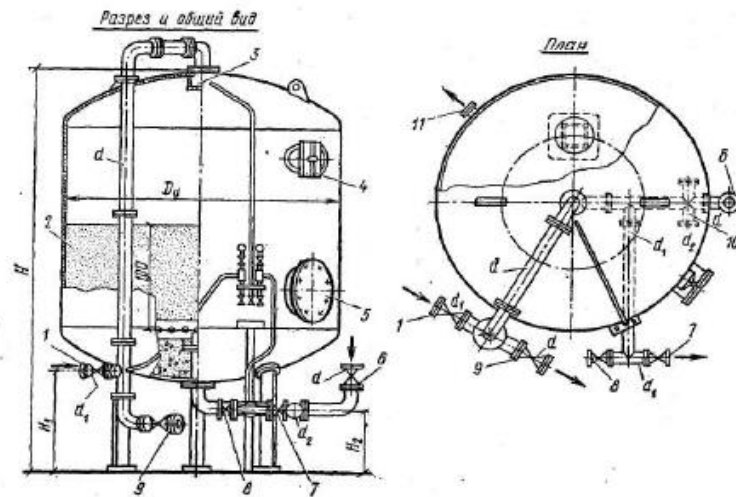


Рисунок 2.8 – Напірний вертикальний фільтр із зернистим завантаженням:
 1 – подача води на очищення; 2 – фільтруючий шар із зернистого завантаження; 3 – верхній розподільний пристрій; 4 – контрольний еліптичний лаз; 5 – круглий лаз; 6 – підведення промивної води; 7 – відведення першого фільтрату; 8 – відведення очищеної води; 9 – відведення промивної води; 10 – підведення стислого повітря; 11 – штуцер для гідравлічного вивантаження і завантаження фільтру

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

Напірні фільтри мають напрямом фільтрування зверху донизу, 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).

Напірні фільтри з двома та трьома камерами, що практично становлять два або три фільтри, розташовані один над одним, дозволяють підвищити в 2–3 рази продуктивність очищення води без збільшення діаметра фільтра.

Конструкції двох- трикамерних освітлювальних фільтрів складаються з таких самих основних елементів. Відрізняються тим, що корпуси цих фільтрів

за висотою поділені глухими плоскими перегородками і кожна камера має верхній та нижній розподільний пристрій.

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

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

2.4 Хімічна обробка води. Реагентне пом'якшення води

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

Недостатня така попередня обробка води значно підвищує навантаження на споруди хімічної обробки та підвищує собівартість очистки, а в окремих випадках навіть знижує якість хімічно обробленої води. Проте частково функції споруд хімічної обробки води можуть покладатись на споруди попередньої підготовки. На додаток живильна вода повинна пройти корекційну (стабілізаційну) обробку.

Отже, існує два етапи підготовки води: попередній і заключний (хімічний). На першому (попередньому) етапі підготовки води здійснюють такі процеси:

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

На заключному етапі хімічної обробки води використовують:

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

Реагентний метод забезпечує часткове зниження лужності (декарбонізацію) води, твердості, сухого залишку, вмісту кремнієвої кислоти. Залежно від типу реагентів та їх дози буде забезпечуватись певний ступінь й ефективність очищення.

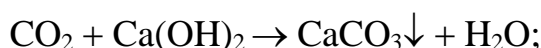
У загальному випадку за реагентним методом передбачається введення реагентів у воду, перетворення розчинених солей у нерозчинені, затримання їх осадженням і фільтруванням у шарі зернистої засипки.

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

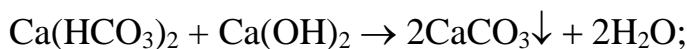
Вапнування води, як і коагуляція, є реагентним осаджувальним методом попередньої обробки води. При вапнуванні у воду вводять у вигляді розчину гашене вапно $\text{Ca}(\text{OH})_2$, яке зв'язує вільний вуглекислий газ і катіони, що видаляються з води у важкорозчинні сполуки.

Основним призначенням вапнування є видалення з води зв'язаної чи вільної вуглекислоти, зниження лужності та сухого залишку з одночасним її пом'якшенням. При вапнуванні, поєднаному з коагуляцією, досягається знезалізнення та часткове знекремнення (на 30–40 %). Для більш повного видалення кремнію (SiO_3^{2-}) (до 0,8–1,5 мг/л) разом з вапном дозується оксид магнію (MgO). При вапнуванні води (додаванні $\text{Ca}(\text{OH})_2$) протікають такі процеси:

а) видалення вільної вуглекислоти



б) видалення кальцієвої карбонатної твердості



в) видалення магнієвої карбонатної твердості

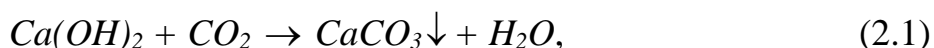


Реагентне пом'якшення води здійснюють як без її підігрівання, так і з підігріванням. Пом'якшення води вапнуванням (декарбонізація) застосовується при високій карбонатній і низькій некарбонатній твердості, а також у випадку, коли не потрібно видаляти з води солі некарбонатної твердості.

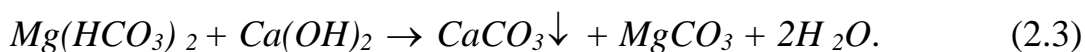
Також застосовується вапняно-содовий метод, при якому з води видаляється основна маса солей тимчасової (карбонатної) та постійної (некарбонатної) твердості.

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

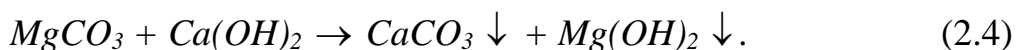
Гашене вапно реагує з розчиненим у воді вуглекислим газом:



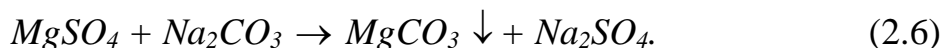
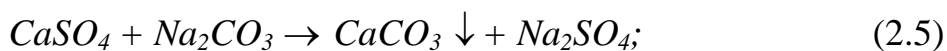
а також вступає в реакцію з гідрокарбонатами кальцію і магнію:



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



Видалення солей некарбонатної твердості відбувається таким чином:



Потім MgCO_3 реагує з Ca(OH)_2 з утворенням Mg(OH)_2 .

Контроль за процесом реагентного пом'якшення здійснюють за величиною гідратної лужності. При осадженні Ca^{2+} лужність $L = 0,1\text{--}0,2$ мг-екв/дм³ і при осадженні Ca^{2+} та Mg^{2+} $L = 0,3\text{--}0,5$ мг-екв/дм³. Содо-вапняний метод ефективний при підвищеній температурі. У результаті застосування цього методу отримують воду з залишковою жорсткістю від 0,1 мг-екв/дм³ до 0,3 мг-екв/дм³, вміст кремнієвої кислоти зменшується до 2 мг/л.

За допомогою реагентного методу з води видаляється основна маса солей тимчасової та постійної твердості. Однак повністю усунути твердість цим методом не вдається через певну розчинність CaCO_3 і Mg(OH)_2 , тому його застосовують лише для відносно неглибокого пом'якшення (до 1,4–1,8 мг-екв/л). При підігріванні і введенні певного надлишку реагентів (10–20 %) кінцева твердість може бути знижена до 0,35–1 мг-екв/л.

Реагентне пом'якшення води проводиться на установках, до складу яких входять реагентне господарство, змішувач або вихровий реактор, освітлювач із завислим осадом або відстійники з камерами утворення пластівців, швидкі

(освітлювальні) фільтри, пристрої для стабілізаційної обробки пом'якшеної води.

У технологічному процесі повинні бути створені умови для кристалізації речовин, які випадають в осад. Саме тому в схему вводиться реактор (спірактор) із зернистою контактною масою. На зернах відкладається $CaCO_3$ і розміри зерен збільшуються до 1,5–2 мм, зерна осідають в нижній частині конусу та виводяться. Реактори можуть бути напірні та самопливні.

Ефективним для пом'якшення води вапновим або вапняно-содовим методом є вихровий реактор (спірактор напірний або відкритий). Вихровий реактор є залізобетонним або сталевим корпусом, звуженим до низу (кут конусності 15–20°) і наповнений приблизно до половини висоти контактною масою. Як контактну масу застосовують пісок або мармурову крихту з розміром зерен 0,2–0,3 мм, з розрахунку 10 кг на 1 м³ об'єму реактора. Швидкість руху води у нижній вузькій частині вихрового реактора дорівнює 0,8–1 м/с; швидкість висхідного потоку у верхній частині на рівні водовідвідних пристроїв – 4–6 мм/с. Тривалість перебування води у вихровому реакторі становить 5–15 хв. Коли діаметр кульок збільшується до 1,2 мм, крупну найбільш важку контактну масу випускають з нижньої частини реактора і завантажують свіжу.

У технологічних схемах реагентного пом'якшення води з освітлювачами замість вихрових реакторів застосовують вертикальні змішувачі. В освітлювачах слід підтримувати постійну температуру, не допускаючи коливань більше 1 °С протягом години, оскільки виникають конвекційні струми, змучування осаду та його винесення. Подібну технологію застосовують для пом'якшення каламутних вод, що містять велику кількість солей магнію. У такому випадку змішувачі завантажують контактною масою.

При *вапняному або вапняно-содовому пом'якшенні* вихідну воду подають у вихровий реактор, у нижню частину якого вводять реагенти. Вихровий реактор завантажують кварцовим піском або мармуровою крихтою крупністю 0,1–0,3 мм, які відіграють роль контактної маси. Карбонат кальцію відкладається на зернах контактної маси, яку періодично видаляють.

Воду подають до реактору в нижній частині по дотичній зі швидкістю 0,8–1 м/с і, підіймаючись угору, вона підтримує контактну масу в завислому стані. Для видалення зависі використовуються освітлювачі із завислим осадом при швидкості руху води 1,3–1,6 мм/с.

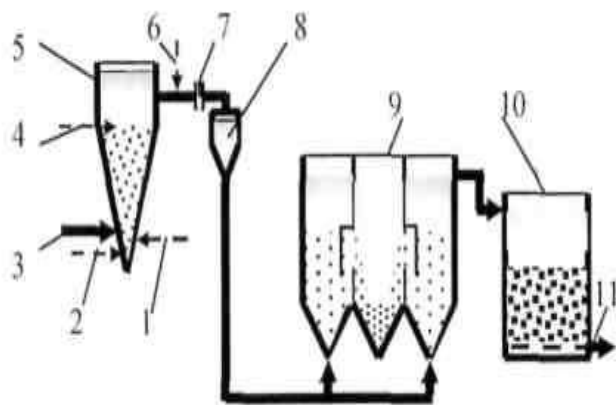


Рисунок 2.9 – Схема вапняно-содового пом'якшення води:

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

Кількість завислих речовин на виході із освітлювача повинна бути не більше 15 мг/л. Швидкість фільтрування на фільтрах приймається до 6м/год при крупності зерен 0,5–1,25 мм та товщині шару засипки 0,8–1 м.

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

Перша стадія – процес утворення малорозчинних сполук CaCO_3 і $\text{Mg}(\text{OH})_2$ відбувається практично миттєво.

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

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

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

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

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

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

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

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

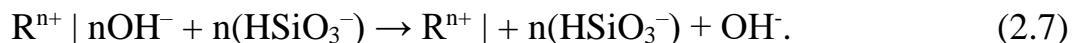
Згідно з нормами технологічного проектування ТЕС, рекомендують встановлювати для попередньої очистки не менше двох освітлювачів, сумарну продуктивність яких вибирають з запасом 10 % від розрахункової кількості освітленої води.

2.5 Знекремнення води магnezіальними реагентами

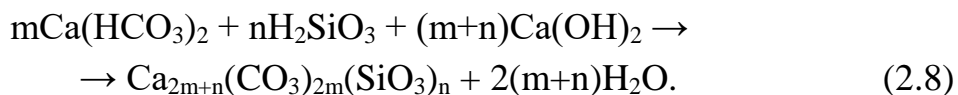
Для знекремнення води як реагент зазвичай застосовується каустичний магнезит MgO , що є продуктом випалу магнезиту $MgCO_3$ при температурі $750-800\text{ }^{\circ}C$. Каустичний магнезит може дозуватися у вигляді порошку (сухе дозування), який потім за допомогою водяного ежектора прямує до освітлювача. Одночасно з магнезіальним знекремненням води проводиться і вапнування з метою зниження лужності пом'якшеної води та створення оптимальної величини рН. Окис магнію, введений у оброблювану воду як каустичний магнезит, частково чи повністю піддається гідратації, утворюючи

асоціацію складних молекул типу $(MgO)_p [Mg(OH)_2]_q$. Молекули $Mg(OH)_2$ частково піддаються дисоціації, і частина гідроксид-іонів перетворюється на розчин. При цьому утворюється складна позитивно заряджена міцела, оточена іонами OH^- . Ступінь дисоціації $Mg(OH)_2$ та міцність зв'язку іонів з позитивно зарядженими міцелами визначаються значенням рН середовища.

Гідросилікат-іони $HSiO_3^-$ вступають в аніонний обмін з гідроксид-іонами, що відщеплюються від складної молекули знекремлюючого реагенту:



При цьому утворюється хімічна сполука, менш розчинна у воді, ніж вихідні силікати, внаслідок чого вони виводяться з розчину. Часткове видалення з розчину кремнієвої кислоти при вапнуванні та виділенні $CaCO_3$ можна уявити як явище співосадження:



Ефективність магnezіального знекремнювання води залежить від якості знекремлюючого реагенту та його питомих доз (мг) на 1 мг SiO_3 , тривалості контакту води, що обробляється, з завислим осадом, складу і властивостей осаду, температури оброблюваної води і режиму вапнування та коагуляції.

2.6 Обробка води методом іонного обміну

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

Іонний обмін є процесом взаємодії розчину з твердою фазою (іонітом), здатною обмінювати іони, які містяться в ній, на еквівалентну кількість інших іонів, що містяться у вихідній воді та мають заряд того ж знаку.

Обробка води методом іонного обміну заснована на здатності деяких нерозчинних у воді речовин, які називаються іонообмінними матеріалами або іонітами, змінювати іонний склад води. Для цього оброблювана вода пропускається через фільтри. Просочуючись через зерна іоніту, вода обмінює частину іонів розчинених у ній електролітів на еквівалентну кількість іонів іоніту, у результаті цього змінюється іонний склад як води, що фільтрується, так і самого іоніту.

Обробка води методом іонного обміну принципово відрізняється від обробки води методами осаждення тим, що домішки, які видаляються з неї, не

утворюють осаду, і тим, що така обробка не вимагає безперервного дозування реагентів. У зв'язку з цим експлуатація водопідготовчих установок, що працюють за методом іонного обміну, значно простіша, габарити апаратів менші, а ефект обробки вищий, ніж установок, що працюють за методом осадження.

Основною сферою використання технології іонообмінного обміну є водопідготовка (пом'якшення і демінералізація води) та очищення стічних вод промислових підприємств. Найбільші споживачі такої води – електроенергетика, виробництво напоїв, виробництво напівпровідників, фармацевтичні виробництва.

Іонний обмін є різновидом сорбційних процесів і має деяку схожість з адсорбцією: тверде тіло також поглинає розчинену речовину. Відмінність від адсорбції: іонний обмін – це стехіометричне заміщення; адсорбція – це поглинання. Процес іонного обміну суттєво відрізняється від процесу адсорбції тим, що якщо при адсорбції відбувається лише накопичення речовини, яка сорбується з розчину на поверхні будь-якого матеріалу, то при іонному обміні іони одного виду замінюються іонами іншого.

Як іоніти використовують сульфовугілля та синтетичні смоли. Відмінною рисою синтетичних смол є розміри та структура їхніх молекул, що складаються з тисяч, а іноді десятків тисяч міцно пов'язаних атомів. Речовини, що складаються з таких молекул-гігантів, отримали назву високомолекулярних речовин. Іоніти, що належать до високомолекулярних речовин, характеризуються такими специфічними властивостями: набухання, нерозчинність у воді та здатність до реакцій іонного обміну.

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

Здатність іонітів до іонного обміну пояснюється їхньою специфічною структурою, що складається з твердої нерозчинної у воді молекулярної сітки, до окремих місць якої на поверхні та всередині її маси приєднані хімічно активні функціональні групи атомів іоніту. З електрохімічного погляду кожна молекула є своєрідним твердим електролітом. У результаті електролітичної дисоціації іоніту навколо нерозчинного у воді ядра утворюється іонна атмосфера, що є обмеженим навколо молекули іоніту простором, у якому перебувають рухливі і здатні до обміну іони.

Ключовими особливостями іонообмінних процесів є:

1. **Стехіометричність.** Обмін протиіонів на іони того ж заряду, що перебувають у розчині, відбувається строго відповідно до принципу еквівалентності.

2. **Зворотність.** Іонообмінні реакції відбуваються до стану рівноваги, після досягнення якого іонна форма іонообмінної смоли може бути відрегенована, тобто переведена у вихідну.

3. **Багатостадійність.** Стадії іонного обміну такі:

- перенесення іонів розчину до поверхні гранули іоніту;
- дифузія іонів всередині гранули;
- здійснення реакції іонного обміну;
- дифузія протиіону, якій витісняється з гранули, зсередини до поверхні гранули;
- перенесення протиіону від поверхні гранули іоніту в об'єм розчину.

За знаком заряду іонів, якими обмінюються, іоніти поділяють на катіоніти та аніоніти.

На рисунку 2.10 у спрощеному вигляді зображено схему структури молекули іоніту.

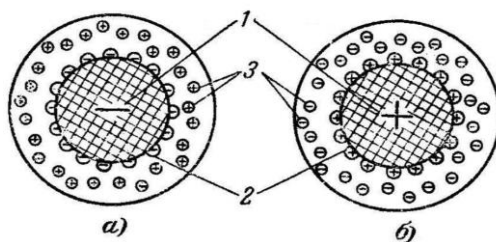


Рисунок 2.10 – Схема структури молекули іоніту:

1 – твердий багатоатомний каркас іоніту; 2 – пов'язані з каркасом нерухомі іони активних груп; 3 – обмежено рухливі іони активних груп, здатні до обміну

Залежно від характеру активних функціональних груп іоніту його рухливі, здатні до обміну іони можуть мати або позитивні заряди (рис. 2.10, а), і тоді такий іоніт називають катіонітом, або негативні заряди (рис. 2.10, б), і тоді такий іоніт називають аніонітом.

Технологічні процеси при обробці води методом іонообмінного обміну

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

- **катіонування** – видалення катіонів. Залежно від обмінного іона процеси отримали назву водень-катіонування (обмінний катіон H^+) або Na -катіонування (обмінний катіон Na^+)

- **аніонування** – видалення з води аніонів. Обмінними іонами при аніонуванні є аніони OH^- та Cl^- .

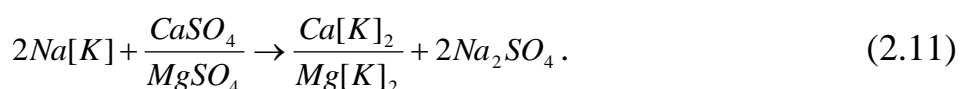
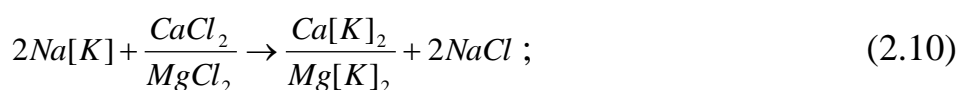
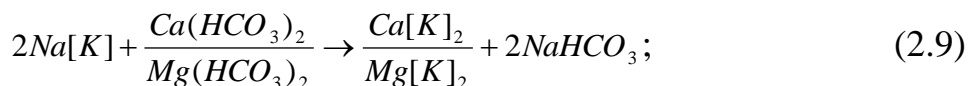
Отже, якщо в результаті обробки води методом іонного обміну відбувається обмін катіонів, такий процес називається катіонуванням; якщо при цьому відбувається обмін аніонів, то такий процес називається аніонуванням.

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

Na-катіонування

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

При обробці води на Na-катіонітових фільтрах іони кальцію і магнію поглинає іоніт, а у воду переходять іони натрію. Процес Na-катіонування описується наступними реакціями:



Процес Na-катіонування може бути як одноступеневим, так і двоступеневим. Сутність цієї технології полягає в тому, що вода послідовно проходить через один або два ступені катіоніту, який містить як обмінні іони катіони натрію.

Найбільш проста – це схема одноступеневого Na-катіонування.

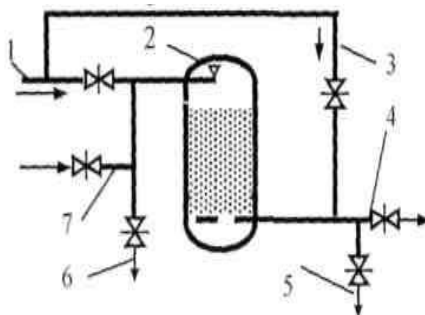


Рисунок 2.11 – Принципова схема Na-катіонітового пом'якшення води:
 1 – подача вихідної води; 2 – катіонітовий фільтр; 3 – подача розпушувальної води; 4 – відведення пом'якшеної води; 5 – відведення регенеруючого розчину; 6 – відведення води в каналізацію; 7 – подача регенеруючого розчину

Загальна твердість води знижується у процесі одноступеневого *Na*-катіонування до 0,05–0,1 мг-екв/дм³. Проте для багатьох котлів і першою чергою для екранованих потрібен більш високий ступінь обробки води, тому використовують послідовне *Na*-катіонування на двох ступенях, яке забезпечує зниження загальної твердості води до 0,01 мг-екв/л. На очищення повинна поступати вода після попередньої очистки з каламутністю не більшою за 5–8 мг/л, окисністю не більше 15 мг/л.

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

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

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

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

Основним недоліком процесу *Na*-катіонування є незмінність значення лужності води, тому цей процес може мати самостійне значення лише при підготовці води для підживлення тепломережі та додаткової води для котлів низького та середнього тиску за порівняно низької лужності вихідної води. Другий недолік розглянутої технології визначається збільшенням масової концентрації катіонів, оскільки еквівалентна маса іона Na^+ вище еквівалентних мас іонів Ca^{2+} та Mg^{2+} . Внаслідок цього солевміст фільтрату буде трохи вищий солевмісту води, що надходить на фільтр.

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

Розрізняють повну та робочу обмінні ємності катіоніту.

Повна обмінна ємність – це та кількість грам-еквівалентів катіонів, що

затримує 1 м³ катіоніту, що перебуває у робочому стані до моменту, коли твердість фільтрату співпадає із жорсткістю вихідної води.

Робоча обмінна ємність має менше значення – це та кількість грам-еквівалентів катіонів, що затримує 1 м³ катіоніту до моменту проскоку у фільтрат катіонів.

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

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

Отже, процес пом'якшення при натрій-катіонуванні закінчується при настанні проскоку твердості. Для відновлення обмінних властивостей катіоніту використовують кухонну сіль у вигляді розчину 6-10 % концентрації NaCl. Внаслідок відносно великої концентрації іонів натрію у регенераційному розчині відбувається заміна поглинених раніше катіонів твердості. При цьому іони Ca і Mg, поглинені при пом'якшенні води, вимиваються і переходять у промивну воду, а Na відновлюється в катіонообмінному матеріалі (при використанні Na-катіонування).

При цьому протікають такі реакції:



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

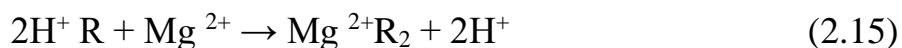
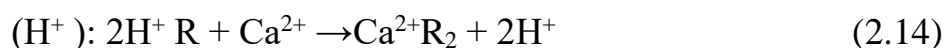
У результаті регенерації Na-катіонітових фільтрів утворюються стічні води, що містять кухонну сіль, а також солі кальцію і магнію (CaCl₂, MgCl₂). Хімічний склад стічних вод від регенерації Na-катіонітових фільтрів характеризується високим солевмістом і високою жорсткістю. Ці води складають основний об'єм хімічно забруднених стічних вод, що утворюються в процесі хімічної підготовки води.

Водень-катіонування (H-катіонування).

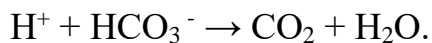
Обробка води методом H-катіонування призначена для видалення всіх катіонів з води із заміною їх на іони водню.

Вода на виході з фільтра має кислу реакцію.

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



Частина катіонів водню взаємодіє з наявним у воді бікарбонатним аніоном, утворюючи вуглекислоту та воду.



Решта катіонів водню врівноважує аніони кислот, що залишилися у воді, з утворенням мінеральних кислот.

H-катіонітові фільтри подібні до *Na-катіонітових* за принципом роботи. Регенерація *H-катіоніту* проводиться 4–6 %-им розчином кислоти (HCl, H₂SO₄). Для відновлення властивостей катіоніту при водень-катіонуванні з техніко-економічних причин використовують сірчану кислоту H₂SO₄, з покроковим збільшенням концентрації, зазвичай 1–3–5 %. Регенерація соляною кислотою дозволяє досягти кращого відновлення обмінних властивостей, проте економічно це невигідно, оскільки потребує інших матеріалів дренажних систем.

У процесі *H-катіонування* води значно знижується рН фільтрату за рахунок кислот, що утворюються внаслідок процесу.

Видалення двоокису вуглецю, що виділяється під час реакцій пом'якшення, здійснюють у дегазаторах з кислототривкими керамічними насадками розміром 25 мм × 25 мм × 4 мм і щільністю зрошення 60 м³/год на метр квадратний площі дегазатора. Взагалі дегазатори – це колони, які завантажені певною насадкою, вода проходить крізь неї окремими дрібними потоками й одночасно продувається повітрям. Висота насадки приймається 3–5,7 м.

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

Відключення на регенерацію проводиться у разі підвищення твердості (лужності) води на 0,2–0,3 мг-екв/дм³.

Водень-натрій катіонування.

H-Na-катіонування використовують для зниження твердості, загальної лужності і мінералізації води. *H-Na*-катіонування може бути послідовним (рис. 2.12) або паралельним (рис. 2.13). Спільне водень-натрій-катіонування спочатку як водень-катіонітове, потім після виснаження катіоніту по водню – переходу в нейтральне середовище – передбачає роботу фільтра як натрій-катіонітового до проскоку твердості.

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

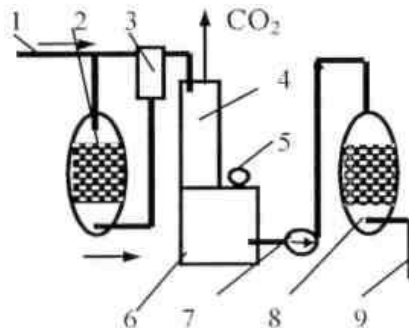


Рисунок 2.12 – Схема послідовного *H-Na*-катіонування:

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

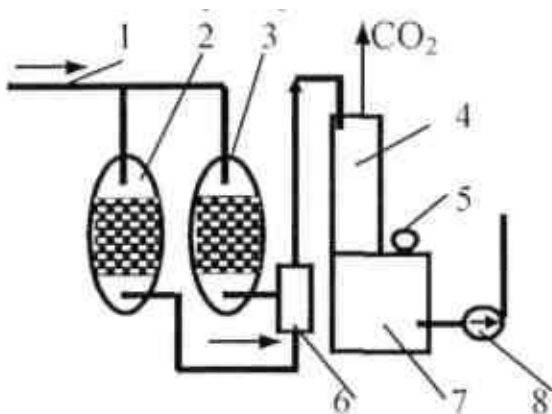


Рисунок 2.13 – Схема
паралельного *H-Na*-катіонування:

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

При паралельному *H-Na*-катіонуванні частина вихідної води проходить *H*-катіонітові фільтри, а частина – *Na*-катіонітові фільтри.

За такою схемою можна отримати воду із загальною жорсткістю 0,1 мг-екв/л і залишковою лужністю 0,4 мг-екв/л.

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

До переваг іонного обміну можна віднести:

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

Основні недоліки методу іонообмінного знесолення:

- високі питомі витрати реагентів на регенерацію (як правило перевищують стехіометричні в 1,5–3,0 рази);
- утворення значної кількості високомінералізованих стічних вод.

2.7 Водопідготовка для джерел і систем теплопостачання

2.7.1 Основні методи очищення води

Вода в енергетиці використовується в процесі виробництва електроенергії як теплоносій робочого тіла, сповільнювача нейтронів, розчинника, транспортера твердих продуктів тощо. Обсяги води, що використовуються в енергетиці, величезні – більше 50 % промислового споживання води в Україні.

На вироблення 1 кВт·год використовується до 0,18 т води. На охолодження використовується до 98 % води, що застосовується в енергетиці, остання частина використовується як робоче тіло, уповільнювач тощо; 1 % втрачається безповоротно. Залежно від призначення води вибирається відповідна технологічна схема її обробки або очистки.

У цей час нові електростанції проєктують із замкнутою системою оборотного охолодження конденсаторів з нормованою продувкою, що впливає на навколишнє середовище хімічним і тепловим впливом. Зовсім природньо, що найближчими роками в Україні будуть прийняті більш тверді норми на скидання рідких відходів зі станцій і в перспективі скидання води буде повністю заборонено.

У наш час на підприємствах теплоенергетики – залежно від якості вихідної та вимог, що ставляться до додаткової води, – застосовуються різні схеми водопідготовчих установок (далі – ВПУ). Загалом усі вони містять у собі передочистку води (очищення від механічних домішок) та іонний обмін.

Відповідно до правил технічної експлуатації електричних станцій і мереж (далі – ПТЕ), режим експлуатації установок водопідготовки і водно-хімічний режим повинні забезпечити роботу електростанцій і підприємств теплових мереж без ушкоджень і зниження економічності, викликаних корозією внутрішніх поверхонь і утворенням накипу.

Устаткування сучасних ТЕЦ експлуатується при високих теплових навантаженнях, що вимагає твердого обмеження товщини відкладень на поверхні нагрівання за умовами температурного режиму їхнього металу протягом робочої кампанії. Такі відкладення утворюються з домішок, що надходять у цикли електростанцій, у тому числі і з додатковою водою, тому забезпечення високої якості водних теплоносіїв ТЕС, ТЕЦ і АЕС є найважливішим завданням. Використання водного теплоносія високої якості спрощує також рішення завдань одержання чистої пари, мінімізації швидкостей корозії конструктивних матеріалів казанів, турбін та устаткування конденсатно-випарного тракту.

Вода є, по суті, вихідною сировиною, яка після належної обробки (очищення) використовується для таких цілей: а) як вихідна речовина для одержання пари в казанах, парогенераторах, ядерних реакторах киплячого типу, випарниках, пароперетворювачах; б) для конденсації пари, що відпрацювала в парових турбінах; в) для охолодження різних апаратів та агрегатів ТЕС і АЕС; г) як теплоносій у теплових мережах і системах гарячого водопостачання.

Для задоволення різноманітних вимог до якості води, споживаної при виробітку електричної й теплової енергії, виникає необхідність спеціальної фізико-хімічної її обробки.

Вимоги до води для технологічних потреб визначені у відповідних ДСТ, ТУ, ДБН тощо. Ці вимоги для різних виробництв дуже відрізняються одні від одних як за допустимим вмістом різних хімічних і механічних забруднень, так і за спеціальними вимогами, наприклад біологічної стерильності тощо.

В енергетиці вимоги залежать від використовуваного устаткування та режиму його роботи і коливаються від простого видалення суспензій і солей твердості для тепломереж і парових котелень до глибокого знесолення з видаленням органічних забруднень і розчинених газів (ТЕС, АЕС).

Розчинені у воді речовини можуть викликати неполадки в роботі енергетичного устаткування. В основному це пов'язано з накипними відкладеннями в теплових агрегатах і корозією. У теплообмінній апаратурі, що працює при 25–50°C, виникають низькотемпературні відкладення, основним компонентом яких є карбонат кальцію CaCO_3 . Накипні відкладення, що

утворюються, знижують теплопродуктивність і збільшують втрати напору в трубах.

При обробці води використовуються багато комбінацій іонообмінних фільтрів. Вони включають попереднє очищення, пом'якшення, демінералізацію (первинна система) і фінішне очищення.

Попередня обробка. Перед фільтрацією через іонообмінну колонку вихідний розчин повинен бути ретельно відфільтрований для очищення від ГДП. Органічні речовини можуть бути частково вилучені за допомогою коагуляції (флокуляції) використанням хлориду заліза, сульфату заліза або сульфату алюмінію з можливою добавкою поліелектролітів або на фільтрах, завантажених органоуцілювачами.

Для високолувної сирі води з метою видалення карбонату кальцію може бути використаний класичний процес вапнування. Для повного пом'якшення води застосовують процес содопом'якшення. Для вод з підвищеним вмістом силікатів доцільно використовувати процес магнезійного обезкремнювання. Ці процеси значно зменшують іонне навантаження на наступні, іонообмінні фільтри.

Вибір схеми водопідготовчої (ВПУ) системи теплопостачання

При виборі схеми ВПУ ТС необхідно враховувати сезонність роботи теплового та водопідготовчого устаткування. Найбільш доцільне застосування комбінованих схем ВПУ, що становлять низку різних способів обробки води, об'єднаних у загальну технологічну схему, окремі елементи якої підключають для часткової або повної обробки вихідної води відповідно до теплового графіка.

Використання комбінованих схем розширює можливості застосування вапнування, підкислення Н-Н- або Н-Na-катіонування; забезпечує маневреність і економічність системи водопідготовки для теплових мереж у цілому.

При проєктуванні схем ВПУ і складанні режимних карт, що враховують сезонність роботи системи теплопостачання, варто визначати необхідну частку пом'якшення за правилами.

У виробничих і опалювальних теплогенеруючих установках вода, що надходить із різноманітних джерел, витрачається на надолуження втрат конденсату, пари, води з теплової мережі і на власні потреби котельні.

Втрати води при виробництві пари відбуваються в межах власне теплогенеруючих установок за рахунок витрати частини пари на власні потреби і за рахунок втрат конденсату від споживачів через забруднення.

У водогрійних теплогенеруючих установках вода губиться частково через витрати на власні потреби, через витоки води в системі теплопостачання, які пояснюються нещільністю з'єднань, якщо ця система відкрита, то до втрат додаються витрати води з теплових мереж на гаряче водопостачання.

Відшкодування витрат пари або води на покриття втрат і інші потреби ТГУ здійснюють через спеціальні устрої, комплекс яких називають водопідготовкою.

У циклі котлоагрегата вода на різноманітних стадіях процесу має різноманітні назви: вхідна вода; додаткова підживильна вода; живильна вода; котлова вода.

У живильну воду надходять різноманітні домішки, що призводить до утворення відкладень на поверхнях нагрівання котлоагрегатів і до порушення їхньої нормальної роботи, погіршення якості пари, води і до інтенсивного протікання корозійних процесів. Тому для безперебійної та економічної роботи котлоагрегата велике значення має правильна організація водяного режиму, що забезпечує високий ступінь чистоти пари і води, запобігає утворенню відкладень на поверхнях нагрівання і захищає від корозії. Домогтися цього можна підвищенням якості живильної води в цеху водопідготовки.

При виборі схеми водопідготовки розрізняють докотлову і внутрішньокотлову обробку води.

Застосовується така схема докотлової водопідготовки залежно від якості вхідної води:

1. Освітлення води.
2. Зниження твердості (пом'якшення води) – метод іонного обміну.
3. Видалення з води розчинених корозійних-агресивних газів (дегазація-деаерація).

Методи освітлення і зниження твердості нами вже розглянуті в попередніх розділах. Тому докладніше розглянемо методи видалення з води розчинених корозійних-агресивних газів.

2.7.2 Видалення з води розчинних газів

Видалення з води розчинних у ній або утворених в процесі її обробки газів називають дегазацією. Зазвичай з води доводиться видаляти вуглекислоту, сірководень, кисень і рідше метан. Перші три корозійно активні гази обумовлюють або каталізують процеси корозії металу, а діоксид вуглецю (IV) викликає корозію бетону. Метан, що виділяється з води в процесі її обробки, утворює із повітрям у приміщенні водоочисного комплексу вибухонебезпечну

суміш, а сірководень надає воді неприємного запаху. Крім того, при водень-катионітовому пом'якшенні та іонітовому знесоленні води, а також при знезалізненні та деманганації підземних бікарбонатних вод доводиться вирішувати завдання видалення вільної вуглекислоти. При підготовці живильної води, а також води для теплоцентралей необхідно видаляти з неї кисень із метою запобігання корозії металу. Звідси стає очевидною необхідність якомога повного видалення з води розчинених у ній газів.

Існуючі методи дегазації води підрозділяють на фізичні та хімічні. Сутність фізичних методів дегазації полягає у використанні такого технологічного прийому, як аерація: воду, яка містить газ, що видаляється, приводять у зіткнення з повітрям, і якщо парціальний тиск цього газу в повітрі близький до нуля, то створюються умови, при яких розчинність газу у воді стає мізерно малою.

За допомогою *першого прийому*, тобто аерації води, звичайно видаляють вільну вуглекислоту та сірководень, оскільки парціальний тиск цих газів в атмосферному повітрі близький до нуля. До *другого прийому* зазвичай вдаються при знекисненні води. Для цього застосовують або нагрівання води (у термічних деаераторах), або зниження тиску до величини, при якій вода кипить без додаткового підігріву у вакуумних дегазаторах.

Для видалення з води розчинених газів застосовують кілька типів дегазаторів: **плівкові** з різного роду насадками, що працюють в умовах протипотоку води, яку дегазують, та повітря, що подається вентилятором, **барботажні**, **пінні**, **вакуумно-ежекційні**, **вакуумні**.

У технології водопідготовки для видалення газів (крім кисню) в основному застосовують плівкові дегазатори, а для знекиснення води – вакуумні дегазатори або термічні деаератори. Барботажні дегазатори використовують у виняткових випадках через їх порівняно високу експлуатаційну вартість.

Найбільш поширеним типом дегазатора для глибокого видалення з води вільного діоксиду вуглецю (IV) вважають плівковий дегазатор, завантажений *кільцями Рашига*. Він забезпечує найбільш стійкий ефект дегазації, довговічний, потребує меншої площі та висоти, а також меншої витрати повітря, ніж дегазатор з дерев'яною хордовою насадкою.

Найбільш доцільно застосовувати ці дегазатори на великих установках і при великому вмісті вільного діоксиду вуглецю (IV) у воді, що надходить у дегазатор. На рисунку 2.14 наведено схему плівкового дегазатора з насадкою з *кільця Рашига*, яку розташовують на проміжній дірчастій перегородці, що

відстоїть від дна на відстані 600 мм. У піддон вентилятором подається повітря. Вода надходить у верхню частину дегазатора і рівномірно розподіляється по перетину плитою, що має 48 патрубків для зливу води в насадку та 8 патрубків з ковпаками для виходу повітря. Вода з піддонного простору проходить через гідравлічний затвор, висота якого $h = 1,2 H$ (де H – максимальний напір, що розвивається вентилятором, Па).

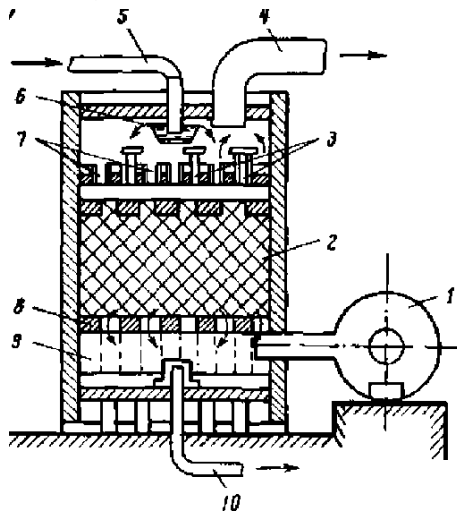


Рисунок 2.14 – Схема плівкового дегазатора з насадкою з кілець Рашига

Після плівкового дегазатора з кільцями Рашига та подачею повітря вентилятором вміст діоксиду вуглецю (IV) у воді становить не більше 3–5 мг/л. При видаленні сірководню цим методом варто підкисляти воду (до $pH = 5$) з наступним підлужуванням її до необхідного значення pH , це дає значну економію витрати повітря.

Для видалення частини вільної вуглекислоти з води в процесі її деманганзації або знезалізнення (з метою підняття значення pH води до оптимального) також найбільш доцільно використовувати дегазатори, завантажені пластмасовими або керамічними кільцями Рашига та працюючі при подачі в них повітря вентилятором, або вакуумно-ежекційні апарати.

Застосування вакуумних дегазаторів (рис. 2.15, а) спеціально для видалення з води вільної вуглекислоти доцільно тільки у випадках катіонного пом'якшення або іонітового знесолення підземних вод, коли в знесоленій або пом'якшеній воді лімітується вміст кисню. Вакуумні дегазатори варто застосовувати при необхідності запобігання кисневої корозії труб та апаратури (при підготовці води для живлення котлів і при знекисненні води в системах гарячого водопостачання) або коли наявність розчинених газів у воді, зокрема кисню, є шкідливою для технологічного процесу підприємства.

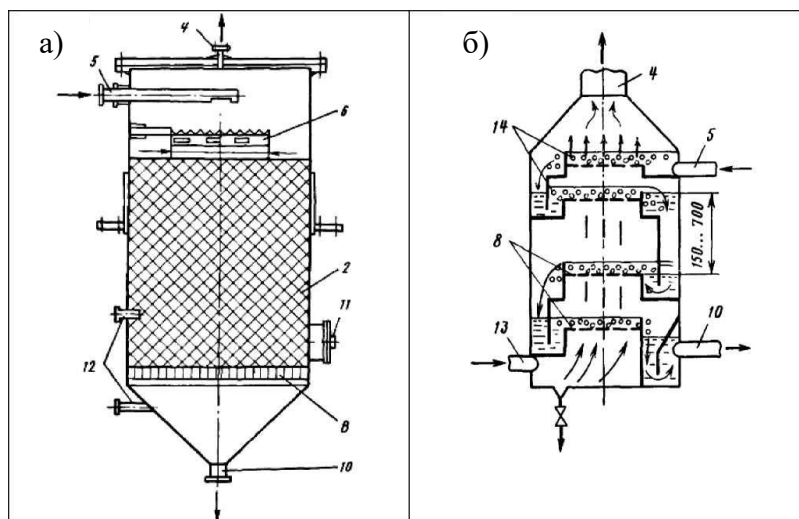


Рисунок 2.15 – Вакуумний (а) і пінний (б) дегазатор:

1 – вентилятор; 2 – насадка з керамічних кілець Рашига; 3 – газовідвідний патрубок; 5, 10 – уведення вихідної й відвід дегазованої води; 7 – зрошувальні патрубки; 4 – видалення повітря; 9 – піддон; 8 – дірчасте днище; 6 – водорозподільна вирва; 11 – люк; 12 – патрубки для водомірного скла; 13 – уведення повітря; 14 – пінний шар

В основі *хімічних методів* видалення з води розчинених газів лежить їхнє хімічне зв'язування, що досягається введенням реагентів або фільтруванням через спеціальні завантаження. Для видалення з води кисню застосовують її фільтрування через речовини, що легко окислюються, наприклад, через сталеві стружки, і обробку сульфітом натрію або оксидом сірки (IV). При використанні сталевих стружок їх знежирюють і завантажують у спеціальний фільтр. Вміст марганцю в них не повинен перевищувати 0,3 %.

У процесі фільтрування залізо, окислюючись, зв'язує кисень



Оксид заліза (III) і гідроксид заліза (III), що утворилися в результаті корозії стружок, видаляють зворотним промиванням. Тривалість контакту води зі стружками залежить від температури і зменшується від 25 хв до 3 хв при збільшенні температури від 20 °С до 80 °С.

Частіше за все застосовують обробку води сульфітом натрію



або оксидом сірки (IV)



Сірчиста кислота, що утворюється, окисляється киснем, який міститься у воді, до сірчаної кислоти:



Як каталізатор застосовують солі міді (II) або кобальту(II) у вигляді 0,01 %-го розчину. Для видалення 1 мг кисню витрачається 4 мг оксиду сірки (IV) або 7,9 мг сульфату натрію. Крім того, для видалення кисню воду обробляють також гідразином: N_2H_4 . Гідразин є сильним киснепоглинаючим реагентом.

Крім хімічних способів окислювання сірководню використовують і біохімічний метод. Відомо, що велику участь в окислюванні сульфідних вод приймають сіркобактерії, які зустрічаються в сірчаних джерелах, стоячих водах і взагалі широко розповсюджені в природі. Для інтенсивної діяльності сіркобактерій необхідно забезпечити нейтралізацію H_2SO_4 , що утвориться. Ця умова здійсненна в тому випадку, якщо вода містить достатню кількість карбонатів.

2.7.3 Опріснення води методом дистиляції. Загальні поняття й визначення

Дистиляційний метод ґрунтується на здатності води при нагріванні випаровуватися і розпадатися на прісну пару та солоний розсіл. Латинське «дистиляцію» означає переганятися з метою очищення або стікати краплями. Метод хронологічно є найбільш старим для опріснення води і широко застосовуваним. На сьогодні майже 90 % існуючої сумарної продуктивності опріснювачів світу забезпечується дистиляційними установками.

Існуючі дистиляційні опріснювальні установки можна класифікувати за технологією одержання прісної води, за конструктивним оформленням, за видом застосовуваної допоміжної апаратури. Крім цього, є істотне розходження в джерелах енергії, що витрачається на роботу установки. Наприклад, зараз уже розроблено дистиляційні установки, розраховані на використання викопного палива, сонячної, електричної, атомної енергії тощо. Існують і так звані утилізаційні установки, що використовують низькопотенціально непридатне тепло ТЕЦ, двигунів внутрішнього згорання, тепло газів, що відходять, і багато інших видів установок.

Принцип дистиляції заснований на тому, що при нагріванні солоної води до температури більш високої, ніж температура кипіння (при певному солевмісті й тиску), вода починає кипіти. Пара, що утворюється при тиску, меншому за 50 кг/см, практично не здатна розчиняти солі, тому при її конденсації виходить прісна вода. Для випару 1 кг води її необхідно нагріти до температури кипіння та потім надати додаткове тепло фазового переходу води в пару, так звану сховану теплоту паротворення, рівну при температурі 100 °C 539,55 ккал/кг. Щоб отриману пару перетворити у воду, потрібно з пари відняти

тепло фазового переходу (539,55 ккал/кг). Значна частина цього тепла може бути повернута назад в установку, тобто рекуперована. Чим більше тепла фазового переходу рекуперовано, тим вищою вважається теплова економічність дистиляційної опріснювальної установки.

За характером використання тепла і ступеня його рекуперації дистиляційні опріснювальні установки поділяють на одноступінчасті, багатоступінчасті та термокомпресійні.

Принцип роботи одноступінчастої дистиляційної опріснювальної установки показано на рисунку 2.16.

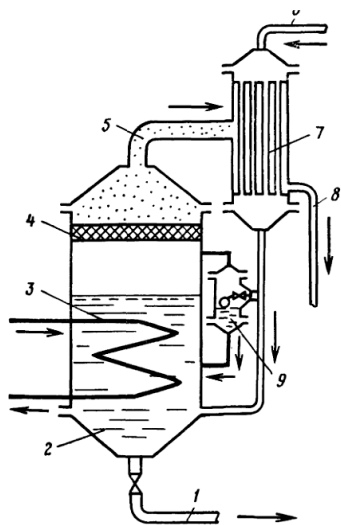


Рисунок 2.16 – Схема одноступінчастої дистиляційної опріснювальної установки:

- 1 – скидання розсолу; 2 – випарник; 3 – подача теплоносія; 4 – сепаратор; 5 – відвід пари;
6, 8 – подача вихідної та відвід дистильованої води;
7 – конденсатор; 9 – регулятор рівня

Найбільш широко застосовують багатоступеневі випарні установки, більшою перевагою яких є те, що на одиницю первинної пари можна одержати значно більшу кількість знесоленої води.

Багатоступеневі дистиляційні опріснювальні установки (рис. 2.17) становлять послідовно працюючі одноступеневі дистиляційні опріснювальні установки.

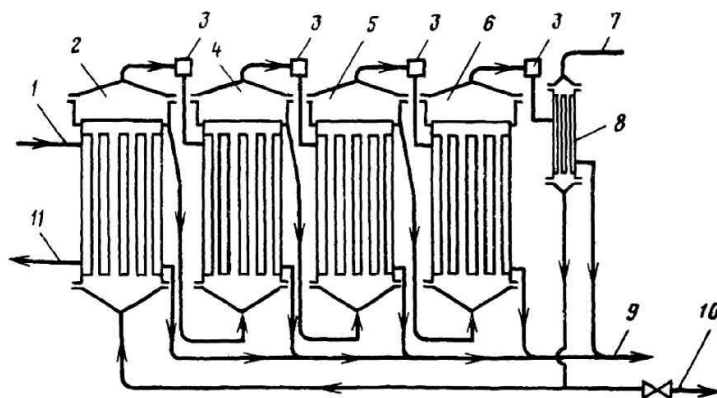


Рисунок 2.17 – Багатоступінчаста дистиляційна установка:

- 1 – теплоносій; 2, 4, 5, 6 – випарник I, II, III і IV ступенів; 3 – сепаратор,
9 – вихідна й опріснена вода; 8 – конденсатор; 10 – скидання розсолу;
11 – відвід конденсату в парогенератор

За такою схемою вторинна пара попереднього ступеня використовується як гріюча пара для випару води в наступному ступені. Солоня вода надходить у кінцевий конденсатор, де, прохолоджуючи пару останнього ступеня, конденсується, нагріваючись за рахунок тепла конденсації. Частина солоня води скидається в скид, а частина надходить на перший ступінь випарника, де паром, що подається з вихідного парогенератора, вона нагрівається до температури кипіння. Пара при цьому конденсується, і конденсат відводиться в парогенератор. Пара, що утворилася на першому ступені випарника, надходить через сепаратор у другий корпус випарника, де вона служить як гріюча пара.

Солоня вода, яка не випарилася в першому корпусі випарника, надходить у другий корпус, де нагрівається за рахунок тепла конденсації пари і знову частково випаровується при менших, чим у першому корпусі випарника, тиску та температурі. Якщо в першому корпусі температура кипіння становить 100°C , то в наступних трьох щаблях відповідно 95°C , 90°C , 85°C . Це досягається шляхом зниження тиску в наступних ступенях випарників. Зі збільшенням числа ступенів багатоступінчасті опріснювальні установки стають економічнішими. Однак, зі збільшенням числа ступенів випару зменшується температурний перепад по кожній з них, збільшується загальна поверхня нагріву апаратів і відповідно різко зростають капітальні витрати на опріснювальну установку.

При роботі дистиляційних опріснювальних установок відбувається відкладення солей, які утворюють шар накипу на нагрівних елементах випарників і конденсаторів. Накип зменшує температуру нагрівання води, погіршує теплопередачу та роботу всіх агрегатів опріснювальної установки, у зв'язку із цим повинні бути вжиті заходи щодо попередження утворення накипу або його видалення, а отже, заздалегідь планується періодична зупинка опріснювальної установки для очищення її від накипу. Очищення робочих поверхонь від накипу здійснюється технічним, механічним і хімічним шляхом. Зниження інтенсивності утворення накипу досягають введенням в оброблювану воду дрібнозернистих присадок: вапняку, кварцового піску, крейди, гідроксиду магнію та інших речовин. Безнакипний режим роботи випарників досягається також створенням досить глибокого вакууму у випарниках, що дає можливість знизити температуру води, що випаровується, до 50°C і нижче.

2.7.4 Накипоутворення. Види накипу, його властивості

Вода є найкращим з відомих універсальних розчинників. Отже, будь-яка вода, якщо тільки вона спеціальним чином не приготовлена і збережена, містить у собі різні солі. Як відомо, наявність розчинених солей у воді надає воді властивості, називаної твердістю. Розрізняють твердість *тимчасову та постійну*. Тимчасова твердість – це твердість, обумовлена солями, що переходять за певних умов з розчинної – у нерозчинну форму. Зокрема, це солі кальцію Ca, магнію Mg тощо. Один зі способів усунення тимчасової твердості – нагрівання води до температури кипіння, при цьому солі тимчасової твердості переходять у нерозчинну форму і випадають в осад. Цей осад називають накипом або твердими відкладеннями.

При роботі теплообмінного устаткування (казанів, теплообмінників, випарників, охолоджувачів тощо) на поверхнях нагрівання утворюються відкладення накипу (CaCO_3 , MgCO_3 , CaSiO_3 , окисли заліза тощо). Внаслідок цього погіршується теплопередача – теплопровідність накипу в десятки разів нижча, ніж у металу; знижується економічність і продуктивність устаткування – при шарі накипу в 1 мм перевитрата палива становить 2–2,5 %, а при 5 мм – до 10–15 %. Через перегрів металу і корозії під шаром накипу скорочується термін служби металу труб, відбуваються аварії металоконструкцій теплообмінних агрегатів (свищі, здуття, розриви). Наявність кипіння на поверхні труб забезпечує надійне охолодження стінок поверхонь нагрівання казана, тому що температура металу труб з боку газів перевищує температуру кипіння води лише на 15–25 °С. Наприклад, при розрахунковому тиску в жаротрубному казані 0,6 МПа температура насичення дорівнює 159 °С, а максимальна температура стінки металу з боку газу не перевищує 183 °С. За таких умов строк служби вуглецевої сталі – кілька десятків років.

Однак через причини, викладені вище, при погіршеній водопідготовці та одноконтурній схемі включення казанів, якщо у воді містяться солі твердості, при кипінні води на поверхні утворюються щільні кальцієві відкладення, які істотно збільшують термічний опір стінки. Для казанів КСВа, «ВК» один міліметр накипу при високих теплових потоках у жаровій трубі збільшує температуру стінки — на 100–120 °С. При товщині накипу 3 мм і більше температура металу досягає вже 500 °С і більше, при цьому вуглецева сталь втрачає свою міцність, на жарових трубах з'являються здуття, трубні ґрати поворотної камери жолобляться, а труби газотрубних пучків перегорають. Такі ж проблеми виникають при експлуатації імпортованих казанів. При типових

порушеннях водопідготовки, при яких відбувається погіршення стану металу поверхонь нагрівання ГЖК, утворюються тріщини в трубній дошці, перегорання труб газотрубних пучків тощо, у фіналі – повне руйнування казана. Також по закінченні опалювального сезону доводиться виконувати трудомістку та дорогу процедуру видалення накипу з поверхні нагрівання казанів і теплообмінної апаратури. І також, накип зменшує перетин труб, збільшуючи їхній гідроопір, а це спричиняє додаткові втрати електроенергії в насосному устаткуванні на перекачування води.

Щоб виключити можливість аварій і продовжити термін служби устаткування між профілактиками, необхідно якимось чином унеможливити утворення на теплообмінних поверхнях шару відкладень. Існують *фізичні й хімічні* способи пом'якшення води. Для хімічного пом'якшення використовуваної води потрібні значні витрати на спорудження й обслуговування хімводопідготовки. Пом'якшення води за допомогою іонообмінних матеріалів або введення комплексонів у відкритих системах теплопостачання, а також при нагріванні води для гарячого водопостачання, як правило, неекономічно та екологічно шкідливо. Крім того, у більшості випадків хімічні реактиви самі сприяють руйнуванню металоконструкцій.

Ультразвуковий метод запобігання накипоутворення заснований на дослідженнях, що проводилися в Україні з кінця 50-х років. При впливі на воду ультразвукових коливань утворюється безліч постійних центрів кристалізації, що зміщаються, це ускладнює ріст і осадження кристалів накипу на теплообмінних поверхнях устаткування. Ультразвукові коливання сприяють інтенсивному утворенню нових центрів кристалізації в обсязі води й відбувається утворення шламу в масі рідини. У результаті впливу ультразвукових коливань спостерігається або припинення утворення відкладень, за рахунок порушення умов кристалізації, або розпушення накипу, що утвориться. У шарі накипу під впливом ультразвукових коливань утворюються мікротріщини, які, накопичуючись, призводять до руйнування відкладень, що були, і до очищення устаткування. Шлам видалається зі струмом води або продувкою. Варто врахувати, що цей метод – фізичний і діє на всі види солей та органічних відкладень незалежно від їхнього хімічного складу. Бажано, після теплообмінного агрегату, який захищений ультразвуковими установками, установити фільтруючий пристрій, що затримує зважений коагульований накип, щоб не засмічувати споживачів. Такий метод є найбільш ефективним і універсальним із безреагентних фізичних методів,

економічний, екологічно чистий, безпечний для устаткування й персоналу. Може поєднуватися з уведенням комплексонів і хімводопідготовкою води.

Крім того, ультразвукові коливання чинять руйнівну дію на накіп, що утворився раніше. Ультразвукові коливання, впливаючи на поверхню нагрівання, створюють знакозмінні механічні зусилля, під впливом яких міцність зв'язку усередині карбонатних відкладень, а також між карбонатним відкладенням і металом порушується, і при цьому утворюються тріщини. Вода під дією капілярних сил проникає через тріщини–капіляри до поверхні нагрівання, де вона миттєво випаровується, викликаючи спучування та відшаровування карбонатних відкладень. Дрібні частки, що відшарувалися, і лусочки (чешуйки) карбонатних відкладень накопичуються у нижній частині теплообмінного устаткування та видаляються періодичною продувкою.

Дія ультразвуку не обмежується тільки запобіганням утворення карбонатних відкладень і збереженням за рахунок цього ефективності теплотехнічного устаткування. Ультразвукові коливання збільшують теплопередачу поверхні, що гріє, за рахунок мікропотоків, утворених коливаннями стінок труб і води в них, і підвищення швидкості потоку води через зниження гідродинамічного опору труб з коливними стінками. Під дією ультразвуку поліпшується відвід пухирців пари від поверхні нагрівання і дегазація води внаслідок кращого перемішування рідини на границі двох середовищ «метал – рідина», що також сприяє збільшенню теплопередачі. Явище зниження гідродинамічного опору особливо ефективно проявляється у вузьких мікронних щілинах природних дефектів внутрішніх поверхонь труб, де у звичайних умовах (без ультразвуку) у теплообмінному устаткуванні зберігається кисень із повітря, а при впливі ультразвукових коливань він легко виходить із цих щілин.

У результаті цього виключається один з механізмів кисневої корозії металу труб. Тривалий вплив ультразвукових імпульсів на внутрішню поверхню труб, що має дефекти у вигляді мікротріщин, призводить до деформації найбільш податливих ділянок поверхні поблизу мікротріщин. Завдяки цим деформаціям відбувається наклеп країв тріщин, у результаті чого вони виявляються закритими й непаддатними щодо проникнення в них кисню при зливів води з устаткування. Внутрішня поверхня труб стає гладкою, і повна площа її різко зменшується, що призводить до зменшення ймовірності корозії. Одержаний у такий спосіб ефект корозійного захисту певною мірою замінює пасивацію внутрішньої поверхні труб.

Контрольні запитання

1. Що таке коагуляція? Для чого вона використовується?
2. Які фактори, що впливають на процес коагуляції?
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.
7. Що розуміють під процесом фільтрування? Які фільтри існують?
8. Конструкція і принцип роботи безнапірних швидких кварцових і пінополістирольних фільтрів, напірних фільтрів.
9. Що називається твердістю води, одиниці її вимірювання?
10. Яка існує твердість води і якими солями вона зумовлена?
11. Як класифікується вода за твердістю?
12. Які способи пом'якшення води існують і в чому полягає їх суть?
13. Яка різниця між катіонами та аніонами?
14. Що таке амфотерні іони?
15. Що таке селективність іонів?
16. Назвіть переваги та недоліки методу натрій-катіонування води.
17. Напишіть рівняння регенерації для натрій-катіонного фільтру.
18. З якою метою здійснюється очищення води від розчинених газів?
19. Навести схему плівкового дегазатора з насадкою з кілець Рашига.
20. Які реагенти використовуються для хімічного зв'язування розчинених у воді кисню і діоксиду вуглецю?
21. На чому ґрунтується дистиляційний метод ?
22. Принцип дії одноступінчастої дистиляційної опріснювальної установки
23. Як впливає кількість щаблів на економічність установки?
24. Яких вживають заходів щодо попередження утворення накипу або його видалення?

Розділ 3 ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДИ

3.1 Системи охолодження промислових агрегатів

На промислових підприємствах основну кількість води витрачають для охолодження. Охолодження водою здійснюють з метою підтримки необхідної для нормальних умов технологічного процесу температури; для зниження температури продукції до необхідних меж і запобігання прогару і перегріву, при яких можлива втрата міцності елементів конструкцій, деталей обладнання металургійних агрегатів.

Процес охолодження – це відведення теплоти від стінки, що обігривається, та утримання її температури в заданих межах. Температура визначається технологічним процесом і стійкістю матеріалу охолоджувального елемента. Наприклад, у теплоенергетиці оптимальна температура охолоджувальної води $t_{\text{опт}} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, гранична температура $t_{\text{гран.}} = 30\text{--}33\text{ }^{\circ}\text{C}$

Гранична температура різна для різних матеріалів: наприклад, для сталі – це $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура, при якій втрачається стійкість сталі, становить $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, для чавуну відповідно – це $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Нижче розглянуто основні види і системи охолодження, що застосовують.

Охолодження рідини або газу у теплообмінних пристроях. Для охолодження застосовують теплообмінні пристрої (теплообмінники) кожухотрубного або пластинчастого типу. Кожухотрубний теплообмінник становить охолоджувальний апарат, усередині кожуха якого проходить пучок паралельних трубочок. Процес охолодження полягає в тому, що охолоджувана рідина (вода, масло тощо) або газ, проходячи по теплообміннику, віддає своє тепло через стінки трубочок охолоджуючій воді, що проходить у них. Вода при цьому нагрівається. Іноді конструкцією теплообмінника передбачається пропуск охолоджуючої води через порожнину теплообмінника, а середовища, що охолоджують, – по трубках.

Поверхня нагріву пластинчастих теплообмінників виготовляється зі штампованих гофрованих металевих пластин товщиною 1 мм. Пластини зібрані на рамі і стиснуті стяжними болтами. У пластинах, що передають тепло, по контуру передбачений паз, де закріплені теплостійкі гумові прокладки. Між пластинами утворюються канали, якими рухаються теплоносії. Кожна пластина омивається двома робочими середовищами: з одного боку охолоджуванним, з іншого — тим, що нагрівається. Витрата охолоджуючої води визначається кількістю тепла, яку необхідно відвести від охолоджуваного

продукту, і знаходиться з рівняння теплового балансу з урахуванням коефіцієнтів теплопередачі.

Зіставлення пластинчастих теплообмінників з кожухотрубними показує, що при однакових витратах, температурах і втратах напору теплоносіїв поверхня нагріву пластинчастих теплообмінників у середньому в два рази менша, ніж кожухотрубних.

Охолодження виробничих агрегатів і устаткування за допомогою трубчастих порожнистих холодильників. При цьому виді охолодження необхідно відводити тепло від деталей і конструкцій охолоджуванних елементів, для того щоб їх температура не підвищувалася вище певних меж, при яких відбувається різка втрата міцності охолоджуванних матеріалів. Наприклад, для звичайної низьковуглецевої сталі ця межа становить 400 °С, а для сірого чавуну – межа 375 °С. У цьому випадку температура охолоджуючої води не відіграє істотної ролі, оскільки вона дуже мала порівняно з робочою температурою елементів, що охолоджуються. Витрату охолоджуючої води визначають за рівнянням теплового балансу.

Системи охолодження теплообмінної температури існують такі:

- 1) водяне охолодження холодною та гарячою водою;
- 2) випарне охолодження з пароутворенням у середині та поза конструкцією, що охолоджується;
- 3) охолодження висококиплячим теплоносієм.

Водяні низькотемпературні системи охолодження. Температура охолоджуючого продукту знижується незначно (на 20–40 °С). Система може бути прямоточна або оборотна. Вода проходить через холодильники (теплообмінники), розташовані в конструкції, що охолоджується та відбирає тепло. Витрати води залежать від кількості тепла, що відводиться, величини температурного перепаду та якості води. Система проста, але вона не дозволяє використовувати тепло, а підвищення перепаду температури може призвести до відкладення солей твердості.

Водяне охолодження гарячою водою (без кип'ятіння). Температура охолоджуючого продукту знижується від 120 °С до 80–90 °С. У цій схемі використовують хімічно очищену воду. Нагріта до 90–95 °С вода може використовуватись для гарячого водопостачання або для підігріву конденсату, теплофікації. Циркуляційний контур охолоджуючої води виконують замкненим. Втрати води в системі поповнюють хімічно очищеною водою.

Перевагами системи охолодження гарячою водою є можливість використання тепла охолоджуючої води. Крім того, виключається можливість

прогару холодильників, тому що не утворюється накип унаслідок використання пом'якшеної води. Недоліки системи: складність комунікацій і залежність від споживача тепла.

Випарне охолодження (охолодження водою, що кипить). Вперше систему випарного охолодження було впроваджено на мартенівських печах Донецького металургійного заводу. Робота удостоєна Державної премії першого ступеня і є реалізацією вітчизняного винаходу (автори Андоньєв С. М., Крушель Г. Є.), який широко застосовують у наші часи.

У системах випарного охолодження холодну охолоджуючу воду замінено киплячою, коефіцієнт теплопередачі якої значно вищий. Охолодження відбувається внаслідок відводу пари. Тепло, яке відбирається охолоджуючою водою, витрачається на випаровування цієї води. Установа працює на хімічно очищеній воді. Таку систему застосовують у випадку, якщо температура води не впливає на технологічний процес, тобто для збільшення стійкості деталей при їх роботі в зоні високих температур (металургійні печі, печі будівельної індустрії тощо).

Системи охолодження з пароутворенням усередині деталі. У таких системах випарного охолодження (рис. 3.1) охолоджувані деталі приєднані двома трубами до бака-сепаратора. По опускній трубці бака-сепаратора підводиться до деталі вода, а пароводяна суміш, що утворилася, по підйомній трубці відводиться в бак-сепаратор, де пара відділяється від води і відводиться по паропроводу. Пара виходить низького тиску. Вода в системі циркулює безперервно. При цьому застосовують як природну циркуляцію, так і штучну. У системі з примусовою циркуляцією між баком-сепаратором і агрегатом встановлюють циркуляційний насос.

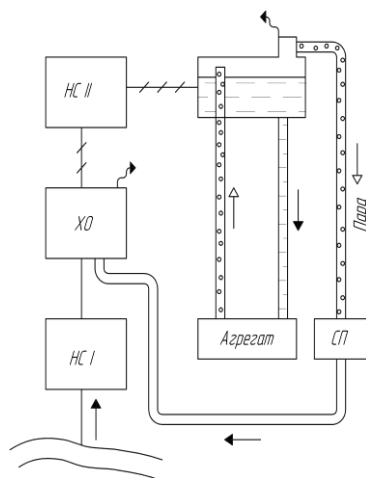


Рисунок 3.1 – Схема випарного охолодження металургійних печей з природною циркуляцією:

ХО – станція хімоводоочистки; СП – споживач пари; БС – бак-сепаратор

Природна циркуляція заснована на різниці щільності води і пароповітряної суміші в опускній і підйомній трубах. При цьому досягається саморегулювання процесу охолодження. Збільшення температури агрегату призводить до збільшення вмісту пари в пароводяній суміші і зменшення щільності її в підйомній трубі, внаслідок чого кратність циркуляції води зростає і температура агрегату стабілізується.

Вода, що відводиться у вигляді пари, поповнюється хімічно очищеною водою, яка подається в бак-сепаратор. При цьому при використанні пари і поворотного конденсату втрати води становлять не більше 15 % від звичайних втрат при водяному охолодженні.

Переваги випарного охолодження:

- збільшується термін служби охолоджуваних деталей, виключаються ремонти через прогар деталей, оскільки використовується хімічно очищена вода;
- відсутні охолоджуючі пристрої (градирні, ставки-охолоджувачі, бризкальні басейни), водоводи великих діаметрів, потужні насоси;
- тепло охолоджуючої води можна використовувати без зміни умов експлуатації системи, оскільки система не залежить від споживачів тепла (при необхідності можна видаляти надлишки пари в атмосферу);
- зменшуються капіталовкладення і спрощується експлуатація системи через зменшення витрати води на охолодження.

Практичне застосування випарного охолодження підтверджує його переваги. При переведенні доменних печей Донбасу на випарне охолодження термін їх служби подовжився в 2 рази, а для заводів інших районів – у 1,5 рази, що фактично економить один капітальний ремонт, скорочує витрату води і електроенергії на її подачу в середньому на 70–80 %.

Системи охолодження з паротворенням поза деталлю. Різновидом схеми випарного охолодження, наведеної на рисунку 3.1, є схема (рис. 3.2) з паротворенням поза деталлю.

У системах охолодження з паротворенням поза деталлю охолоджуючим агентом може бути вода або висококиплячі теплоносії. В охолоджуваних деталях пара не утворюється, тому можна застосовувати конструкції звичайного водяного охолодження. Сутність замкненої системи водяного охолодження з винесеним випаровувачем полягає в тому, що тиск води в охолоджуваній деталі вищий, ніж у баку-сепараторі, тому в деталі не утворюється пара, закипання відбувається в баку-сепараторі.

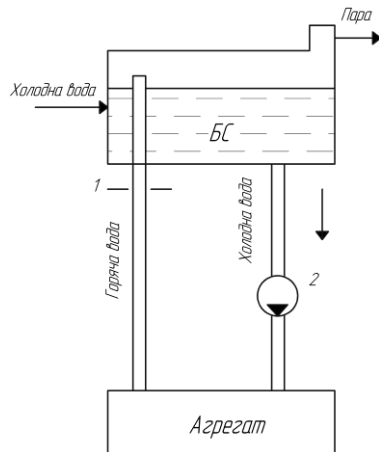


Рисунок 3.2 – Схема випарного охолодження з пароутворенням поза деталлю:
БС – бак сепаратор; *1* – діафрагма;
2 – циркуляційний насос

Система працює з примусовою циркуляцією, вона складна в експлуатації і виготовленні.

Системи охолодження висококиплячим теплоносієм (ВТ) застосовують, коли немає необхідності дуже знижувати температуру нагрітої деталі. Охолоджуючі деталі охолоджуються циркулюючим ВТ, а сам ВТ охолоджується шляхом випаровувального охолодження водою, тобто в цій схемі два охолоджуючих контури (рис. 3.3). Як ВТ для охолодження деталей використовують спеціальні масла, ртуть, розчини висококиплячих мінеральних або органічних солей, тобто теплоносії, що мають високу температуру кипіння. Внаслідок цього охолодження деталей відбувається при невеликому тиску і високій температурі теплоносія, тепло якого використовується в теплообміннику бака-сепаратора для отримання пари високого тиску. Система може працювати як з примусовою, так і з природною циркуляцією.

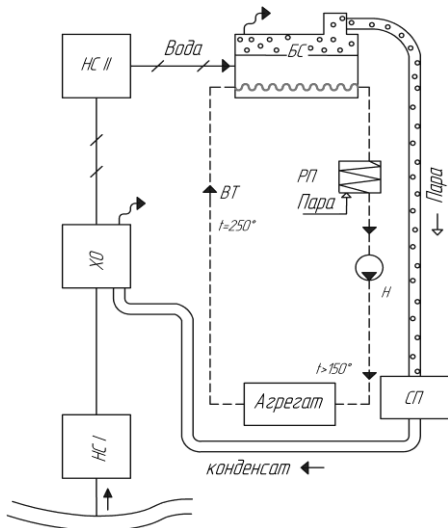


Рисунок 3.3 – Система охолодження металургійних печей з висококиплячим теплоносієм (ВТ):
ХО – станція хімоводоочистки;
СП – споживач пари; *РП* – резервний підігрівач;
ВТ – висококиплячий теплоносій

Двоконтурна схема охолодження із застосуванням ВТ складається з контуру циркуляції агента для охолодження деталей печі і системи охолодження ВТ. Теплоносій, що нагрівається деталлю до 200–250 °С,

оохолоджується водою в трубчастому теплообміннику, у якому при цій температурі виходить пара високого тиску.

Істотним недоліком систем випарного оохолодження із застосуванням ВТ є застигання агента при низьких температурах, що ускладнює експлуатацію в зимовий період. Тому в контур циркуляції теплоносія вмонтовують резервний підігрівач ВТ, який забезпечує підігрів теплоносія при падінні його температури нижче за 50 °С.

Основні технологічні й економічні вимоги до систем оохолодження можна сформулювати таким чином:

1. Втрати тепла з оохолоджуючою водою повинні бути мінімальними.

2. Витрати енергії на експлуатацію систем оохолодження повинні бути мінімальними, а тепло, що відводиться від оохолоджуваних деталей, повинне використовуватися за економічно вигідною схемою.

3. Капіталовкладення з комплексу оохолоджуючої системи повинні бути мінімальними, а енергетичне господарство – найбільш простим.

3.2 Споруди для оохолодження води

При оборотному водопостачанні промислового об'єкта оохолоджуючий пристрій (оохолоджувач) повинен забезпечити оохолодження циркуляційної води до температур, що відповідають оптимальним техніко-економічним показникам роботи об'єкта.

Зниження температури води в оохолоджувачах здійснюється у результаті віддачі її тепла повітря. Ефективність процесу оохолодження залежить від температури повітря, його вологості, швидкості руху повітря та поверхні зіткнення оохолоджуваної води з повітрям.

За способом передачі тепла оохолоджувачі поділяють так:

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

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

За способом підводу повітря оохолоджувачі поділяють на відкриті; баштові; вентиляторні.

До відкритих оохолоджувачів відносяться водосховища-оохолоджувачі, бризкальні басейни, відкриті градирні, у яких рух повітря забезпечується вітром або природною конвекцією. Баштові й вентиляторні оохолоджувачі 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.

Необхідна площа контакту в бризкальних охолоджувачах створюється розбризкуванням води через спеціальні сопла або насадки. У краплинних, плівкових та комбінованих охолоджувачах необхідна площа контакту створюється шляхом розподілення води над спеціальними зрошуючими пристроями, які забезпечують подрібнення краплин до необхідних розмірів або створення тонких плівок для ефективного охолодження нагрітої води.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика водяних охолоджувачів

Охолоджувачі	Максимальне питоме теплове навантаження, тис. ккал/(м ² ·год)	Рекомендований перепад температур води, °С	Мінімальна різниця температур охолодженої води і повітря за змоченим термометром, °С
Водосховища- охолоджувачі	0,2–0,4	5–10	10–20
Бризкальні басейни	7–15	5–10	10–12
Баштові градирні	60–80	5–12	8–10
Вентиляторні градирні	80–100	3–20	4–5

Кількісними характеристиками охолоджувача приймаються гідравлічне та теплове навантаження.

Гідравлічне навантаження (щільність зрошення) показує кількість води (м³/год), що доводиться на м² активної (робочої) площі охолоджувача в плані.

Теплове навантаження охолоджувача відображає кількість тепла, що віддає вода повітрю на м² охолоджувача.

Якісна сторона охолоджувача (охолоджуючий ефект) характеризується показниками:

- 1) перепадом температур або шириною зони охолодження – різниця між температурою води, що надходить до охолоджувача, і температурою охолодженої води

$$\Delta t = t_1 - t_2,$$

де t_1 – температура гарячої води, °С;

t_2 – температура охолодженої води, °С;

2) висотою зони охолодження (ступінь наближення температури охолодженої води до теоретичної межі охолодження).

При проектуванні градирень здійснюють теплотехнічні й аеродинамічні розрахунки. При прив'язуванні типових проєктів аеродинамічні розрахунки не виконують. Теплотехнічними розрахунками визначають або необхідну площу охолоджувача при заданих витратах води і кінцевій температурі охолодженої води, що потребується, або кінцеву температуру охолодженої води для заданої площі охолоджувача і заданої витрати води. Теплотехнічні розрахунки виконують для конкретних метеорологічних умов, розрахунки здійснюються за емпіричними формулами та номограмами.

3.2.1 Водосховища-охолоджувачі

Водосховища-охолоджувачі застосовують для охолодження великих витрат води. Вони являють собою величезні накопичувачі води в складках місцевості.

Охолодження води здійснюється під час руху її від місця випуску до місця водозабору, але не весь ставок бере участь в охолодженні. Величина активної зони водосховища менша за площу дзеркала водосховища.

Орієнтовно, для охолодження 1 м³ води за годину потрібно біля 30 м² площі контакту її з повітрям. Основним показником охолоджуючої здатності є площа активної зони, тобто площа водосховища, з якої відбувається теплопередача. Коефіцієнт використання водосховища є відношенням площі активної зони до площі дзеркала водосховища.

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

Він залежить від форми ставка, розташування водозабору і скиду води, умов розтікання потоку. Оптимальною є витягнута форма водосховища з плавним обрисом берегів і розсіюючим випуском, для якої K_B наближається до 1.

За призначенням, розташуванням та умовами живлення водосховища-охолоджувачі поділяють так :

- регулювальні водосховища на водотоках (річках), що використовують для охолодження циркуляційної води і для сезонного або багаторічного регулювання стоку;

- водосховища-охолоджувачі без регулювання стоку, що утворюються перекриттям водотоку дамбою і відповідним його розливом по площі;
- водосховища-охолоджувачі на природних озерах та ставках;
- наливні водосховища поза водотоком з підживленням водою з найближчої річки.

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

Водосховища-охолоджувачі застосовують при:

- невисоких вимогах до ефекту охолодження;
- наявності природних водосховищ;
- наявності вільних малоцінних земельних площ поблизу підприємства.

До переваг водосховищ-охолоджувачів можна віднести:

- простота будови й експлуатації;
- можливість отримання протягом значної частини року більш низьких температур охолодженої води, ніж на бризкальних басейнах і градирнях;
- при використанні для охолодження ставків немає необхідності створювати додатковий напір для підйому води та її розбризкування. При великих витратах це є суттєвою перевагою перед іншими типами охолоджувачів.

Недоліками ставків-охолоджувачів є:

- 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 і фауни, а також ускладнення і дорожчання будівництва промислових цивільних об'єктів у зонах підтоплення.

Незважаючи на ці недоліки, водосховища-охолоджувачі застосовують для охолодження в теплоенергетиці, коли споживачами води є потужні паротурбінні електростанції.

З метою посилення охолоджуючого ефекту ставка в деяких випадках доцільно над його поверхнею встановлювати сопла для розбризкування води.

3.2.2 Бризкальні басейни

Бризкальні басейни становлять відкриті резервуари, над поверхнею яких розбризкується вода. Резервуари можуть бути штучними або природними

водоймами. Розбризування води забезпечується системою розподільних труб для подачі води і сопел (рис. 3.4). Відстань між розподільними трубами і між насадками (соплами), ширина коридорів повинні забезпечувати якнайкращі умови для розбризування води. Факели від окремих насадок не повинні перетинатися.

Бризкальні басейни потребують незначних капітальних вкладень, прості в експлуатації, але мають невисокий охолоджуючий ефект і потребують спланованого майданчика. Звичайно, їх використовують в умовах, коли не потрібно постійної низької температури.

Охолодження нагрітої води відбувається більш холодним повітрям у процесі падіння крапель води, що утворюються при роботі розбризкуючих насадок. Охолоджена вода збирається в басейні, звідки поступає у всмоктувальний колодязь і далі подається насосами в систему оборотного водопостачання.

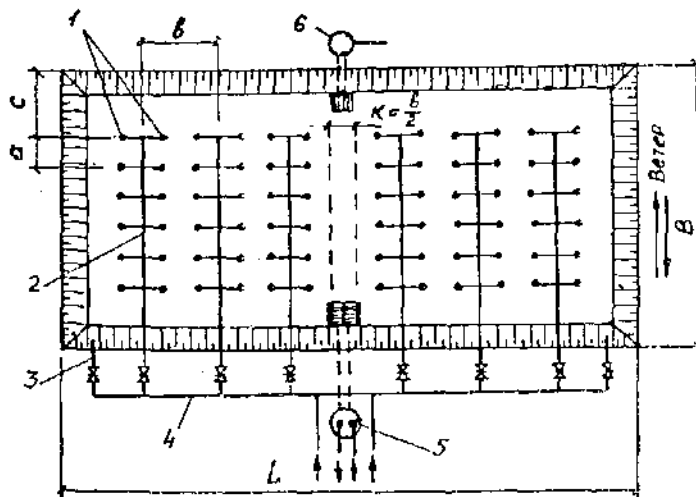


Рисунок 3.4 – Схема бризкального басейну:

- 1 – насадки або сопла; 2 – розподільні труби; 3 – випуски для скидання води; 4 – магістральний трубопровід або головний колектор; 5 – всмоктувальний колодязь охолодженої води; 6 – колодязь спорожнення

Бризкальний басейн обладнують грязьовим випуском для спорожнення басейну і переливною лінією. При проектуванні бризкальних басейнів передбачаються випуски води безпосередньо в басейн для скидання її без розбризування в зимовий період. Кількість секцій бризкальних басейнів повинна бути, як правило, не менше двох. Застосування однієї секції допускається для оборотних систем з періодичним режимом роботи.

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 (рис. 3.5).

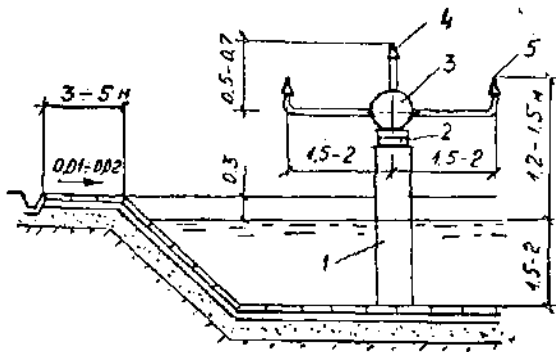


Рисунок 3.5 – Фрагмент бризкального басейну в розрізі:

1 – опорний стовп; 2 – ковзаючі опори для компенсації температурної деформації; 3 – розподільний трубопровід; 4 – насадки; 5 – насадкоутримувачі

Розміри басейнів встановлюються з умов гідравлічного навантаження 0,8–1,3 м³/год на м² площі. Ширина бризкального басейна повинна бути не більше 50 м.

Басейн обладнують водоприймальним і водоспусковим колодязями. У водоприймальний колодязь, що розташовується на відстані 5–6 м від брівки басейну йде самопливна лінія. На кінці її в басейні розміщені грубі ґрати, а у всмоктувальному колодязі встановлена очисна сітка.

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

Розбризкуючі сопла або насадки є найважливішим елементом бризкальних басейнів. Сопла повинні забезпечувати максимальне розбризкування води. Це забезпечується формою сопла та напором води перед ним. Зазвичай вільний напір перед соплом становить 5–8 м.

Сопла розташовують на висоті 1,2–1,5 м над рівнем води по одному або пучками, які складаються з 3–5 штук.

3.2.3 Класифікація градирень та їх конструкції

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

У градирнях вихідна вода розбризкується по площі водорозподільним пристроєм у вигляді окремих струменів, які падають донизу, контактують із повітрям і охолоджуються (бризкальні градирні). Проте в більшості градирень для підвищення ступеню контакту води з повітрям вставляють додатково спеціальний зрошувач. Зрошувач забезпечує подрібнення потоків стікаючої води і контакт їх з повітрям. Охолоджена вода збирається в резервуарі під

градирнею.

Отже, тепловіддача градирень залежить від швидкості руху крапель чи плівки і головним чином від швидкості повітря. Рух повітря створюється внаслідок тяги в башті або вентилятором.

Бризкальні градирні (градирні без зрошувача), у яких поверхня охолодження створюється за рахунок розбризкування води високонапірними соплами, які встановлюють над водозбірним басейном, менш ефективні, ніж градирні з краплинним чи плівковим зрошувачем, оскільки площа поверхні контакту води з повітрям у них значно менша.

Основним типом зрошувачів, що забезпечують найбільш високий ефект охолодження, є плівковий, але він чутливий до наявності у воді нафтопродуктів, завислих речовин та інших домішок, які викликають заростання зазорів між елементами. Плівкові зрошувачі застосовують при концентрації нафтопродуктів менше 25 мг/л і завислих речовин до 50 мг/л. При загальній концентрації в оборотній воді жирів і нафтопродуктів 25-125 мг/л застосовують краплинні або краплинно-плівкові зрошувачі, а при концентрації вказаних речовин більше 120 мг/л – бризкальні.

Зрошувач забезпечує подрібнення потоків стікаючої води і контакт їх з повітрям. Залежно від умов протікання води вони поділяються на краплинні, плівкові й комбіновані.

Краплинний зрошувач складається з великої кількості дерев'яних рійок 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.

Сучасні конструкції краплинних зрошувачів виготовляють з полімерних плоских ґрат або штампованих сітчастих (перфорованих) елементів з поліетилену. Такі зрошувачі компактні, прості у монтажу і легші за азбестоцементні і дерев'яні.

Плівкові зрошувачі мають менший, ніж краплинні, аеродинамічний опір, але потребують великих затрат матеріалу на їх виготовлення. Виготовляють їх з дерев'яних і 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.

Водоуловлювачі градирень. Водоуловлювачами обладнуються баштові й вентиляторні градирні, які мають підвищену тягу повітря. Водоуловлювачі

призначені для зниження виносу з охолоджуючим повітрям крапель вологи з градирень. Встановлення водоуловлювачів над водорозподільвачами градирень значно зменшує винос води до десятих, сотих і навіть тисячних часток відсотка від витрати оборотної води.

Найбільшого поширення в нашій країні та за кордоном отримали водоуловлювачі, виготовлені з одного чи двох рядів нахильних пластикових дошок або хвилястих листів з азбестоцементу чи полімерних матеріалів. Різні типи водоуловлювачів відрізняються один від одного не тільки матеріалом, але і формою вказаних елементів (перешкод) і їх розташуванням.

За способом подачі повітря градирні поділяють на наступні три основні типи: відкриті, баштові, вентиляторні (рис. 3.6).

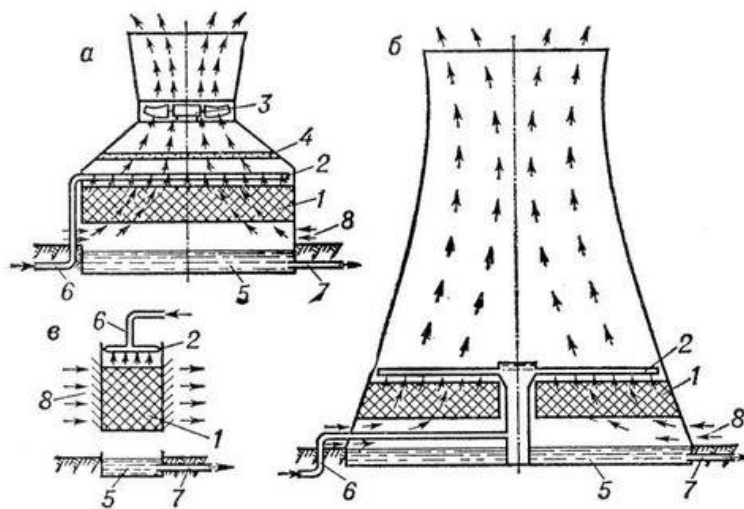


Рисунок 3.6 – Градирні: а – вентиляторна; б – баштова; в – відкрита;
 1 – зрошувач; 2 – водорозподільвач; 3 – вентилятор; 4 – водоуловлювач;
 5 – резервуар; 6 – підведення води; 7 – відведення води; 8 – вхід повітря

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

Відкриті бризкальні градирні становлять невеликий витягнутий у плані бризкальний басейн, який з усіх боків огорожений жалюзійною решіткою, що виконує роль водоуловлювачів та перешкоджає виносу бризок за межі градирні.

Відкриті краплинні градирні відрізняються від бризкальних конструктивно лише тим, що вода розбризкується на зрошувач. Завдяки цьому ефект охолодження зростає приблизно у два рази.

Відкриті градирні використовуються при невеликих витратах води – до 300–1 500 м³/год і забезпеченні невисокого охолоджуючого ефекту. Ефект охолодження значно зменшується при відсутності вітру.

На практиці застосовують відкриті градирні з розбризкуванням води у двох рівнях: верхній розподільвач працює в зимовий період, а нижній – у літній період.

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 (рис. 3.7).

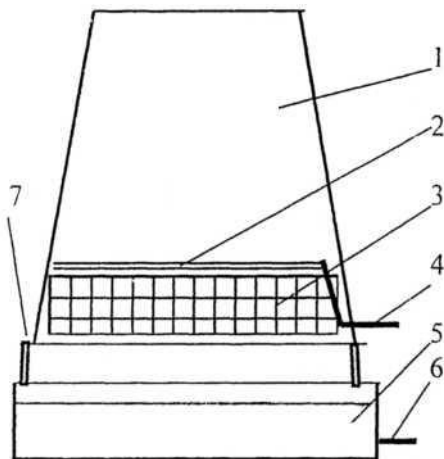


Рисунок 3.7 – Баштова градирня:

1 – витяжна башта; 2 – водорозподільний пристрій; 3 – зрошувач; 4 – подача гарячої води; 5 – резервуар; 6 – трубопровід відбору охолодженої води; 7 – вікна для потрапляння повітря

Баштові градирні забезпечують більш стійке охолодження, ніж відкриті градирні та бризкальні басейни. Вони допускають більшу інтенсивність зрошення, а тому і більш компактні та 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 м³/м²·год.

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

До конструкції башти пред'являють підвищені вимоги за умовами стійкості внутрішньої аеродинаміки щодо застосованих матеріалів, тому що вони з внутрішньої сторони перебувають під впливом вологого теплого повітря, а з зовнішньої – під впливом морозного повітря. Бетон для спорудження башти повинен бути щільним, морозостійким. Внутрішню поверхню залізобетонної башти покривають гідроізоляцією.

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 звичайно виготовляють із залізобетону з відповідною гідроізоляцією, обладнують переливними та грязьовими випусками.

Вентиляторні градирні – споруди для охолодження води в оборотних системах водопостачання з примусовою подачею повітря у зрошувальний простір за допомогою вентиляторів. Порівняно з баштовими градирнями, а також бризкальними басейнами, вентиляторні градирні забезпечують стійкіше охолодження води, оскільки дозволяють регулювати температуру охолодженої води шляхом зміни числа оборотів або відключення окремих вентиляторів. Температура охолодженої води у вентиляторних градирнях нижча, ніж у баштових, за однакових умов на 3–5 °С.

Вентиляторні градирні дозволяють підвищувати щільність зрошення до 10–14 м³/год на м². Вентиляторні градирні поділяють на баштові, що обладнані вентилятором великої продуктивності, і секційні, які складаються з окремих секцій із самостійними вентиляторами. Бувають односекційні градирні та багатосекційні, що складаються з 2–6 стандартних прямокутних чи квадратних у плані секцій площею до 200 м² кожна.

Односекційні (одновентиляторні) градирні мають площу зрошувача більше 400 м², застосовують їх при великих витратах (більше 10 000 м³/год), споруджують круглими, квадратними або прямокутними в плані.

Вентиляторні градирні можуть бути і з поперечним, і з протиточним рухом повітря (за способом подачі повітря), з нагнітальними і з витяжними вентиляторами. Останні мають таку перевагу, що вентилятор розташований в зоні теплого повітря і в зимовий період не обмерзає. Крім того, в градирнях з витяжним вентилятором повітря рівномірно розподіляється по перетину зрошувача і його рециркуляція, що здійснюється вітром, значно менша. Нагнітальні вентилятори розміщуються знизу, що дає можливість швидко проводити ремонт і огляд. Але нагнітальні градирні застосовують рідко і тільки при малих витратах, хоча монтаж і їх обслуговування є простішими, ніж витяжних.

Регулювання витрати повітря в одновентиляторних градирнях здійснюється шляхом установки гідромуфт або багатошвидкісних електродвигунів, а в секційних – відключенням окремих вентиляторів.

Вентиляторні градирні обов'язково обладнують водоуловлювачами різного типу для зменшення виносу краплинної вологи.

Вентиляторні градирні забезпечують глибоке і стійке охолодження, але витрачають велику кількість електроенергії, складні в експлуатації, вентилятор

постійно шумить, може з'являється туман над землею, який несприятливо впливає на технологічне обладнання. У районах із 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.

Радіаторні градирні інколи ще називають сухими градирнями. У цих градирнях вода протікає через систему радіаторів з алюмінієвих ребристих труб і скомпонованих у декілька секцій (рис. 3.8). Діаметр трубок зазвичай приймається 15 мм, а ребра – товщиною 0,3 мм. Повітря продувається, як і у вентиляторних градирнях, відсмоктувальними вентиляторами.

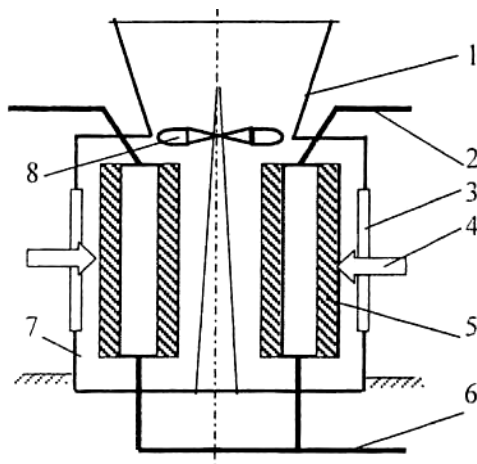


Рисунок 3.8 – Радіаторна градирня:
 1 – дифузор; 2 – подача води на охолодження;
 3 – вікна для повітря; 4 – напрямок входу
 повітря; 5 – радіатори; 6 – відведення
 охолодженої води; 7 – корпус; 8 – вентилятор

У радіаторних градирнях спостерігаються мінімальні втрати води, а якість води практично не змінюється. У той же час витрачається більше повітря, більші габарити градирні, у жарку погоду не забезпечується низька температура води, великі витрати металу і, відповідно, велика вартість. Використовують такі градирні в умовах, коли неможлива подача додаткової води або вартість її дуже висока.

Контрольні запитання

1. Класифікація споруд для охолодження води.
2. Водосховища-охолоджувачі. Типи, умови використання.
3. Застосування водосховищ-охолоджувачів та бризкальних басейнів для охолодження води. Переваги й недоліки.
4. Кількісні та якісні характеристики охолоджувачів.
5. Водорозподільні системи й зрошувальні устрої градирень.
6. Типи зрошувачів.
7. Як здійснюється охолодження води в градирнях відкритого типу?
8. Баштові та вентиляторні градирні. Конструкція, умови використання.

ЗМ 2 ПОПЕРЕДЖЕННЯ УТВОРЕННЯ ВІДКЛАДЕНЬ ТА СПОСОБИ ЇХ ВИДАЛЕННЯ

Розділ 4 ЗАПОБІГАННЯ УТВОРЕННЮ КАРБОНАТНИХ ВІДКЛАДЕНЬ

4.1 Характер та причини утворення карбонатних відкладень у системах оборотного водопостачання

Природна або очищена стічна вода, що має певну карбонатну твердість (вода поверхневих джерел більше 2–3 мг-екв/л і підземних джерел більше 1–1,5 мг-екв/л) при використанні в системі оборотного водопостачання як охолоджуючого агента обладнання або технологічних продуктів (без зіткнення з ними) у теплообмінних апаратах, може виділяти на теплообмінній поверхні та в спорудах карбонатні відкладення (CaCO_3 тощо). Щоб запобігти утворенню карбонатних відкладень, застосовують обробку води (оборотної або додаткової) безпосередньо в системі оборотного водопостачання.

У складі карбонатних відкладень переважає карбонат кальцію CaCO_3 , він також може бути в'язким для інших домішок.

Характер та склад відкладень. Карбонатні відкладення можуть бути щільними (рис. 4.1) або пухкими, а іноді крупнозернистими уламковими чи у вигляді піску.

Щільні відкладення мають яскраво виражену кристалічну структуру із зернами відносно правильної форми та практично не містять органічних включень: при висиханні вони не розпадаються. Такі структури відкладень характерні для холодильників вогневого нагріву металургійних печей, сорочок циліндрів компресорів та охолоджуваних водою теплообмінних апаратів з температурою продукту понад 80–100 °С.

Відкладення, що мають пухку структуру, містять велику кількість домішок мінерального або органічного походження (залізо, кремнезем тощо). При висиханні вони схильні до розпаду. Такі структури відкладень характерні для холодильників невогневого нагріву, які охолоджуються водою теплообмінних апаратів із температурою продукту, меншою за 80–100 °С. У всіх випадках процеси відкладення поєднуються з процесами біологічних обростань або корозії металу.

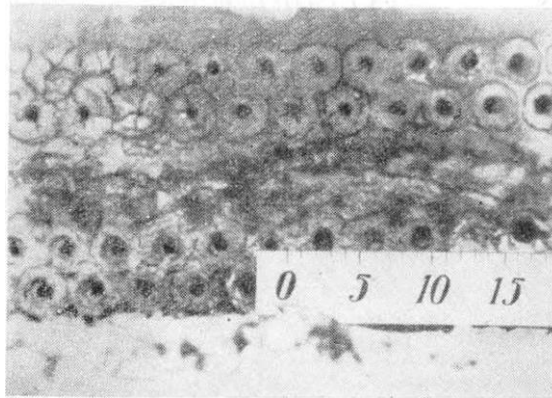


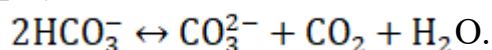
Рисунок 4.1 – Щільні карбонатні відкладення на теплообмінній поверхні, що омивається охолоджувальною водою

Уламкові крупнозернисті відкладення у вигляді шматочків лусочок або піску утворюються із щільних відкладень у теплообмінних апаратах, що працюють зазвичай зі змінною теплонапругою.

Таким чином, для кожного типу теплообмінного апарату, для води різних складів та режимів її використання характерні відповідні за структурою карбонатні відкладення.

Забарвлення відкладень здебільшого сіре або сіро-буре, у присутності заліза – від світло-до темно-коричневого, за наявності біологічних обростань – сіро-зелене.

Причини та стадії утворення відкладень в охолоджувальних системах. Відкладення кристалічного карбонату кальцію на теплопередаючій поверхні та в трубопроводах утворюються внаслідок порушення вуглекислотної рівноваги в нестабільній оборотній воді при розпаді бікарбонатного іону з втратою вільної вуглекислоти за формулою:



Причиною порушення вуглекислотної рівноваги є нагрівання води в теплообмінних апаратах з подальшим охолодженням на градирнях або інших спорудах. Чим більше міститься у воді бікарбонатних іонів (карбонатна твердість) і чим вищий ступінь нагрівання води, тим інтенсивніше йде процес розпаду HCO_3^- та утворення карбонатного іону CO_3^{2-} , тому що при цьому потрібна велика концентрація у воді вільної рівноважної вуглекислоти (рис. 4.2), необхідної для підтримки в розчині певної кількості бікарбонату кальцію.

При порушенні вуглекислотної рівноваги та появі карбонатного іона CO_3^{2-} останній вступає в реакцію із завжди присутнім в холодній воді (у тій чи іншій концентрації) іоном кальцію Ca^{2+} , у результаті чого спочатку

утворюються зародки кристалів карбонату кальцію CaCO_3 , а потім самі кристали. Таким чином, процес зародження, утворення та відкладення CaCO_3 відбувається через низку послідовних стадій:

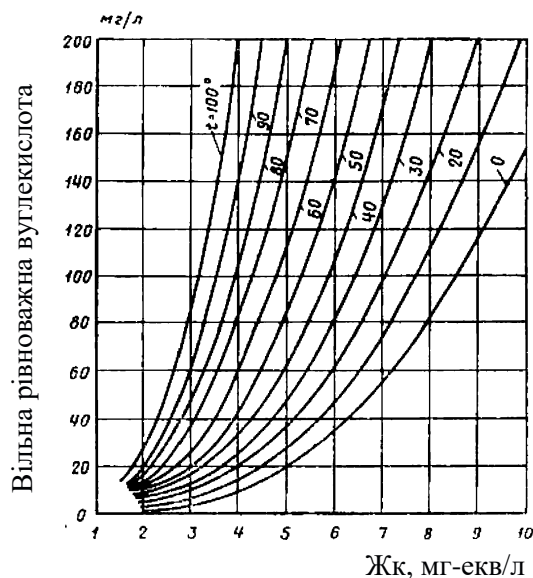
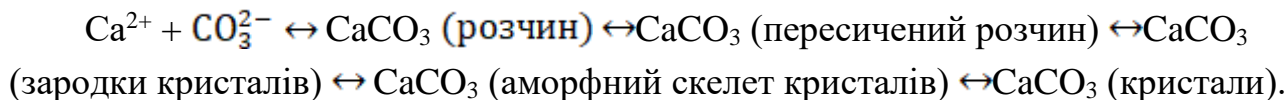


Рисунок 4.2 – Необхідний вміст вільної рівноважної вуглекислоти CO_2 у воді для запобігання розпаду бікарбонату кальцію HCO_3^- залежно від температури нагрівання води t , °C при заданій карбонатній твердості Ж_K

Іони Ca^{2+} та CO_3^{2-} , з'єднуючись у молекули, поступово утворюють пересичений розчин CaCO_3 . У цьому розчині утворюються далі центри кристалізації – зародки (рис. 4.3, а), які потім укрупнюються (рис. 4.3, б) і набувають вигляду слабкої каламуті; потім утворюється скелет кристалів (рис. 4.3, в) і, нарешті, самі кристали CaCO_3 (рис. 4.3, г). Збільшуючись, кристали перетворюються на зростки.

Процес кристалізації прискорюється за наявності у середовищі певних зародків – початкових частинок, навколо яких протікає подальше утворення кристалів. Такі зародки можуть утворитися за рахунок самого середовища, що кристалізується.

Зародками можуть бути також і дрібнодисперсні і колоїдальні частинки зовсім сторонньої речовини, якщо вони здатні концентрувати (адсорбувати) на своїй поверхні молекули певної речовини навіть у ненасиченому розчині. При цьому утворюються потенційні центри, довкола яких починається кристалізація в момент, коли розчин стає пересиченим.

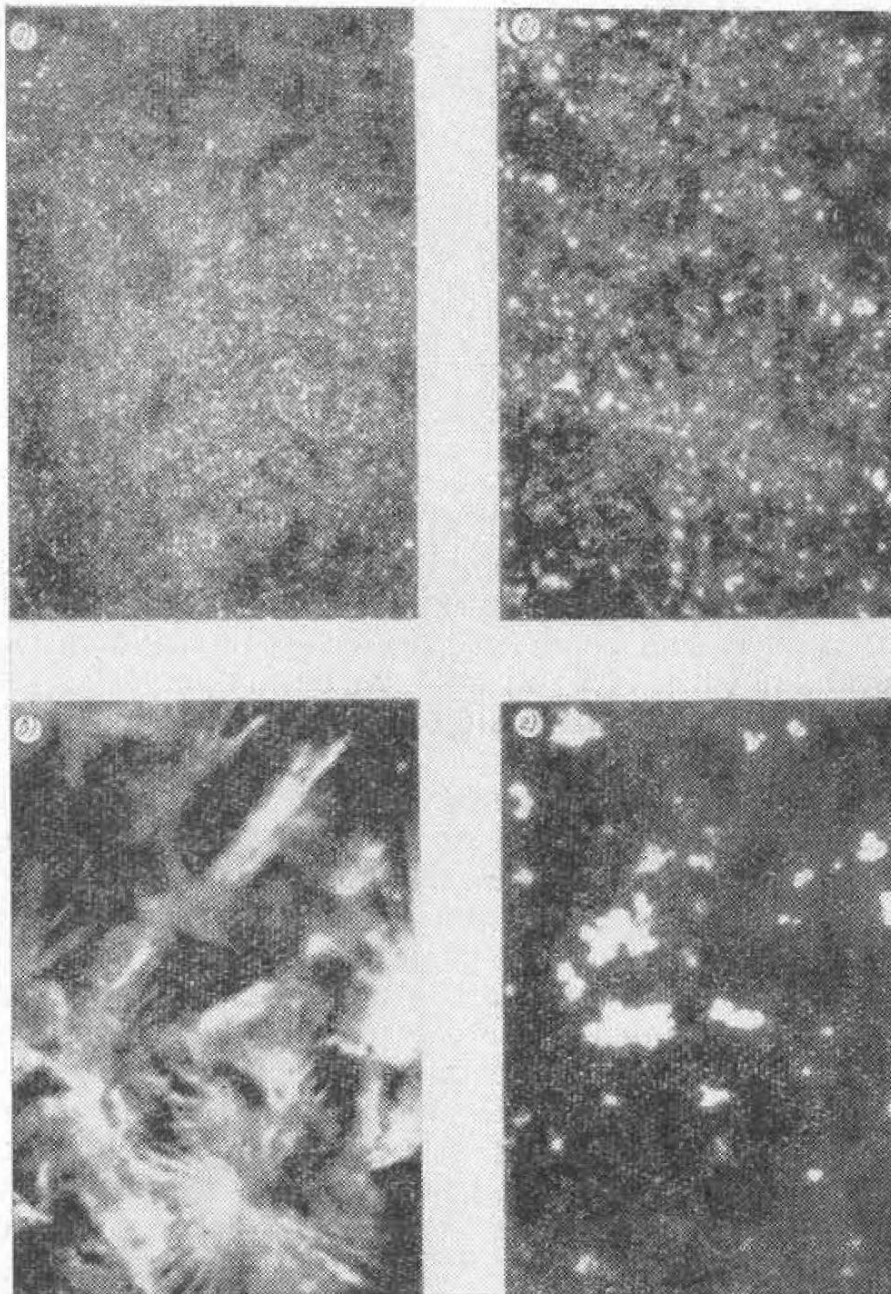


Рисунок 4.3 – Зародки кристалів карбонату кальцію (збільшено у 200 разів):
а – утворення зародків кристалів CaCO_3 у нагрітій воді; б – зростання зародків кристалів CaCO_3 у нагрітій воді; в – перехід зародків кристалів у пересиченому нагрітому розчині та аморфний стан; г – об'єднання аморфних зародків кристалів у пересиченому нагрітому розчині в укрупнені системи – міцели, що легко випадають з розчину та прилипають до поверхні, яка обмивається водою

Поблизу охолоджуючих поверхонь температура води вища, внаслідок чого тут спостерігається більше розкладання бікарбонату кальцію та більшого пересичення розчину. Тому кристали утворюються першою чергою на цих поверхнях і, прийшовши в дотик один з одним, утворюють зростки цих кристалів, які ніби «прирастають» до поверхні, що охолоджується. Утворення

кристалів правильної (ідеальної) форми може спостерігатися лише в лабораторних умовах. У природних умовах утворюються зазвичай недорозвинені і спотворені, несиметричні кристали і зростки, які на вигляд мало схожі на ідеальні з огляду на те, що у воді, що використовується для охолодження, присутні ті або інші домішки. На гранях кристала карбонату кальцію у процесі його зростання утворюються включення та відкладення цих механічних та хімічних домішок.

У холодильниках з меншим теплонапруженням вогневого і невогневого нагріву замість кристалічних відкладень можуть бути пухкі, брудоподібні відкладення, особливо коли вода, що охолоджує, містить багато завислих речовин або є біологічні обростання.

Утворення відкладень у системах оборотного водопостачання при контакті води із продуктом. Карбонатні відкладення можуть утворюватися також при безпосередньому контакті води з продуктом, коли вода виконує комплексну роль охолоджувача і середовища, що поглинає механічні домішки і розчинні сполуки. У цьому випадку хімічний склад оборотної води та її технологічні властивості формуються під впливом середовища – хімічного складу продукту, з яким вона стикається, температури і тиску і не залежать від якості води, що додається.

Наприклад, розглянемо систему оборотного водопостачання очищення газу доменних печей, де на тракті відведення води від газоочисних апаратів, у радіальних відстійниках, на зрошувачі градирень та у трубопроводах утворюються відкладення CaCO_3 , що ускладнює роботу цих споруд.

Карбонатні відкладення включають також частинки руди, що не розплавилася в доменних печах, і незгорілого коксу. В утворенні відкладень беруть участь вуглекислота доменного газу, що переходить у воду в газоочисних апаратах, а також іони – гідрокарбонатні HCO_3^- , карбонатні CO_3^{2-} та кальцію Ca^{2+} , а в деяких випадках і цинку Zn^{2+} .

Таким чином, утворення карбонатного відкладення залежить від якостей і властивостей оборотної води в системі, а останні – від механічного та хімічного складу шихти, що завантажується в печі, від температури її плавлення, тиску та інтенсивності надходження повітря в печі, а також вмісту вуглекислоти в газі, що очищується за допомогою води. Вода в газоочисних апаратах «зустрічається» з механічними домішками та вуглекислою, а також з розчиненими нею сублімаціями з шихти і, як наслідок, безперервно збагачується ними у вигляді бікарбонатів кальцію, магнію, цинку та інших елементів.

З газоочисної апаратури вода, що відпрацювала, потрапляє в умови, сприятливі для виділення кислоти і розпаду бікарбонатних сполук до карбонатних, які осідають на поверхнях всіх споруд системи оборотного водопостачання. Цей процес особливо посилюється після того, як вода повністю втрачає вільну вуглекислоту на градирні. Таким чином, в описаних процесах інтенсивно змінюються форми вуглекислоти в таблиці 4.1.

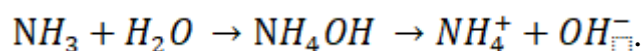
Таблиця 4.1 – Концентрація різних форм вуглекислоти в оборотній воді за перерізами потоку без її обробки, мг/л

Форма CO ₂ у воді за перерізами потоку, мг/л	Переріз потоку води (див. рис. 7.4)					
	I	II	III	IV	V	VI
Карбонатна CO ₃ ²⁻	304	14	19	290	285	–
Гідрокарбонатна HCO ₃ ⁻	582	398	394	184	188	4
Вільна CO ₂	58	40	0	18	58	40
Загальна	944	452	413	492	531	44

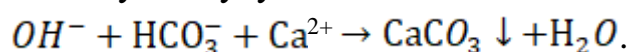
Хімічний процес утворення відкладень на поверхнях системи оборотного водопостачання доменного газоочищення, що омиваються водою, аналогічний до описаного вище процесу в теплоносних системах.

Описаний приклад не є окремим випадком, так само утворюються карбонатні відкладення в системах оборотного водопостачання у тому числі деяких інших виробництв. Однак можуть бути і такі процеси, коли вода набуває кислої реакції і викликає корозію металу і бетону.

Карбонатні відкладення в теплообмінних апаратах, трубопроводах та на градирнях утворюються також у разі прямого контакту охолоджуючої води з аміаком, що потрапляє в охолоджуючу воду через можливі нещільності в теплообмінних апаратах або в апаратах безпосереднього змішування (барометричні конденсатори) на підприємствах азотної промисловості. При цьому аміак NH₃ розчиняється в оборотній воді з утворенням іона амонію NH₄⁺ і гідроксильного іона OH⁻



Потім гідроксильний іон OH⁻ і гідрокарбонатний іон HCO₃⁻ утворюють з іоном кальцію Ca²⁺ карбонатну сполуку



Одночасно можуть відбуватися інші реакції. Карбонатні відкладення, що утворюються при витоках аміаку, дуже щільні і мають однорідну кристалічну структуру.

4.2 Теоретична оцінка стабільності води та практичні рекомендації щодо необхідності її обробки

До числа найбільш суттєвих компонентів, що визначають властивості води, належать сполуки вугільної кислоти, що зустрічаються в тому або іншому вигляді практично в усіх природних водах. Від наявності у воді вуглекислоти та концентрації її форм залежить стабільність води, тобто схильність до утворення карбонатних відкладень або корозії металу в системах водопостачання, особливо при використанні води в обороті як теплоносія (охолоджувача).

Співвідношення між різними формами вуглекислоти залежить при певній температурі води від активності іонів водню (рН розчину) (рис. 4.4).

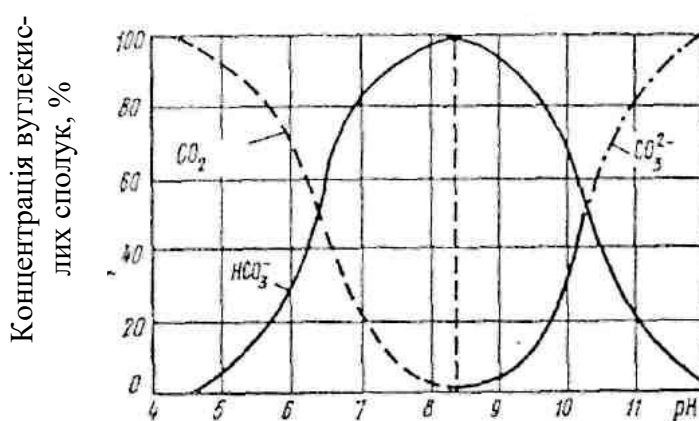


Рисунок 4.4 – Співвідношення різних форм вуглекислоти і рН води при температурі 25 °C

У природних водах вуглекислота може бути у таких формах:

- у вигляді вільної вуглекислоти $\text{CO}_{2\text{вільн.}}$, що перебуває у вигляді розчиненого у воді газу;
- недисоційованих молекул H_2CO_3 ;
- бікарбонатних іонів HCO_3^- ;
- карбонатних іонів CO_3^{2-} .

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.

У системах водяного охолодження теплонавантажених елементів утворюються переважно відкладення карбонату кальцію при втраті вільної вуглекислоти через нагрівання води. Тобто причиною їхнього виникнення є зрушення вуглекислотної рівноваги при підвищенні температури.



При цьому відбувається розкладення бікарбонатних іонів HCO_3^- з утворенням карбонатних CO_3^{2-} , що реагують з іонами Ca^{2+} і створюють малорозчинні сполуки CaCO_3 , що осаджуються на стінках трубопроводів.

Досвід експлуатації охолоджуючих систем свідчить, якщо карбонатна твердість оборотної води не є більшою за 2,5–3 мг-екв/л, відкладення карбонату кальцію не відбувається.

Крім температури на стабільність води впливає її хімічний склад. Причому, якщо температура впливає на рівноважну лужність однозначно (з підвищенням температур рівноважна лужність знижується), то залежність розчиненої лужності від сольового складу носить складний характер:

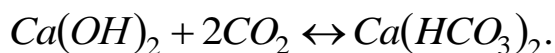
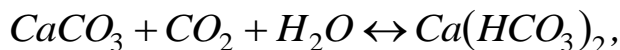
- підвищення у воді концентрації іонів магнію, хлоридів і сульфатів, а також присутність різних органічних добавок збільшує величину рівноважної лужності;
- присутність у воді іонів кальцію знижує її значення.

Стабільність є одним із основних показників якості води.

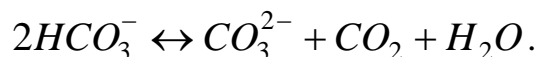
У практиці водопідготовки *стабільною* прийнято називати воду, що при визначеній температурі не здатна виділяти нерозчинні сполуки карбонату кальцію та не є агресивною, тобто не руйнує конструкційні матеріали. Як основна умова такої стабільності є співвідношення між розчиненою у воді вільною вуглекислою та іонами кальцію.

Вуглекислотна рівновага – це рівновага між розчиненою у воді вуглекислою та іонами кальцію.

Вода, що містить надлишок вільної вугільної кислоти над рівноважною, називається *агресивною*. При контакті з бетоном або карбонатними плівками така вода спричиняє розчинення карбонатних складових і вапна за рівняннями:



Вода, що містить надлишок (над рівноважним вмістом) гідрокарбонатів, тобто має підвищену лужність, називається *нестабільною*. Карбонатна рівновага в такій воді зміщується в бік розкладання гідрокарбонатів:



У присутності іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} у нестабільній воді відбувається відкладення малорозчинних карбонату кальцію CaCO_3 і основного карбонату магнію $(\text{MgOH})_2\text{CO}_3$.

Стабільність води може порушуватись через наявність агресивної вугільної кислоти, низького *pH*, пересиченість води карбонатом кальцію або

гідроксидом магнію, підвищеною концентрацією сульфатів або хлоридів, підвищенням температури.

Стабільність води характеризується *показником стабільності* C . Існують два методи визначення цього показника: основний і допоміжний. При визначенні із застосуванням основного методу показник стабільності C_o знаходять за формулою:

$$C_o = \frac{L_{вих}}{L_{нас}}, \quad (4.1)$$

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

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

При визначенні допоміжним методом показник стабільності C_δ знаходять за формулою:

$$C_\delta = \frac{pH_{вих}}{pH_{нас}}, \quad (4.2)$$

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. Унаслідок 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 $C = 1$.

Стабільність води можна оцінити також за значенням індексу стабільності J , або «індексу Ланжельє», розрахованому за рівнянням:

$$J = pH_{вих} - pH_{нас}. \quad (4.3)$$

Величину $pH_{нас}$ розраховують на підставі даних про дисоціацію вугільної кислоти і розчинність карбонату кальцію при певній температурі води $f_1(t)$, концентрацію іонів кальцію $f_2(Ca^{2+})$, лужність $f_3(L)$ і загальний солевміст води $f_4(P)$. Значення функцій від заданих величин визначають за номограмами, наведеними на рисунку 4.5.

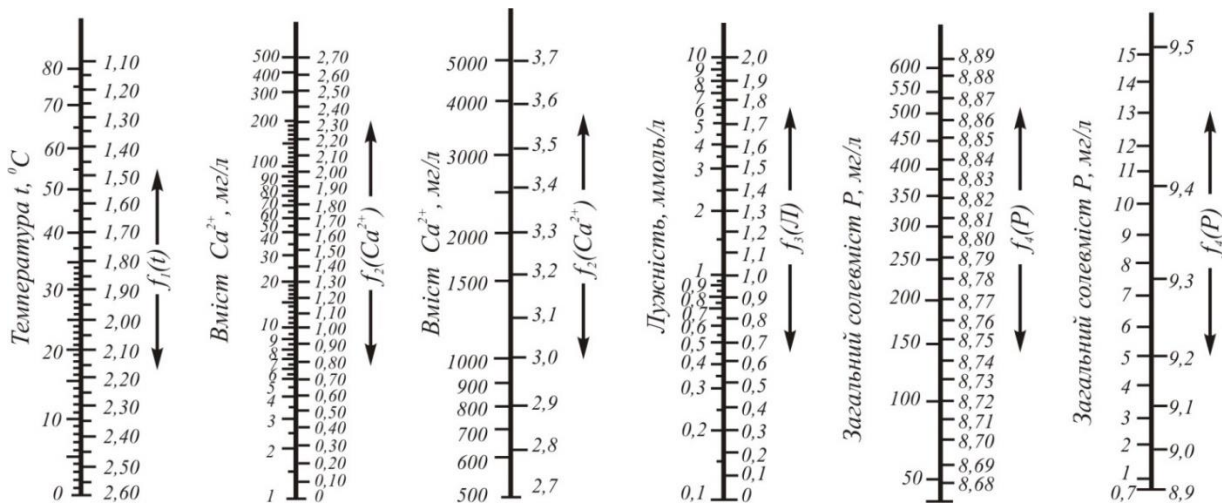


Рисунок 4.5 – Номограма для визначення допоміжних величин індексу насичення води карбонатом кальцію

Значення $pH_{нас}$, що відповідає рівноважному стану системи за цих умов, розраховується за формулою:

$$pH_{нас} = f_1(t) - f_2(Ca^{2+}) - f_3(L) + f_4(P). \quad (4.4)$$

Воду вважають стабільною, якщо індекс стабільності J дорівнює нулю. При $J > 0$ вода схильна до відкладення карбонату кальцію і є нестабільною.

При $J < 0$ вода агресивна щодо бетону і металу, спричинює їхню корозію.

Оцінку стабільності води здійснюють чотири рази на рік – по одному разу на сезон.

Але потрібно також зазначити, що при вказаному вище процесі утворення відкладень є інші шляхи визначення стабільності води. Деякі автори (Кучеренко, Крушель та ін.) вважають, що показником стабільності води є рівноважна лужність.

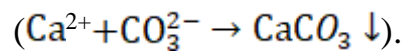
Довгий час для визначення рівноважної лужності води в системах водяного охолодження використовували емпіричну формулу Крушеля. Однак ця формула застосовується в обмеженому інтервалі температур і вона не враховує окремого впливу солей твердості, сульфатів та хлоридів. На підставі дослідів, проведених в інституті «ВНДПчерметенергоочистка», та узагальнення експериментальних даних було встановлено вплив компонентів сольового складу (кальцію, магнію, сульфатів, хлоридів) на рівноважну лужність води і виведено формулу для визначення величини рівноважної лужності.

Розроблена в інституті «ВНДПчерметенергоочистка» методика визначення величини рівноважної лужності дає можливість оцінити

стабільність води в системах водяного охолодження за різницею між реальною лужністю L_p і рівноважною лужністю L . При цьому, якщо різниця $(L_p - L) < 0$, вода характеризується схильністю до корозії, якщо ця різниця дорівнює 0, вода стабільна, а при $(L_p - L) > 0$ вода схильна до утворення відкладень. Кількісна оцінка величини рівноважної лужності забезпечує правильний вибір методу стабілізаційної обробки води.

Як вже було сказано, у річковій, підземній, оборотній та стічній воді кожній концентрації іонів HCO_3^- та Ca^{2+} відповідає певна концентрація розчиненої CO_2 , яка залежить від констант рівноваги першої K_1 та другої K_2 ступенів дисоціації вугільної кислоти, а також від константи добутку активностей (CaCO_3). Ця величина розчиненої CO_2 називається «рівноважною» вуглекислотою.

При нестачі CO_2 порівняно з рівноважною концентрацією існуватиме тенденція до розпаду частини бікарбонатних іонів ($2\text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$), що призведе до додаткового утворення карбонатних іонів та виділення з розчину осаду у вигляді карбонату кальцію за рівнянням



Якщо вміст у воді вільної вуглекислоти збігається з необхідною рівноважною концентрацією, то з води не виділяється осад карбонату кальцію і вона буде стабільною. Надлишок CO_2 у воді може розчинити CaCO_3 , як це видно з рівняння ($\text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$).

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

Отже, для теоретичної оцінки стабільності води застосовується метод В.Ф. Ланжелє, яким встановлюється ступінь відхилення досліджуваної води від рівноважного стану за величиною концентрації водневих іонів – дійсної величині pH і обчисленої pH_v за даними хімічного аналізу (концентрації солей або сухого залишку P , лужності L і вмісту кальцію Ca^{2+}) при температурі, з якої вона використовуватиметься: при $\text{pH} = \text{pH}_v$ – вода стабільна; при $\text{pH} > \text{pH}_v$ – вода некорозійна; при $\text{pH} < \text{pH}_v$ – вода корозійна.

Цей метод може бути лише якісним показником «схильності» природної води до того чи іншого процесу, оскільки співвідношенням pH і pH_v визначаються не всі властивості води щодо відкладень або корозії металів і бетону, а лише ті, які залежать від наявності у воді вуглекислоти при використанні цієї води у системах прямої або з повторним

використанням (без проміжного охолодження). Для систем оборотного водопостачання цей метод не застосовується; не придатний він тим більше і при використанні стічних вод, оскільки за сучасними поглядами загальна лужність води визначається більш широким спектром компонентів.

Метод аналізу, заснований на безпосередньому випробуванні води, дає точніші результати, ніж розрахунковий. Однак і він для оборотних та стічних вод недостатньо надійний.

Деякими джерелами рекомендується оцінку ймовірності утворення відкладень у системі оборотного водопостачання без застосування обробки води проводити за величиною допустимої граничної лужності оборотної води $L_{об.доп.}$, що обчислюється виходячи тільки з концентрації розчинених солей в оборотній воді P , вмісту CO_2 і Ca^{2+} у додатковій воді та температури води $t_{охол.}$

При цьому за загальною лужністю природної води L_0 обчислюють лужність оборотної води $L_{об.}$, яка повинна встановлюватися в певній системі за умови, що не буде розпаду бікарбонатів. При $L_{об.} \leq L_{об.доп.}$ обробка води не потрібна, при $L_{об.} > L_{об.доп.}$ потрібно застосувати обробку охолоджуючої води для запобігання карбонатним відкладенням.

Цей метод виявився непридатним ні для оборотних, ні для природних вод.

Практичні поради. Необхідність обробки води для запобігання утворенню карбонатних відкладень у проектах систем оборотного водопостачання слід встановлювати на основі досвіду експлуатації аналогічних систем на воді даного джерела водопостачання або попередніх досліджень на моделі системи оборотного водопостачання з урахуванням конкретних умов.

За відсутності досвіду експлуатації та даних експериментальних досліджень обробку охолоджуючої води слід передбачати при заповненні систем водою: з підземних джерел за її карбонатної твердості (лужності) понад 1,5 мг-екв/л; з поверхневих джерел – річок та водосховищ середньої смуги або очищеними стічними водами – понад 2,5 мг-екв/л; з річок та водосховищ північних районів, а також гірничо-льодовиковим живленням – понад 3,5 мг-екв/л. При карбонатній твердості додаткової води, яка менша від зазначених значень, можна передбачати тільки освіження оборотної води (продування системи) шляхом безперервного скидання частини її та заміни водою з джерела з використанням продувних вод у циклах, що не висувають особливих вимог до якості води.

4.3 Методи запобігання утворенню карбонатних відкладень

Як показує досвід експлуатації, при роботі систем водопостачання в газоочисних апаратах і трубопроводах відбувається інтенсивне утворення щільних сольових відкладень. Це викликає серйозні ускладнення в роботі доменних печей, кисневих конверторів, агломераційних машин та інших металургійних агрегатів. Для вирішення цієї проблеми немаловажне значення має розробка і впровадження високоефективних засобів стабілізаційної обробки води з метою скорочення або повного виключення продувок з оборотних циклів, ліквідації відкладень солей твердості й запобігання корозії в газоочисних апаратах, водоохолоджуючих елементах і трубопроводах.

Особливо актуальна проблема запобігання карбонатним відкладенням при роботі газоочисток киснево-конверторних цехів (ККЦ). Слід також зазначити, що процес утворення відкладень карбонату кальцію в системах водопостачання різний і залежить від хімічного складу води та особливостей системи. Так, для конверторних газоочисток показником стабільності води є величина її гідратної лужності. У системах водопостачання газоочисток конверторів і аглофабрик «заростання» апаратів газоочисток відбувається внаслідок взаємодії насиченої вапном води з кислими складовими газів (CO_2 , SO_2).

Процес утворення карбонатних відкладень у системах оборотного водопостачання газоочисток конверторних цехів протікає в дві стадії:

1. При виплавці сталі значна кількість вапна (CaO) у вигляді пилу виноситься в трубопровід, що відводить газ. У процесі мокрої очистки газів, що утворюються від конверторів, цей пил уловлюється та взаємодіє з утворенням гідроксиду кальцію.

2. При повторному використанні води, що містить гідратну лужність, у результаті реакції з вуглекислим газом утворюється карбонат кальцію, що осаджується на внутрішній поверхні апаратів газоочисток у вигляді щільних сольових відкладень.

Тому деякі відомі методи запобігання щільним сольовим відкладенням, що застосовують у практиці водопостачання (підкислення, карбонізація) неприйнятні в системах водопостачання газоочисток конверторних цехів унаслідок низької ефективності і великих витрат реагентів.

Більш ефективним для подібних систем оборотного водопостачання є метод обмеження розчинення вапна, що потрапляє у воду, і зниження гідратної лужності стічних вод. ГП УкрДНТЦ «Енергосталь» запропоновано два типи

реагентів для здійснення цього методу — силікатний реагент (рідке скло) і фосфоровмісний реагент (триполіфосфат натрію).

Отже, для систем оборотного водопостачання газоочистки конверторних цехів вибір методу стабілізаційної обробки залежить від величини гідратної лужності й температури води.

При величині гідратної лужності, більшій за 5 мг-екв/л, і температурі оборотної води, нижчій за 35 °С, найбільш ефективним способом запобігання щільним сольовим відкладенням є обробка силікатним реагентом. При обробці води силікатним реагентом інтенсивність відкладень карбонату кальцію знижується на 99 %. Підвищення температури води знижує ефективність силікатного реагенту.

Силікатний реагент – це склоподібний продукт, що утворюється з лужних силікатів. Склад силікатного реагенту виражається формулою $R_2O \cdot nSiO_2$, де R_2O – лужні оксиди.

Рідке скло володіє високою реакційною здатністю, зокрема, рідке скло реагує з вуглекислим газом. При пропусканні вуглекислого газу через рідке скло відбувається його желатинізація в результаті розкладання силікату натрію з утворенням кремнегелю.

Висока реакційна здатність, різноманітність продуктів реакції і сорбційні властивості рідкого скла є передумовою використання реагенту для запобігання відкладенням і обмеження розчинення вапна в системах водопостачання газоочисток з високим винесенням вапняного пилу.

При обробці води оптимальними дозами рідкого скла (50 мг/л) гідратна лужність оборотної води знижується з 20–25 мг-екв/л до 0,5–1 мг-екв/л.

Рідке скло володіє сорбційною здатністю по відношенню до вуглекислого газу, активує вуглекислий газ і підвищує його реакційну здатність. У результаті частинки вапна покриваються плівкою нерозчинного карбонату кальцію, а вапно, що частково розчинилося, перетворюється на розчинний бікарбонат кальцію.

Попередня обробка води перед газоочисткою рідким склом у період випробувань дозволила обмежити розчинення вапна і перевести газоочистку на оборотне водопостачання.

Для забезпечення працездатності реагентної обробки необхідне виконання таких умов:

- температура води, що потрапляє на газоочистку, не повинна перевищувати 35 °С;

- неприпустиме надходження лужних вод з апаратів для згущування шламової пульпи та обезводнення осаду (переливів згущувача, переливів вакуум-фільтрів, фільтрату освітленої води, що потрапляє на газоочистку).

Для зручності дозування рідке скло, що є розчином силікату натрію із вмістом SiO_2 до 30 %, розбавляють до концентрації SiO_2 у межах 2–5 %.

У системах водопостачання, коли оборотна вода містить гідратну лужність (аглофабрики, розливальні машини), карбонатні відкладення утворюються на ділянках підживлення технічною водою в результаті взаємодії солей постійної і тимчасової твердості. Подібне явище має місце також при змішуванні стічних вод доменних і конверторних газоочисток. Для боротьби з відкладеннями доцільно застосовувати технологічні заходи, що забезпечують необхідний для «старіння» кристалів карбонату кальцію час. Одним з таких заходів, що забезпечать стабільність води у цьому випадку, є змішування стічних вод перед очисними спорудами.

Необхідність обробки води для запобігання карбонатним відкладенням визначається лужністю свіжої води, що додається (підживлюючої) і коефіцієнтом випаровування оборотної води K_K , при умові, якщо

$$L_n \cdot K_K \geq 3, \quad (4.5)$$

де L_n – лужність свіжої (підживлюючої) води, мг-екв/л

K_K – коефіцієнт концентрування добре розчинних солей оборотної води.

При невеликій лужності підживлюючої води безнакипна робота теплообмінної апаратури може бути забезпечена шляхом продувки оборотного водопостачання. У цих випадках величина продувки у відсотках від витрати оборотної води буде дорівнювати:

$$P_3 = \frac{Ж_{\text{доод}} \cdot P_1}{Ж_{\text{об}} - Ж_{\text{доод}}} - P_2, \quad (4.6)$$

де $Ж_{\text{доод}}$ – карбонатна твердість додаткової води, мг-екв/л;

$Ж_{\text{об}}$ – гранична твердість оборотної води, мг-екв/л.

Концентрація солей оборотної води зростає дуже швидко, але потім з підвищенням концентрації зростає також кількість солей, що виводиться за рахунок бризковиносу та продувки, але у той самий час з додатковою водою в систему постійно надходить однакова кількість солей. Таким чином, процес зростання концентрації солей сповільнюється.

Гранична концентрація солей залежить від P_1 , P_2 та P_3 .

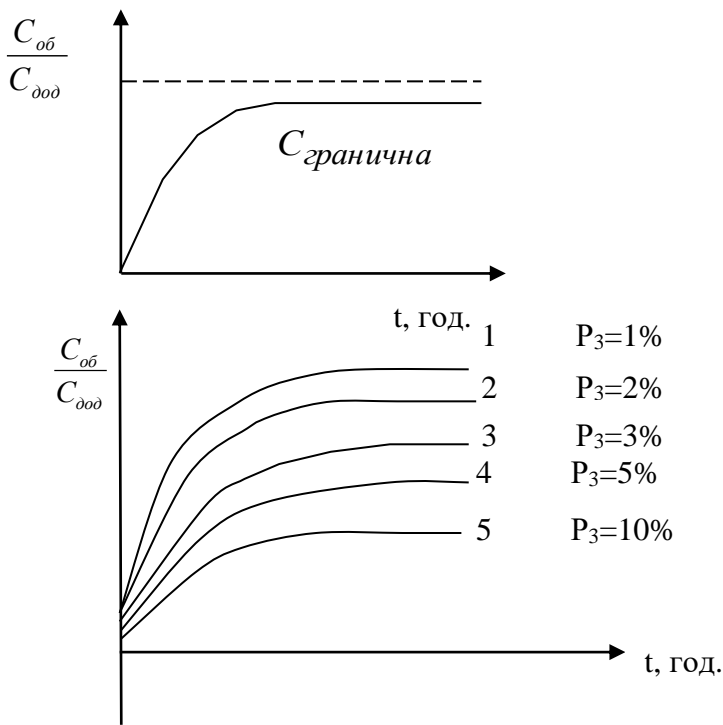


Рисунок 4.6 – Криві зміни концентрації солей, що не випадають в осад при різних значеннях продувки

Величина P_1 і P_2 залежить від перепаду температур в охолоджувачі та його конструкції. В умовах кожної конкретної системи зміна цих величин незначна. Таким чином, змінювання граничної концентрації солей оборотної води може бути досягнуто зміною величини продувки P_3 .

З аналізу кривих зміни концентрації солей, що не випадають в осад при різних значеннях продувки (рис. 4.6), видно, що гранична концентрація солей твердості при режимі, який установився, буде зменшуватися при збільшенні величин продувки. Гранична величина коефіцієнта концентрування досягається при режимі, що остаточно встановився.

$$K_k = \frac{C_{об}}{C_n} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3}, \quad (4.7)$$

де P_1 і P_2 – безповоротні втрати оборотної води при охолодженні на випаровування і винесення вітром, %; P_3 – величина продувки, %.

Продувка системи ефективна тільки в тому випадку, якщо карбонатна твердість доданої води значно нижча за карбонатну твердість води в системі. Інакше потрібна настільки велика витрата підживлюючої води, що додавання її буде просто неекономічне, і тому вигідніше буде застосовувати хімічну обробку води. Додаткова вода обов'язково повинна очищуватися від зависі та часток біологічного походження, що також можуть відкладатися в теплообмінниках і погіршувати їхній стан.

При завищеній лужності підживлюючої води найбільш поширеними методами реагентної обробки води є підкислення, фосфатування, рекарбонізація.

У низці випадків для обробки виробничих стічних вод, наприклад, металургійних заводів, можуть бути застосовані відходи виробництва. Для запобігання випадінню карбонатних відкладень у системі оборотного водопостачання установки очистки доменного газу застосовують обробку води вуглекислотою, що міститься у димових газах. У результаті такої обробки (рекарбонізації) у газоочисних апаратах, трубопроводах, насосах і градирнях інтенсивних карбонатних відкладень не спостерігається.

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 оснований на додаванні в оборотну або підживлюючу воду реагентів) і *безреагентні (фізичні)*.

До першої групи слід віднести регулювання продувки, підкислення, рекарбонізацію, реагентне і 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 вод, що використовують, і місцевих умов (конструкції теплообмінних апаратів, температури продукту, що охолоджують, ступеня нагріву охолоджуючої води та швидкості її руху в апаратах, типу охолоджувача оборотної води тощо).

Отже, боротьбу з відкладеннями карбонату кальцію в теплообмінних апаратах та трубопроводах систем оборотного водопостачання можна вести такими способами:

- 1) безперервним додаванням до системи оборотного водопостачання води з меншою карбонатною жорсткістю при скиданні частини відпрацьованої (оборотної) води із системи (продувкою);
- 2) підкислення;
- 3) додаванням в оборотну воду речовин, що гальмують процес кристалізації карбонату кальцію (фосфатування);
- 4) спільною обробкою води підкисленням та фосфатуванням;

5) відшкодуванням втрат рівноважної вуглекислоти у системі оборотного водопостачання шляхом добавки у воду вуглекислоти димових газів (рекарбонізація);

б) пом'якшенням додаткової води вапном з освітленням, натрій-катионуванням або водень-катионуванням з «голодною» регенерацією.

Крім того, проходить виробничі випробування обробка оборотної води магнітним полем, є відомості про випробування обробки оборотної води ультразвуком.

Вибір того чи іншого способу обробки води визначається головним чином якістю води та умовами охолоджуючої води в системах оборотного водопостачання при нагріванні її до 40–60 °С та охолодженні на градирнях або в бризкальних басейнах. Залежно від величини карбонатної твердості води (не забрудненої поверхнево-активними речовинами), спосіб обробки можна приймати за таблицею 4.2, складеною на підставі численних досліджень на моделі та практики експлуатації.

Таблиця 4.2 – Методи обробки охолоджуючої води (орієнтовно) для запобігання утворенню карбонатних відкладень у системах оборотного водопостачання при нагріванні води до 40–65 °С та охолодженні на градирнях або в бризкальних басейнах

Карбонатна твердість (лужність) природної води, мг-екв/л		Методи обробки води	Умова
річки, водосховища середньої смуги	підземні джерела		
1	2	3	4
<2,5	< 1,5	Освіження оборотної води (продування системи)	
2,5–4	1,5–3	Підкислення додаткової води. Допустимо фосфатування додаткової нової оборотної води при обов'язковому хлоруванні останньої. Можлива і рекарбонізація оборотної води	за наявності димових газів, що містять CO ₂ , та невисокого концентрування (упарювання)

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4
2,5–5	1,5–5	Підкислення додаткової води	за умови обмеження концентрації SO_4^{2-}
		Рекарбонізація оборотної води	при наявності димових газів та невисокому концентруванні
4–6	3–5	Підкислення додаткової води та фосфатування оборотної води (спільна обробка)	-
>4–5	–	пом'якшення додаткової води вапном з освітленням	якщо вода і без того потребує освітлення
	4–5	пом'якшення частини або всієї додаткової води Na- або H-катионуванням з «голодною» регенерацією	Якщо вода не потребує попереднього освітлення

Для води річок та водосховищ північних районів, а також з льодовиковим типом живлення вказану в таблиці карбонатну твердість (лужність) потрібно підвищити на 1 мг-екв/л.

При нагріванні води у виробництві нижче 40 °С з температурним перепадом $\Delta t \leq 5^0$, рекомендована в таблиці величина карбонатної твердості може бути збільшена на 0,5–1 мг-екв/л.

При підкисленні додаткової води необхідно зважати на те, щоб у оборотній воді вміст іонів Cl^- і SO_4^{2-} був не більшим за 350–600 мг/л, а загальна лужність ($HCO_3^- + CO_3^{2-}$) цієї води була не меншою за 2 мг-екв/л, щоб уникнути розвитку корозійних процесів (на зниження карбонатної твердості води на 1 мг-екв/л витрачається 49 мг/л 100 %-вої сірчаної кислоти, при цьому у воду надходять іони SO_4^{2-} на кількості 48 мг/л).

Найбільш надійним буде дослідження термостабільності кожної води, а також методів її обробки з урахуванням конкретних умов.

4.4 Дослідження термостабільності води та ефективності методів запобігання утворенню карбонатних відкладень

Термостабільність води та ефективність її обробки тим чи іншим методом для запобігання утворенню карбонатних відкладень досліджуються в натурних умовах та на моделі. У тому та іншому випадку критерієм можуть бути зміни якості води за коефіцієнтами концентрування окремих іонів або їх суми (загальний вміст солі) і величина швидкості відкладення карбонатів.

Коефіцієнт концентрування. У відкритій системі оборотного водопостачання (з охолоджувачем) відбуваються втрати води, що викликаються випаром частини її в охолоджувачі та винесенням дрібних крапель повітрям, що виходить із охолоджувача (градирні, бризкального басейну). Випаровуванням втрачається в середньому близько 0,15 % води, що охолоджується, при зниженні її температури на 1°, виноситься повітрям в градирнях 0,2–0,3 % охолоджуваної води. В апаратах прямого контакту (барометричні або струменеві конденсатори, труби Вентурі та скрубера для очищення газів) вода додатково втрачається у вигляді пари через димову трубу в атмосферу; в інших випадках водяна пара, що конденсується, служить прихованою добавкою води в систему. Вважається, що розчинені солі води, що випарувалася (повністю або частково), залишаються в оборотній воді, підвищуючи їх концентрацію. Усі втрати води в охолоджуючій системі оборотного водопостачання компенсуються додаванням води із джерела. Крім того, зазвичай оборотна вода освіжається продуванням, що знижує загальний вміст солі і концентрацію окремих іонів. У результаті впливу всіх цих факторів іноді досягається свого роду рівновага, при якій концентрації, які встановлюються, залежать від співвідношення між кількістю води, що надходить і видаляється, та розчинених речовин.

Ступінь підвищення концентрації розчинених речовин (нелетких і які не утворюють осад) називають коефіцієнтом концентрування або коефіцієнтом упарювання. Чисельне значення цього коефіцієнта може бути таким:

а) за упарюванням води

$$K_B = \frac{W_{\text{вип}} + W_{\text{ун}} + W_{\text{скид}}}{W_{\text{ун}} + W_{\text{скид}}} = \frac{W_{\text{дод}}}{W_{\text{дод}} - W_{\text{вип}}}; \quad (4.8)$$

б) за концентруванням солей

$$K_P = P_{\text{об}} : P_{\text{дод}} \text{ или } K_{Cl} = Cl_{\text{об}}^- : Cl_{\text{дод}}^-, \quad (4.9)$$

де $W_{\text{вип}}$ – втрати води із системи на випаровування;

$W_{\text{ун}}$ – втрати води із системи винесенням;

$W_{\text{скид}}$ – скидання води із системи для освіження (продування);

$P_{об}$, $P_{дод}$ – концентрація розчинених в оборотній та додатковій воді солей;
 $Cl_{об}^-$, $Cl_{дод}^-$ – те саме хлоридного іона.

У практиці для контролю в системах оборотного водопостачання зазвичай використовується коефіцієнт концентрування хлоридного іона (за умови, що вода не хлорується) $K_{Cl} = Cl_{об}^- : Cl_{дод}^-$, величина якого порівнюється з коефіцієнтами концентрування карбонатної твердості $K_{ж.к} = Ж_{к.об} : Ж_{к.дод}$, кальцію $K_{Ca} = Ca_{об}^{2+} : Ca_{дод}^{2+}$ або інших іонів. При хлоруванні води замість хлоридного іона Cl^- концентрування контролюється по іону магнію Mg^{2+} .

У діючих охолоджуючих системах оборотного водопостачання з градирнями коефіцієнт концентрації може змінюватися в широких межах, але в багатьох випадках він становить влітку 2 і взимку 1,5. Зі збільшенням кількості води, що скидається (і додається в систему), коефіцієнт концентрування падає, одночасно знижується і коефіцієнт використання води.

Порівнюючи величини коефіцієнтів концентрування хлоридного іона, карбонатної твердості або інших речовин, отримані щодо води та обчислені за даними аналітичного визначення, можна отримати уявлення про надходження нових речовин і про випадання їх в осад (відкладення), тобто про термостабільність води.

Як приклад на рисунку 4.8 показано результати дослідження зміни якості води у системі оборотного водопостачання піролізу газу на одному з хімічних комбінатів.

Продукт – підсмольна вода – оборотною водою в зрошувальному холодильнику. У систему додавали таку кількість води, яка лише компенсувала її втрати на випаровування та винесення (без скидання)

Коефіцієнти концентрації спочатку дорівнювали $K_{Cl} = Cl_{об}^- : Cl_{дод}^- = 85:41 \approx 2$ і $K_{ж.к} = Ж_{к.об} : Ж_{к.дод} = 3,6:1,8 = 2$; потім встановилася їхня нерівність $K_{Cl} > K_{ж.к}$. Вода була нетермостабільною, при цьому на поверхні труб зрошувального холодильника, що омивається охолоджуючою водою, спостерігалось інтенсивне утворення карбонатних відкладень, які за період роботи між ремонтами (11,5 міс.) досягали 10–15 мм.

Цей метод контролю не застосовується при прямому контакті води з продуктом, а також при хлоруванні оборотної води.

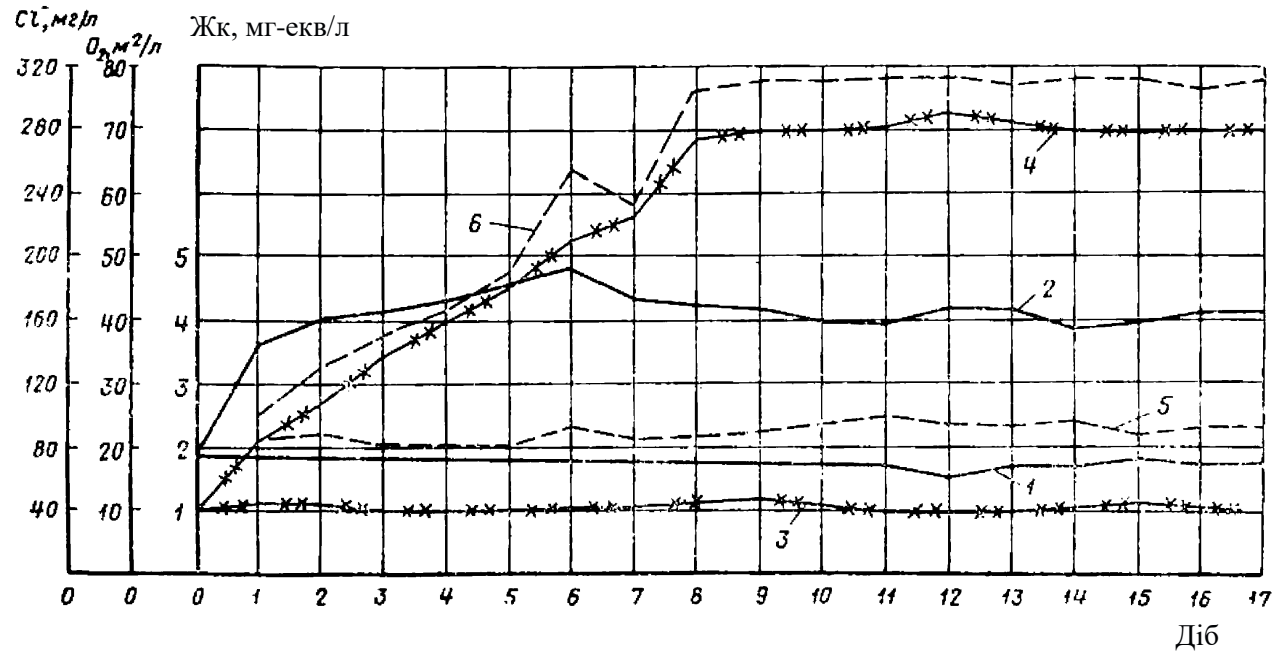


Рисунок 4.8 – Зміна якості оборотної води у циклі водопостачання піролізу газу у часі:

1, 2 – карбонатна твердість $Ж_K$ відповідно до додаткової та оборотної води; 3, 4 – концентрація $CГ$ у додатковій та оборотній воді; 5, 6 – окислюваність (перманганатна) додаткової та оборотної води

Швидкість відкладень. Дані хімічного аналізу води та величина коефіцієнта концентрування не дають ще уявлення про її термостабільність. Доцільно вести контроль за швидкістю відкладень. Зважаючи на труднощі його здійснення безпосередньо на теплопередаючій поверхні для практичних цілей доводиться обмежуватися встановленням відносної швидкості відкладення на індикаторних пластинках (скляних або сталевих «уловлювачів»).

За різницею у вазі пластинок (за умови, що одночасно не відбувається корозії металу), що експонуються в досліджуваній воді (з відкладеннями і без них) і висушених протягом 48 год, визначається загальна швидкість відкладень. Після хімічного аналізу цих відкладень та визначення вмісту в них кальцію обчислюється швидкість власне карбонатних відкладень.

Швидкість відкладень буде:

Вагова

$$C_0 = \frac{M_2 - M_1}{F \cdot T} \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}; \quad (4.10)$$

Лінійна

$$h_0 = 0.73 \frac{C_0}{\rho_0}, \text{ мм місяць}. \quad (4.11)$$

де M_1 і M_2 вага пластинки до та після експозиції (з відкладеннями) в г;

F – площа поверхні пластинки (з усіх боків) м^2 ;

T – тривалість експозиції пластинки в год;

0,73 – коефіцієнт перерахунку;

ρ_0 – щільність (об'ємна вага) карбонатного відкладення в г/см^3 .

За відсутності даних дослідження можна приймати ρ_0 рівним (г/см^3): для пухких карбонатних відкладень з біологічними обростаннями 1,4–2,55 (середнє 1,5), для щільних карбонатних відкладень 2,12–2,54 (середнє 2,28), для залізистих карбонатних відкладень 3.

Результати обчислень заносяться до журналу, потім знаходиться середнє значення швидкості відкладень C_0 і h_0 для всіх пластинок. Порівняння одержаних результатів зі швидкістю відкладень, наведених у таблиці 4.3 (складена з численних дослідів), дозволяє віднести досліджувану воду до тієї чи іншої групи термостабільності та вирішити питання про доцільність освіження оборотної води або її обробки тим чи іншим методом.

Таблиця 4.3 – Шкала термостабільності охолоджуючої води

Група термостабільності води	Швидкість карбонатних відкладень		Бал термостабільності води
	в г/м ³ ·год	в мм/місяць	
Абсолютно термостабільна (можливо корозійна)	0	0	1
Термостабільна	<0,1	<0,033	2
	0,1–0,25	0,033–0,08	3
Обмежено термостабільна	0,25–0,5	0,08–0,16	4
	0,5–1	0,16–0,33	5
Не термостабільна	1	>0,33	6

При дослідженні швидкості відкладень у натурних умовах індикаторні платівки, зібрані в касету, встановлюються в потік води за теплообмінним апаратом (наприкінці або в трубопроводі). При дослідженні моделі пластинки встановлюються у закритій спеціальній касеті (рис. 4.8).

Принципи моделювання процесів та схеми дослідних установок. Сумарна інтенсивність процесу утворення карбонатних відкладень залежить від процесу розпаду іона HCO_3^- з утворенням іона CO_3^{2-} та швидкості перенесення та кристалізації карбонату кальцію $\text{CO}_3^{2-} + \text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{CaCO}_3$ з відкладенням його на поверхні, що омивається. Утворення, перенесення і кристалізація CaCO_3 на стінках теплообмінних апаратів і трубопроводів, що омиваються водою, протікають у результаті теплообміну рідини з навколишнім середовищем і дифузії, тому при моделюванні особливого значення набуває гідродинамічна, теплова і дифузійна подоба моделі та виробничого апарату.

Одне з основних положень теорії подібності полягає в тому, що фізичні процеси подібні один до одного, якщо однойменні критерії подібності мають однакову величину. При дослідженні процесу утворення карбонатних відкладень та методів боротьби з ними на експериментальних установках необхідною умовою є дотримання постійних критеріїв подібності: гідродинамічних (Рейнольдса та Грасгоффа), теплових (Пекле, Нуссельта та Стантона) і дифузійних (Шмідта, Нуссельта та Стантона). У всіх дослідах, що проводяться на експериментальній лабораторній або напівзаводській установках, сталість зазначених критеріїв подібності повинна забезпечуватися рівністю витрати та швидкості води в геометрично однакових, паралельно працюючих (дослідній та контрольній) системах.

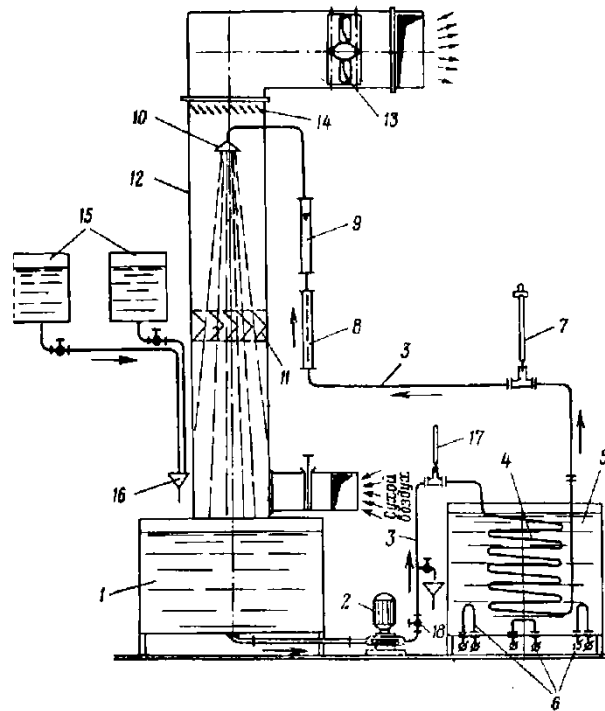


Рисунок 4.8 – Схема моделі закритої установки для дослідження термостабільності води та методів запобігання утворенню карбонатних відкладень:

- 1 – бак із оборотною водою; 2 – насос; 3 – шланги; 4 – змійовик; 5 – бак із водою; 6 – електрокип'ятильники (їх може бути два або чотири); 7 – контактний термометр; 8 – касета з індикаторними пластинами; 9 – вимірювач витрати води; 10 – сітчастий розбризкувач води; 11 – крапельно-плівковий зрошувач з органічного скла; вбудований у градирню; 12 – градирня закритого типу з листів органічного скла з герметичними швами розміром у плані 200 мм × 20 мм або більшими, висотою 2 000 мм; 13 – вентилятор, розташований на вертикальній або горизонтальній ділянці; 14 – водоуловлювач, що є однорядним жалюзі з пластин органічного скла або дерева; 15 – бачки для додаткової води та розчину реагенту (за необхідності); 16 – дозатор; 17 – термометр; 18 – вентиль

Досі ще не вдалося створити дослідну установку системи оборотного водопостачання, що суворо відповідає всім перерахованим вимогам.

Схеми дослідних установок, що застосовуються для вивчення термостабільності води та відносної швидкості карбонатних відкладень, а також для дослідження ефективності того чи іншого методу обробки води з метою запобігання утворенню карбонатних відкладень, можна розрізнити за типом нагрівача та охолоджувача оборотної води.

Нагрівач води, що досліджується, може бути невогневим або вогневим. Невогневий нагрівач – це гаряча вода або пара, що надходять від постійного джерела, а також гаряча вода, що готується за допомогою електронагрівача, вбудованого в загальну конструкцію теплообмінника. Вогневе нагрівання здійснюється в горні або іншому пристрої.

Охолоджувач досліджуваної води може бути відкритого або закритого типу. Відкритий охолоджувач являє собою подібність бризкального басейну або плівковий зрошувач градирні, закритий охолоджувач – модель градирні з бризкальним або крапельним зрошувачем.

У всіх типах моделей для трубок діаметром, однаковим з натуральним, дотримується швидкість руху води в теплообміннику, аналогічна швидкості руху охолоджувальної води у виробничих технологічних апаратах. Ступінь нагрівання досліджуваної води в теплообміннику і наступного охолодження її має відповідати виробничим умовам.

Схеми перших лабораторних установок описані у літературі. У перших установках оборотна вода нагрівалася до 40–60 °С та охолоджувалася до 25–30 °С.

Для дослідження термостабільності води та методів її обробки з метою запобігання утворенню карбонатних відкладень при нагріванні до 95 °С та охолодженні до 30 °С створено закриту установку, показану на рисунку 4.8. Тут є бак з оборотною водою (1), насос СЦВ (2) (досить надійний у роботі), шланги (3), змієвик (4), занурений у бак з водою (5), що нагрівається електрокип'ятильниками (6) (їх може бути два або чотири), контактний термометр (7), касета (8) з індикаторними пластинками, вимірник витрати води (9), сітчастий розбризкувач води (10) і крапельно-плівковий зрошувач з органічного скла (11), вбудовані в градирню.

Градирня (12) закритого типу з листів органічного скла з герметичними швами розміром 200 x 200 мм або великими, висотою 2 000 мм. Рух повітря у градирні створюється вентилятором (13), розташованим на вертикальній або горизонтальній ділянці; над розбризкувачем встановлений водоуловлювач (14), що становить однорядне жалюзі з пластин органічного скла або дерева. Сухе повітря в градирню надходить знизу.

Додаткова вода і розчин реагенту (за необхідності) заготовляються в бачках (15) і додаються в оборотну воду через дозатор (16). Контроль за температурою води, що досліджується, здійснюється за допомогою термометрів (7) і (17). Витрата води регулюється за показаннями ротаметра (9) вентилем (18).

Число електричних елементів дорівнює числу електронагрівачів; включення в роботу може бути індивідуальне, парне чи загальне. Касета включає індикаторні пластинки зі сталі розміром 30 x 10 x 2 мм або інші, за допомогою яких контролюється швидкість виділення карбонатних відкладень з досліджуваної води в процесі досліду. Пластинки збираються на нитки і підвішуються в касеті-трубці, якою протікає досліджувана вода.

Для нагрівання проміжної води замість електрики, як зазначено на рисунку 47, може бути застосований пар, що пропускається через інший змійовик, або гаряча вода в закритому баку.

Місткість системи (бака під градирнею) у всіх описаних вище моделях приймається такою, щоб об'єм води в ній без додавання був достатнім на втрати випаровуванням та винесенням (останні зазвичай мізерно малі) при проведенні 60–70 циклів обороту досліджуваної води та на відбір проб для хімічного аналізу її через кожні 5–10 циклів; при цьому в баку має залишатися води ще приблизно 20 % його обсягу. Втрати води на випаровування при охолодженні її на 1 °С можна вважати 0,15 % від витрати, яка для зручності проведення досвіду та розрахунку режиму приймається приблизно 80–100 л/год.

На відбір проб визначення контрольованих показників якості води витрачається щоразу близько 0,35 л. Таким чином, при температурному перепаді досліджуваної води $\Delta t = t_2 - t_1 = 10$ °С можна вважати достатньою ємність бака, що дорівнює 20 л, при $\Delta t = 20$ °С – близько 30 л і при $\Delta t = 40$ °С – близько 60 л.

Діаметр труб змійникового нагрівача досліджуваної води підбирається за швидкістю води в них. Ця швидкість повинна бути рівною швидкості охолоджувальної води в трубах виробничого теплообмінного апарату, тобто від 0,2 м/с до 0,5 м/с. Для витрат досліджуваної води моделі від 80 л/год до 100 л/год і швидкості від 0,2 м/с до 0,5 м/с діаметр труб змійовика і шлангів буде близько 10–12 мм.

Витрати води, що подається насосом, легко регулюються вентилем. При цьому попередньо об'ємним способом має бути протарований показник витрати води – ротаметр.

Перед початком дослідів потрібно підготувати індикаторні пластинки: нарубати їх із смугової або листової вуглецевої сталі, поверхню з усіх боків обробити та відшліфувати наждачним папером, поставити номер (цифри), промити в дистильованій воді, просушити та протерти спиртом, потім зважити кожен на аналітичних вагах з точністю до четвертого знаку.

Контроль пластинок здійснюється при постійній витраті води в моделі та постійній концентрації хлоридного або магнієвого іона.

Підготовлена модель у зборі перед початком досліду повинна бути добре промита водою, що досліджується, без підігріву. Після кожного досліду модель також потрібно промивати 5 %-им розчином інгібованої соляної кислоти і потім досліджуваної ненагрітою водою.

Дослідження на моделі режимів використання води та методів її обробки. Оцінка результатів. Після того як створено ту чи іншу модель системи оборотного водопостачання та відповідним чином підготовлено до дослідів, на ній проводяться дослідження властивостей води та, у разі необхідності, ефективності методів запобігання утворенню карбонатних відкладень. При цьому спочатку встановлюється температура нагріву води та її охолодження: вода нагрівається в моделі до температури, що відповідає температурі нагрівання її у виробничих теплообмінних апаратах (35–40 °С або більше), і охолоджується зазвичай до 25–30 °С, потім система заповнюється досліджуваною водою (необробленою або обробленою).

Можуть випробовуватись такі режими використання води в системі оборотного водопостачання:

1) без додавання води до системи з концентруванням у ній розчинених солей (упарювання);

2) з додаванням необробленої води в систему у кількості, що компенсує втрати її на випаровування та винесення;

3) з додаванням необробленої води в систему в кількості, що компенсує втрати її на випаровування та забезпечення освіження (продування) у розмірі 1 %, 2 %, 3 % і 5 % від витрати досліджуваної води на моделі. Скидання води із системи понад 5 % від її витрати проводити зазвичай доцільно у зв'язку із зменшенням коефіцієнта її використання;

4) з додаванням у систему води, обробленої гексаметафосфатом натрію або триполіфосфатом натрію в кількості, що компенсує втрати її на випаровування і винесення і забезпечує освіження (продування) у розмірі 1,5–3 % від витрати досліджуваної води на моделі. Доза фосфатів призначається із розрахунків вмісту P_2O_5 в оборотній воді 1,5–2 мг/л;

5) з додаванням у систему води, обробленої сірчаною кислотою (зі зниженням її карбонатної твердості до 2–3 мг-екв/л), у кількості, що компенсує втрати її на випаровування та винесення та забезпечує освіження (продування) у розмірі 0,5–1 % витрати досліджуваної води на моделі;

б) з додаванням у систему води, обробленої сірчаною кислотою (зі зниженням її карбонатної твердості до 3–3,5 мг-екв/л), та додатково обробленою фосфатами дозою з розрахунку вмісту P_2O_5 в оборотній воді 1,5–2 мг/л. Кількість додаткової води має компенсувати втрати оборотної води на випаровування та винесення і забезпечити освіження її (продування) у розмірі 1–2 % від витрати досліджуваної води на моделі.

За наявності на цьому підприємстві димових газів із вмістом у них вільної вуглекислоти щонайменше 10 % за обсягом може бути випробувана рекарбонізація оборотної води вуглекислотою димових газів.

На моделі можуть бути випробувані також режими використання пом'якшеної води вапном, натрій-катіонуванням або водень-катіонуванням з голодною регенерацією. Пом'якшена вапном вода повинна бути добре освітлена. При цьому достатньо випробування на моделі одного режиму – з додаванням пом'якшеної води у кількості, що компенсує втрати її на випаровування та винесення без освіження (продування).

Випробування кожного режиму слід проводити без перерви у досліді. За наявності відповідної навички можуть проводитись дослідження методів, зазначених у таблиці 10, або інших та за таких режимів, які відповідатимуть місцевим умовам.

Перед початком дослідів та після його закінчення проводиться хімічний аналіз води. У процесі дослідів через кожні 5–10 циклів обігу води відбираються проби та визначаються такі показники якості води: температура; концентрація іонів; CO_3^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , а також величина рН. Результати хімічного аналізу води заносяться до журналу.

За отриманими результатами виміру обсягу та хімічного аналізу води обчислюються коефіцієнти концентрування (упарювання) за формулами

$$K_B = \frac{W_{\text{вип}} + W_{\text{ун}} + W_{\text{скид}}}{W_{\text{ун}} + W_{\text{скид}}} = \frac{W_{\text{дод}}}{W_{\text{дод}} - W_{\text{вип}}}; \quad (4.12)$$

$$K_p = P_{\text{об}} \cdot P_{\text{дод}} \text{ или } K_{Cl} = Cl_{\text{об}}^- : Cl_{\text{дод}}^-, \quad (4.13)$$

Потім за показниками зміни карбонатної твердості води, вмісту в ній іонів Cl^- , Ca^{2+} та інших можуть бути збудовані відповідні графіки (для наочності).

Після закінчення дослідів з касети витягуються індикаторні пластинки, висушуються до постійної ваги та зважуються на аналітичних вагах. Потім за формулами $C_0 = \frac{M_2 - M_1}{F \cdot T}$, г/м²·год; $h_0 = 0.73 \frac{C_0}{\rho_0}$, мм/місяць (4.14) обчислюється швидкість утворення карбонатного відкладення, а також Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} .

Для хімічного аналізу відкладення з індикаторних пластинок (або трубки) видаляють 5 %-им розчином інгібованої соляної кислоти, потім промивають пластинку (або трубку) дистильованою водою; розчин кислоти та воду збирають у колбу та дистильованою водою доводять об'єм до мітки. З отриманого розчину об'ємним методом визначають вміст кальцію та магнію, ваговим методом – вміст сульфатів, колориметричним – вміст заліза та кремнієвої кислоти. В окремому навішуванні напівмікрометодом визначають вміст пов'язаної вуглекислоти.

На описаних вище лабораторних моделях також було проведено досліди з водами поверхневих (річок та водосховищ) та підземних джерел.

Результати дослідів із поверхневими водами наведено на рисунку 4.9.

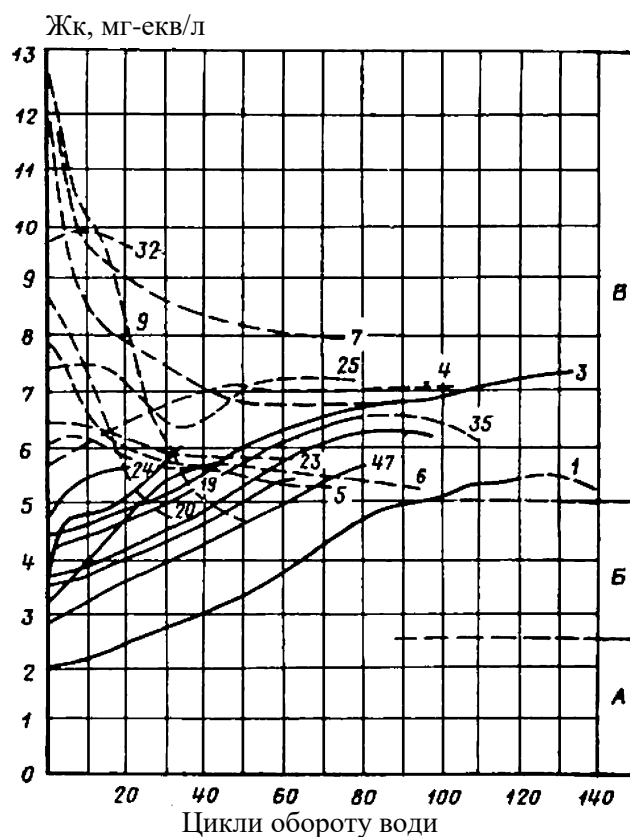


Рисунок 4.9 – Зміна карбонатної твердості J_k оборотної води поверхневих джерел від числа циклів обороту води при нагріванні до 40–42 °С та охолодженні до 30–32 °С:

А – вода термостабільна; Б – вода обмежено термостабільна; В – вода не термостабільна. Пунктир – початок відкладення $CaCO_3$. цифри на кривих відповідають номерам дослідів

Як показали досліди, води з карбонатною жорсткістю до 2,5–3 мг-екв/л при багаторазовому нагріванні до 40–42 °С та охолодженні до 30–32 °С розбризкуванням (без обробки та без додавання води до системи) не виділяють карбонатних відкладень і можуть бути віднесені до термостабільних. Карбонатна твердість таких вод зростає пропорційно до концентрування в них розчинених солей (зокрема Cl^-), тобто пропорційно до упарювання.

Води з карбонатною жорсткістю від 3 мг-екв/л до 4,5 мг-екв/л за тих же умов у початковий період не виділяють карбонатних відкладень, але при досягненні певної межі (приблизно 5 мг-екв/л) вони з'являються, тому можуть бути віднесені до обмежено термостабільних.

При вищому нагріванні води виділення карбонатних відкладень з оборотної води починається раніше і максимальна величина твердості карбонатної цієї води встановлюється нижча.

Результати дослідів із ґрунтовими водами показали, що до термостабільних можна віднести ґрунтові води з карбонатною жорсткістю лише до 1,5 мг-екв/л, до обмежено термостабільних – від 1,5 мг-екв/л до 3 мг-екв/л і до нетермостабільних – при карбонатній твердості понад 3–3,5 мг-екв/л.

У всіх випадках максимальна величина карбонатної твердості оборотної води встановлювалася близько 3 мг-екв/л.

Вплив окремих факторів на термостабільність води та швидкість утворення карбонатних відкладень. На процес розпаду гідрокарбонатного іона HCO_3^- зміна карбонатної твердості оборотної води та інтенсивність відкладень карбонату кальцію CaCO_3 по тракту її руху впливає ціла низка факторів.

Ступінь нагрівання води (її температура) та температурний перепад, як було видно з теоретичного розгляду вуглекислотної рівноваги, здійснюють вирішальний вплив на процес розпаду гідрокарбонатного іона та утворення карбонату кальцію. Це видно із рисунку 4.9, побудованого за даними дослідів, проведених на напіввиробничій установці з нагріванням оборотної води до 50–93 °С з подальшим охолодженням на градирні до 30–35 °С. Чим вища температура нагрівання води, за інших однакових умов досліду, тим швидше (раніше та інтенсивніше) йде зміна карбонатної твердості з розпадом гідрокарбонатного іона, особливо при нагріванні води понад 70 °С. Втрата нагрітої в оборотному циклі води в результаті її випаровування, що визначає коефіцієнт концентрування (або ступінь упарювання), природно, тим більша, чим вища температура нагрівання води в системі.

У лабораторних дослідах та практиці оборотного водопостачання

спостерігається, що при низькому теплонапруженні швидкість утворення карбонатних відкладень менша, ніж при високому теплонапруженні за інших рівних умов. Таке явище може бути пояснено тим, що нагрівання частини води в апараті з високим теплонапруженням супроводжується місцевим кипінням біля теплопровідної стінки з одночасною конденсацією пари. При пароутворенні відбувається швидке і повне розкладання бікарбонату кальцію і, очевидно, швидка кристалізація карбонату кальцію, що випадає. В умовах низького теплообміну процес розкладання бікарбонату кальцію хоч і відбувається такою ж мірою, але процес кристалізації CaCO_3 закінчується вже за межами апарату.

Присутність в охолоджуючій воді завислих мінеральних речовин прискорює процес утворення та відкладення кристалів карбонату кальцію. Завислі речовини служать центрами кристалізації CaCO_3 (див. рис. 4.10).

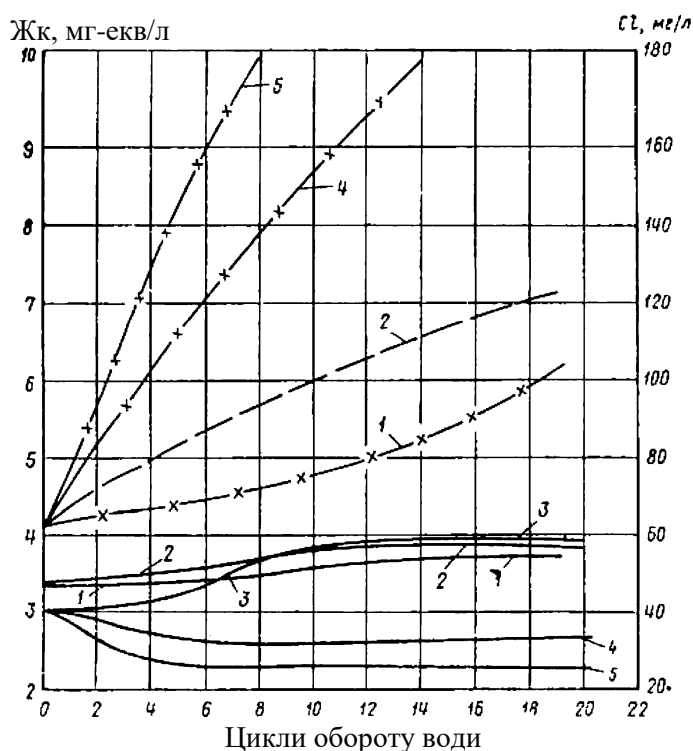


Рисунок 4.10 – Залежність карбонатної твердості J_k від ступеня нагрівання оборотної (річкової) води з подальшим охолодженням до 30–35 °С і концентрації C_1 :

1 – при нагріванні до 50 °С; 2 – те саме до 65 °С; 3 – до 70 °С; 4 – до 88 °С;
5 – до 93 °С

Органічні речовини, присутні в оборотній воді (у нерозчиненому та розчиненому стані), за тих самих умов гальмують як процес розпаду бікарбонатного іона, так і утворення відкладень CaCO_3 . Можна вважати, що

органічні речовини, перебуваючи в колоїдному стані і начебто огортаючи зародки кристалів CaCO_3 , певною мірою перешкоджають їх росту і відкладенню на стінках холодильників; аналогічну роль грають і поверхнево-активні речовини.

Така властивість органічних колоїдних домішок, присутніх у більшій чи меншій кількості у більшості поверхневих вод, є основною причиною зазначеної вище властивості цих вод не виділяти карбонатних відкладень у системах оборотного водопостачання при карбонатній твердості води поверхневих джерел, що не перевищує 2,5–3 мг-екв/л, інколи ж і більше.

Зі збільшенням загального вмісту солей у воді величина рН підвищується, тобто збереження карбонатної рівноваги у воді стає можливим при меншому вмісті у воді вільної вуглекислоти. Однак, як уже зазначалося вище, необхідно особливо враховувати наявність у воді іонів Mg^{2+} , Fe^{3+} , а в деяких випадках і Al^{3+} (коли останній потрапляє у воду зі стоками промислових підприємств), оскільки в присутності цих іонів процес випадання карбонату кальцію може ускладнитися випаданням відкладень карбонату магнію, гідрату окису магнію, заліза та алюмінію з відповідним підвищенням обсягу відкладень.

Помічено також, що присутність в оборотній воді іонів Cl^- і SO_4^{2-} , пов'язаних з іонами Ca^{2+} , може прискорювати виділення та відкладення CaCO_3 ; присутність у воді тих самих іонів Cl^- і SO_4^{2-} , пов'язаних з іонами Mg^{2+} і Na^+ , може уповільнювати цей процес. Однак роль окремих показників якості води, особливо під час використання стічних вод у системах оборотного водопостачання, залишається ще нез'ясованою та підлягає подальшому вивченню.

4.5 Розведення та освіження оборотної води

Як зазначалося, із системи оборотного водопостачання убуває певна кількість води внаслідок природних втрат. Заповнення цього спаду добавкою свіжої води з меншим вмістом розчинених солей викликає певне розведення та освіження циркулюючої води. Однак можуть бути випадки, коли такого «природного» розведення і освіження води в системі недостатньо і доводиться деяку кількість оборотної води скинути і замість неї додати таку ж кількість свіжої води, наприклад, для зниження карбонатної твердості (лужності), щоб уникнути відкладень накипу в апаратурі, що охолоджується, або зниження загального вмісту солей в оборотній воді. Зрозуміло, що таке скидання і добавка доцільні тільки тоді, коли карбонатна твердість (або загальний вміст солі) води, що додається в систему оборотного водопостачання, менша за

карбонатну твердість (солевміст) води, що міститься в системі оборотного водопостачання, а також якщо дозволяє потужність джерела і якщо з охолоджуваного продукту у воду розчинені солі не надходять.

Кількість оборотної води, яку необхідно скинути для підтримки максимально допустимої (максимальної) величини карбонатної твердості оборотної води, визначається за формулою

$$W_{\text{скид}} = \frac{Ж_{\text{к,дод}} W_{\text{вип}}}{Ж_{\text{к,макс}} - Ж_{\text{к,дод}}} - (W_{\text{ун}} + W_{\text{вир}}), \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.15)$$

а кількість води, яку необхідно при цьому додавати до системи, визначається за формулою

$$W_{\text{дод}} = \frac{Ж_{\text{к,дод}} W_{\text{вип}}}{Ж_{\text{к,макс}} - Ж_{\text{к,дод}}}, \text{ м}^3/\text{год}. \quad (4.16)$$

тут $Ж_{\text{к,дод}}$ – карбонатна твердість води, що додається в систему, мг-екв/л;

$W_{\text{вип}}$, $W_{\text{ун}}$ и $W_{\text{вир}}$ – втрати оборотної води на випаровування, винесення та у виробництві в мг/год.

За формулами (4.12) та (4.13) проводиться розрахунок освіження оборотної води. Але для цього перш за все повинна бути визначена допустима карбонатна твердість (лужність) оборотної води дослідами на моделі лабораторної установки, при якій не відбуватиметься карбонатних відкладень або швидкість їх утворення допустима (табл. 4.3). За відсутності таких досліджень максимально допустиму карбонатну твердість оборотної води можна приймати умовно в 1,5 раза більшою за карбонатну твердість додаткової води, тобто при карбонатній твердості додаткової води до 2,5 мг-екв/л з поверхневих і 1,5 мг-екв/л із підземних джерел.

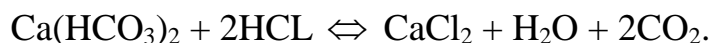
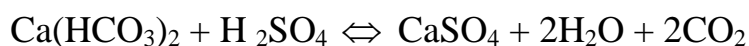
Насправді, проте, часто теоретичні висновки не збігаються з практичними результатами.

Розведення та освіження оборотної води шляхом скидання частини її із системи та заміни свіжою водою можна застосовувати за умови використання цієї скидної води іншими споживачами, які не висувають суворих вимог до неї за величиною карбонатної твердості та солевмісту. Можна зменшити скидання оборотної води, якщо обробити її, наприклад, кислотою для зниження карбонатної твердості.

4.6 Підкислення води як метод запобігання карбонатних відкладань

Підкислення води є одним з традиційних методів і розповсюджених методів обробки води. У виробництві з цією метою звичайно використовують сірчану і соляну кислоти. Підкислення полягає у зниженні лужності води

шляхом переводу бікарбонатів у добре розчинні солі некарбонатної твердості згідно з реакціями:



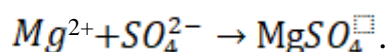
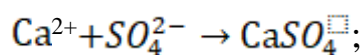
Як видно з реакції, при підкисленні води одночасно зі зниженням у ній бікарбонатів кальцію відбувається видалення вільної вуглекислоти, що своєю чергою забезпечує стабільність остаточних у воді бікарбонатів.

Перевагами кислотної обробки води є можливість її застосування для великих діапазонів карбонатної твердості води. Підкислення використовують при будь-яких величинах лужності, загальної твердості природних вод і при будь-яких коефіцієнтах концентрування вод у системах.

Підкислення води вважається універсальним методом запобігання утворенню карбонатних відкладень в охолоджуючих системах оборотного водопостачання. При додаванні до води сильної кислоти знижується її лужність, при цьому необхідно лише частину карбонатної твердості перевести в еквівалентну кількість некарбонатної, щоб запобігти можливості утворення та випадання (відкладення) карбонату кальцію (CaCO_3); нарешті за рахунок реакції кислоти з бікарбонатами виділяється вільна вуглекислота, яка може частково відшкодувати втрату «рівноважної» вуглекислоти при нагріванні і розбризкуванні води.

Зазвичай проводиться підкислення води, що додається до системи оборотного водопостачання. Карбонатна твердість води поверхневих джерел знижується до 2–2,5 мг-екв/л, води підземних джерел – до 1–1,5 мг-екв/л. Для підкислення застосовується сірчана кислота як дешевша, проте може використовуватися й соляна. Застосовують міцну чи розведену (відпрацьовану) кислоту.

При зниженні вмісту у воді бікарбонатних іонів HCO_3^- зменшується необхідна кількість рівноважної вуглекислоти, оскільки солі, що зумовлюють карбонатну твердість, переводяться в еквівалентну кількість солей (сульфатів), що зумовлюють некарбонатну твердість, що володіють високим ступенем розчинності і не випадають в осад:



Потрібно мати на увазі, що при обробці сірчаною кислотою у воді підвищується концентрація сульфатного іона SO_4^{2-} на 48 мг/л на кожен мг-екв/л карбонатної твердості, що знижується кислотою. Це обмежує діапазон застосування підкислення, щоб не допустити занадто великої концентрації

сульфатного іону в оборотній воді, коли виникає небезпека розвитку корозійних процесів.

Вплив підкислення води на підвищення її термостабільності та запобігання утворенню карбонатних відкладень у системі оборотного водопостачання видно з наступного прикладу. Вода однієї річки у Донецькому басейні мала карбонатну твердість 4,2 мг-екв/л, концентрацію розчинених солей 1 390 мг/л, у тому числі хлоридів (Cl^-) – 310 мг/л та сульфатів (SO_4^{2-}) – 210 мг/л; її окислюваність 17 мг O_2 на 1 л. При випробуванні цієї води на описаній вище моделі системи оборотного водопостачання з нагріванням до 40–42 °С та охолодженням до 30–32 °С без додавання до системи (режим упарювання) вода виявилася нетермостабільною – швидкість відкладень за час дослідів була 2,7 г/м²·год. При додаванні до системи річкової води в кількості 4 % і одночасному безперервному скиданні оборотної води 2,2 % від її витрати карбонатна твердість спочатку зростала до 4,8 мг-екв/л, але після 30-го циклу знизилася до 4,5 мг-екв/л і з 40-го циклу залишалася на цьому рівні до кінця дослідів (рис. 4.12, крива 1); швидкість відкладень протягом дослідів (80 циклів) становила 2,4 г/м²·год, що, проте, неприпустимо.

Потім на тій же моделі і при тому режимі, що і в попередньому досліді, була випробувана та ж вода, попередньо оброблена сірчаною кислотою.

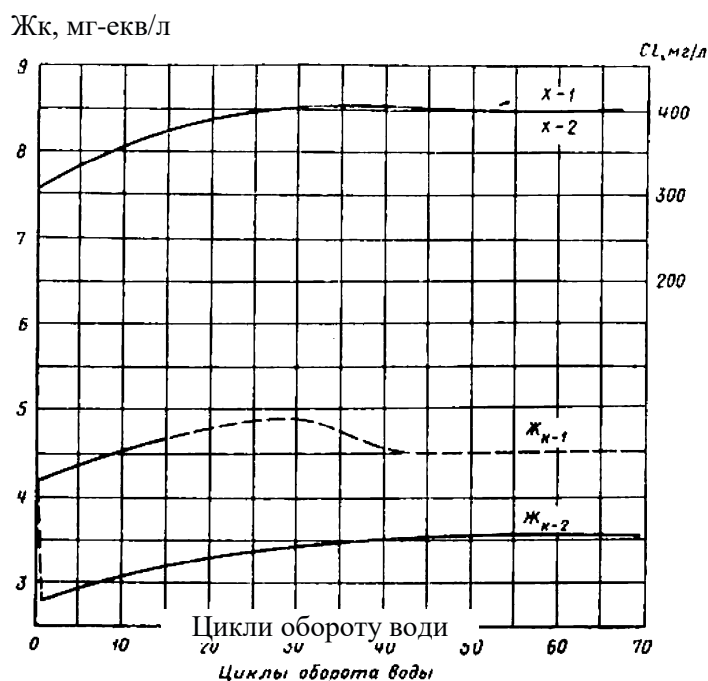


Рисунок 4.12 – Вплив підкислення води при випробуванні її на моделі з нагріванням до 40 °С та охолодженням до 30 °С на карбонатну твердість води:

1 – річкова вода; 2 – та сама вода, оброблена сірчаною кислотою

Карбонатна твердість була знижена з 4,2 мг-екв/л до 2,8 мг-екв/л. Результати випробування показано кривою 2 на рисунку 4.12. Очевидно, карбонатна твердість оборотної води за 50 циклів поступово зростає до 3,6 мг-екв/л; відкладень на індикаторних сталевих пластинках під час досліду (120 циклів) не було, ознак їх корозії також не виявлено. Коефіцієнти концентрації при цьому виявилися рівними: $K_{Cl} = K_{ж}$. (У цьому досліді, очевидно, можна було скоротити величину добавки і скидання із системи води з пропорційним збільшенням коефіцієнтів концентрації або зменшити ступінь зниження карбонатної твердості кислотою.)

Дозу технічної кислоти можна визначати за такою формулою (табл. 4.2):

$$D_k = e \cdot \Delta J_k \frac{100}{C_k} = e \cdot \left(J_{k, \text{доб.вих.}} - \frac{W_{\text{дод}} - W_{\text{вип}}}{W_{\text{дод}}} J_{k, \text{об.}} \right) \frac{100}{C_k} \quad (4.17)$$

де e – еквівалентна вага кислоти мг/мг-екв (для сірчаної кислоти 49, для соляної – 36,5);

$J_{k, \text{доб.вих.}}$ – карбонатна твердість додаткової вихідної (не обробленої кислотою) води в мг-екв/л;

C_k – вміст H_2SO_4 або HCl у технічній кислоті у відсотках.

Таблиця 4.4 – Значення коефіцієнта Ψ

Температура охолодженої води $t_{\text{охол.}}$, °C	Солевміст оборотної води $P_{\text{об}}$, мг/л						
	200	400	600	800	1 000	1 500	2 000
15	8,04	8,68	9,18	9,56	9,94	10,7	11,3
20	7,54	8,12	8,6	0,98	9,92	10,0	10,6
25	7,12	7,65	8,07	8,42	8,76	9,41	9,97
30	6,66	7,18	7,58	7,92	8,22	8,83	9,36
35	6,21	6,69	7,08	7,39	7,68	8,24	8,76
40	5,8	6,24	6,61	6,89	7,16	7,7	8,16

У літературі карбонатну твердість оборотної води у формулі (4.17), при якій не повинно відбуватися відкладень (при підкисленні додаткової води), рекомендують визначати за такою формулою: $J_{k, \text{об.}}$

$$J_{k, \text{об.}} = 0,1 \cdot N \sqrt{\frac{4,84 \cdot N^2 (W_{\text{дод}} - W_{\text{вип}})^2 + (W_{\text{об}} - W_{\text{дод}})(CO_2)_{\text{охол}} + W_{\text{дод}} \cdot (CO_2)_{\text{дод}} + 44 \cdot W_{\text{дод}} \cdot J_{k, \text{доб.вих.}} - 0,22 \cdot N^2 (W_{\text{дод}} - W_{\text{вип}})}{}} \quad (4.18)$$

де $N = \Psi / \sqrt{K_v(Ca)_{\text{дод}}}$

Ψ – величина, яка залежить від загального вмісту солей в оборотній воді $P_{об}$ і температури її після охолодження $t_{охол}$, яку можна наближено приймати за табл. 4.4, обчисливши попередньо $P_{об} = P_{дод} \cdot K_{в}$;

$P_{дод}$ – загальний вміст солей у додатковій воді, за даними лабораторного аналізу, в мг/л;

$K_{в}$ – коефіцієнт концентрування солей в оборотній воді (див. формулу (4.8), для розрахунку за якою величини $W_{вип}$ і $W_{ун}$ обчислюються, а величина $W_{скид}$ задається), м³/год;

$W_{об}$ – витрата оборотної води у системі, м³/год;

$(Ca)_{дод}$ – концентрація кальцію у додатковій воді за даними лабораторного аналізу в мг/л;

$(CO)_{2охол}$ – концентрація вуглекислоти в оборотній воді після охолоджувача за даними лабораторного аналізу або орієнтовно за таблицею 4.5 залежно від карбонатної твердості додаткової води та коефіцієнта упарювання води $K_{в}$, мг/л;

$(CO)_{2дод}$ – концентрація вуглекислоти в додатковій воді за даними лабораторного аналізу в мг/л.

Таблиця 4.5 – Концентрація вуглекислоти у воді, охолодженій на градирнях при підкисленні, мг/л

Карбонатна твердість додаткової води, мг-екв/л	Коефіцієнт концентрування солей у оборотній воді $K_{в}$				
	1,2	1,5	2	2,5	3
1	–	0,6	0,6	0,5	0,5
2	2,2	2,1	2,1	2	2
3	3,6	2,8	2,5	2,3	2,2
4	5,3	4,6	3,8	3,5	3,4
5	9	6,4	5,1	4,5	4,3
6	16,3	9	7,6	6	5,4

Однак формула (4.18) не дає правильних результатів, величину карбонатної твердості оборотної води $Ж_{к.об}$, при якій не відбуватиметься відкладень, більш надійно приймати за аналогом або дослідними даними, отриманими на моделі.

У формулі (4.17)

$$\frac{(W_{дод} - W_{вип})}{W_{дод}} Ж_{к.об} = Ж_{к.дод.вих.}$$

представляє залишкову карбонатну твердість додаткової води після обробки її кислотою, а $J_{к.дод.вих.} - J_{к.дод.ост.} = \Delta J_{к.}$ величину карбонатної твердості додаткової води, що знімається підкисленням. Тому якщо відсутній аналог або дослідні дані, у формулі (4.17) значення величини карбонатної твердості, що знижується кислотою, можна обчислити за формулою

$$\Delta J_{к.} = J_{к.дод.вих.} - J_{к.дод.ост.}, \text{ мг-екв/л}, \quad (4.19)$$

приймавши орієнтовно: $J_{к.дод.ост.}$ під час використання підземних вод – 1,5 мг-екв/л; при використанні вод поверхневих джерел (річок та водосховищ середньоєвропейської смуги), а також очищених стічних вод – 2–2,5 мг-екв/л; при використанні поверхневих вод північних районів, а також річок з гірничо-льодовиковим живленням – до 3 мг-екв/л.

Кислоту можна вводити в додаткову або оборотну воду перед подачею споживачам (а не в градирню). Починати підкислення слід з розрахункової дози для того, щоб спочатку зупинити процес виділення відкладень і не задаватися метою розчинення раніше утвореного CaCO_3 . Інакше можна викликати інтенсивне відшарування колишніх відкладень та розвиток корозії металу в місцях, що їх не мають. При підкисленні додаткової води освіження оборотної води в системі (продування) можна проводити зі скиданням не більше 0,5–1 % від витрати оборотної води ($W_{скид} = 0,005 : 0,01 W_{об}$), якщо додаткова вода до обробки не мала високого вмісту сульфатного іона і при прийнятому коефіцієнті її упарювання концентрація хлоридів та сульфатів ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$) не викликатиме значної швидкості корозії металу та випадання сульфату кальцію.

У процесі підкислення необхідно контролювати в додатковій та оборотній (охолодженій і тій, що подається споживачам) воді концентрації іонів Cl^- або Mg^{2+} (якщо вода хлорується), SO_4^{2-} і Ca^{2+} , величину карбонатної твердості та вільну вуглекислоту CO_2 .

Карбонатні відкладення повинні бути відсутніми при дотриманні рівності $J_{к.об.} : J_{к.дод.} = \text{Cl}_{об}^- : \text{Cl}_{дод.}^-$ і матимуть місце при $J_{к.об.} : J_{к.дод.} < \text{Cl}_{об}^- : \text{Cl}_{дод.}^-$

В останньому випадку контроль потрібно вести також за швидкістю відкладень на пластинках ваговим методом.

Сульфат кальцію (гіпс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) не осаджується в системі оборотного водопостачання, якщо добуток активних концентрацій іонів Ca^{2+} та SO_4^{2-} в оборотній воді не буде перевищувати добуток розчинності сульфату кальцію, що визначається за такою формулою:

$$f^2[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] \cdot K_B^2 < \text{PP}_{\text{CaSO}_4}, \quad (4.20)$$

де f – коефіцієнт активності двовалентних іонів, який визначається за величиною іонної сили розчину для оборотної води;

μ – іонна сила розчину для оборотної води,

$$\mu = \frac{K_E}{2} \left[(C_{Cl} + C_{HCO_3^-} + C_{Na}) + 4 (C_{Ca} + C_{Mg} + C'_{SO_4^{2-}}) \right]; \quad (4.21)$$

$C_{Cl}, C_{HCO_3^-}, C_{Na}, C_{Ca}, C_{Mg}$ – концентрація іонів хлоридних, бікарбонатних, натрію, кальцію і магнію в додатковій воді, за даними лабораторного аналізу, у г-іон/л;

$C'_{SO_4^{2-}}$ – концентрація сульфатного іону в підкисленій сірчаною кислотою додатковій воді, що приймається

$$C'_{SO_4^{2-}} = C_{SO_4^{2-}}^{\square} + \frac{D_k}{98000} \cdot \frac{C_k}{100} \text{ г-іон/л}; \quad (4.22)$$

$C_{SO_4^{2-}}^{\square}$ – концентрація сульфатного іону в додатковій воді до її підкислення, у г-іон/л;

D_k – доза кислоти, що визначається за формулою (4.17);

C_k – вміст H_2SO_4 в технічній кислоті, яка використовується для підкислення води, у %.

Значення коефіцієнтів активності двовалентних іонів такі:

μ	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
f	0,67	0,58	0,53	0,5	0,47	0,45	0,43
f	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	–
μ	0,41	0,39	0,38	0,36	0,35	0,34	–

Добуток розчинності сульфату кальцію PP_{CaSO_4} (константа) при температурі води 25-60 °С може бути прийнято рівним $6,2 \cdot 10^{-5}$.

У тому випадку, коли умова, що визначається формулою (4.20), не дотримується за відсутності освіження оборотної води (продування), необхідно приймати його в такому розмірі, при якому зазначене співвідношення буде виконане. Дуже орієнтовно витрату оборотної води, що скидається можна приймати такою, що дорівнює половині скиду $W_{скид}$, одержуваного за формулою (4.15); при цьому величину карбонатної твердості оборотної води можна допустити рівною подвоєній величини карбонатної твердості підкисленої води, що додається в систему, коефіцієнт концентрації (упарювання) дорівнюватиме двом.

Витрата кислоти для обробки води у кількості $W_{дод}$ м³/год може бути визначена за формулою

$$G_k = \frac{D_k \cdot W_{дод}}{1000}, \text{ кг/год} \quad (4.23)$$

Для виміру та дозування кислоти влаштовуються два мірні баки ємністю кожен

$$V_m = \frac{G \cdot T}{1000 \cdot \rho}, \text{ м}^3 \quad (4.24)$$

де T – число годин роботи бака з заготовленим розчином;
 ρ – щільність (питома вага).

Кислоту в оброблювану воду краще подавати не розведеною водою. витрата кислоти з бака має становити

$$q = \frac{G}{60 \cdot \rho}, \text{ л/хв} \quad (4.25)$$

При малих витратах кислоти дозування її в оброблювану воду доцільно у вигляді розчину 5–10 % концентрації.

Концентрована сірчана кислота, що прибуває на підприємство, в залізничних або автомобільних цистернах приймається на склад, розташований зазвичай безпосередньо близько від установки для обробки води. Кислота із привізних цистерн переливається в складські, а з них подається в баки-мірники, розташовані в дозаторній. Перелив та подача кислоти в мірники можуть проводитися стисненим повітрям (передавленням) за допомогою повітродувки або кислототривким насосом трубопроводами.

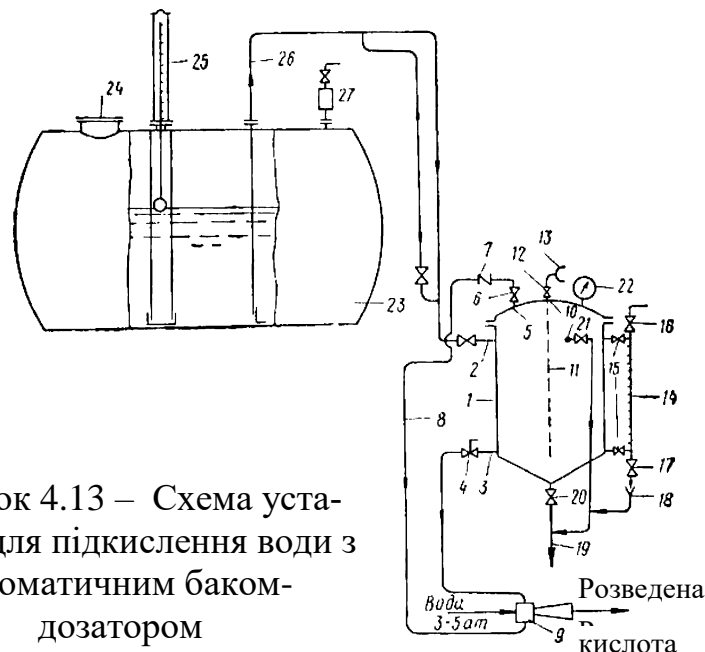


Рисунок 4.13 – Схема установки для підкислення води з автоматичним баком-дозатором

На рисунку 4.13 показана схема установки для підкислення води з автоматичним баком-дозатором (1) (з вуглецевої сталі), що працює за принципом судини Маріотта. Дно у бака конічне, кришка, що герметично

закривається. У баку є два бічні отвори, з яких верхній (2) служить для наповнення бака кислотою, нижній (3) – для витікання кислоти, що дозується, вентиль (4) служить для вимикання дозатора з роботи.

У кришці бака є отвір (5), з вентилем (6) і зворотним клапаном (7), з'єднаних трубою (8) з водяним ежектором (9), через цю лінію ежектором відсмоктується повітря з бака-дозатора при його заповненні кислотою при закритому вентилі (4). На кришці бака закріплюється повітряний регулятор дозування кислоти, що складається з отвору (10) з трубою (11), вентиля (12) і крапельної лійки (13), заповненої ватою (повітряний фільтр). Бак забезпечений герметично прикріпленою скляною трубою (14), приєднаною до нього через вентилі (15), і представляє показчик рівня рідини в баку (1); зверху на трубці є вентиль (16), а знизу вентиль (17) для періодичного очищення скла від забруднення при закритих вентилях (15), зі зливом залишку кислоти в трубці (14) через воронку (18) у каналізацію (19). У каналізацію через вентиль (20) з бака (1) може випускатися і залишок кислот. У верхній частині бака влаштований отвір (21) з переливною трубою кислоти в каналізацію. На кришці бака встановлено вакуум-метр (22).

Концентрована сірчана кислота зберігається в цистерні (23), з люком (24), показником рівня кислоти (25), сифонним пристроєм (26) і повітряником (27). Цистерна типова об'ємом 6–10 м³, виготовлена з вуглецевої сталі. Трубка вказівника рівня рідини в цистерні виконана зі скла діаметром 10–15 мм і закріплена кожухом або стяжками, всередині трубки є стержень з поплавцем на кінці, розміщеним на рівні кислоти в цистерні. Нижній рівень кислоти в цистерні повинен бути вищим за верхній рівень кислоти в баку-дозаторі.

Таблиця 4.6 – Розміри та вага типових баків-мірників концентрованої сірчаної кислоти

Параметри	Об'єм кислоти в баку в л			
	90	150	250	500
Діаметр бака D мм	450	500	670	810
Висота в мм: Н _{повн}	845	1 060	1 135	1 345
h _{коніч}	110	125	174	205
Діаметри патрубків у мм:				
в низу конуса d _{угл}	25	25	25	40
переливу d _{перел}	25	25	50	50
Загальна вага конструкції в кг	98	132	192	313

Бак-дозатор кислоти та ежектор у зазначеній схемі типові (табл. 4.6). Розміри бака підбираються за обсягом витрати кислоти за прийнятий час.

Перед пуском дозатора в дію (рис. 4.13) бак (1) заповнюється кислотою через отвір (2) при закритих вентилях (4) і (12) і діючому ежекторі (9). Потім вентиля (2) і (6) закриваються, а вентиль (4) відкривається повністю. Відкривають повільно вентиль (12), після чого через воронку (13) починає надходити повітря в бак (1), воно засмоктується по трубіці (11) замість кислоти, що витікає з нього через патрубок (3) і вентиль (4) до ежектора (9).

Оскільки повітря надходить на постійній висоті по відношенню до вихідного отвору (3), витрата реагенту (кислоти) з дозатора визначається тільки ступенем відкриття вентиля (12) незалежно від рівня рідини в баку. За показанням зниження рівня води в баку (по розподілу на трубіці (14)) встановлюється витікання кислоти, регульованої вентиляем (12).

Робочою водою ежектора має бути напірна оборотна вода системи. При цьому не слід користуватися надто забрудненою водою, оскільки діаметр сопла ежектора невеликий, що дорівнює 20 мм, і діаметр горловини ежектора 24 мм. Вода від ежектора разом з кислотою (суміш) вводиться в додаткову (або оборотну) воду, що обробляється, перед подачею її споживачам – цехам і установкам.

4.7 Фосфатування води

Одним із засобів боротьби з відкладенням карбонату кальцію у воді, що застосовують для охолодження теплообмінної апаратури, зокрема конденсаторів турбін, є фосфатування води.

Метод фосфатування застосовують для обробки вод у системах оборотного водопостачання з порівняно невисокою лужністю (до 5,5 мг-екв/л). При фосфатуванні охолоджуючої води додають у невеликих кількостях різні фосфати, що затримують кристалізацію карбонату кальцію і стабілізують перенасичені розчини $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Важливою особливістю методу фосфатування є те, що фосфати не володіють агресивними властивостями і до точності їх дозування не пред'являють високих вимог.

У присутності невеличких концентрацій поліфосфатів на поверхні мікрокристалів карбонату кальцію (CaCO_3) утворюється сполука, що попереджає випадіння з розчину малорозчинного карбонату кальцію.

Перевагою фосфатування є простота та компактність установок. Фосфатна обробка охолоджуючої води в системах оборотного водопостачання отримала найбільше розповсюдження завдяки надійності та високій стабілізуючій ефективності цього методу.

Найбільш успішно фосфатування застосовується, якщо лужність додаткової води не перевищує 3,5–4 мг-екв/л. Інакше потрібно застосовувати комбінований спосіб обробки – фосфатування разом із підкисленням.

При обробці води фосфатами для попередження утворення щільних солевих відкладень передбачають продувку P_3 , відсоток якої визначають за формулою

$$P_3 = \frac{P_1}{K_{\text{ВИП}}^{\text{ДОП}} - 1} - P_2 \quad (4.26)$$

де $K_{\text{ВИП}}^{\text{ДОП}}$ – допустимий коефіцієнт випаровування води, що визначається за формулою

$$K_{\text{ВИП}}^{\text{ДОП}} = (2 - 0,15 \cdot L_{\text{Д}})(1,4 - 0,01 \cdot t_1)(1,1 - 0,01 J_{\text{Д}}) \quad (4.27)$$

де $L_{\text{Д}}$, $J_{\text{Д}}$ – відповідно лужність та твердість води, що додається, мг-екв/л;

t_1 – температура оборотної води перед охолоджувачем, °С.

Дозу технічного продукту (тринатрійфосфату або суперфосфату) для обробки добавочної води у системі можна розрахувати за формулою

$$D_{\phi} = (2 + 0,2 \frac{E}{q_{\text{доп}}}) \frac{100}{C} \quad (4.28)$$

де E – об'єм води у системі (в резервуарах градирні, трубопроводах, лотках і газоочисних апаратах), м³;

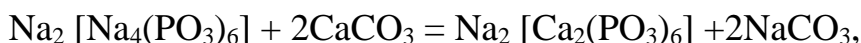
$q_{\text{доп}}$ – кількість води, що додається у систему оборотного водопостачання, м³/год;

C – вміст P_2O_5 у технічному реагенті, %.

Витрату тринатрійфосфату, кг/год, визначають за формулою

$$G_{\phi} = \frac{D_{\phi} \cdot q_{\text{доп}}}{1000} \quad (4.29)$$

Фосфатування води вважається найбільш простим способом запобігання утворенню карбонатних відкладень у системах оборотного водопостачання. При додаванні у воду, наприклад, розчину гексаметафосфату натрію на поверхні зародків кристалів карбонату кальцію утворюються такі адсорбційно-хімічні сполуки:



комплексна сіль

які перешкоджають подальшому зростанню кристалів карбонату кальцію, агрегації їх та випаданню з води. Перебуваючи в масі води у вигляді завислої речовини, вони виносяться із системи при її освіженні.

В оборотній воді достатньо підтримувати вміст фосфатів 1,5-2 мг/л у перерахуванні на P_2O_5 .

На практиці застосовуються для обробки води гексаметафосфат натрію ($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$), триполіфосфат натрію $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, тринатрійфосфат $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ та суперфосфат $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Вміст P_2O_5 у перших двох становить 50–52 %, в останніх двох – 16–18 %.

Дію фосфатів на карбонатні відкладення досі повністю ще не вивчено. Попередню відповідь може дати випробування води на моделі (рис. 4.14).

При випробуванні без додавання води до системи (режим упарювання) відкладення становили $0,12 \text{ г/м}^2\text{год}$; при додаванні води до системи у розмірі 4 % та скиданні з неї 2,4 % від витрати оборотної води без її обробки відкладення становили також $0,12 \text{ г/м}^2\text{год}$; при тому ж додаванні та скиданні з обробкою додаткової води фосфатами відкладення зменшилися до $0,043 \text{ г/м}^2\text{год}$.

Встановлено, що при фосфатуванні є якась межа пересичення розчину, вище за яку, незважаючи на присутність фосфату, починається інтенсивне зростання, коагуляція, а потім і випадання кристалів переважно неправильної форми.

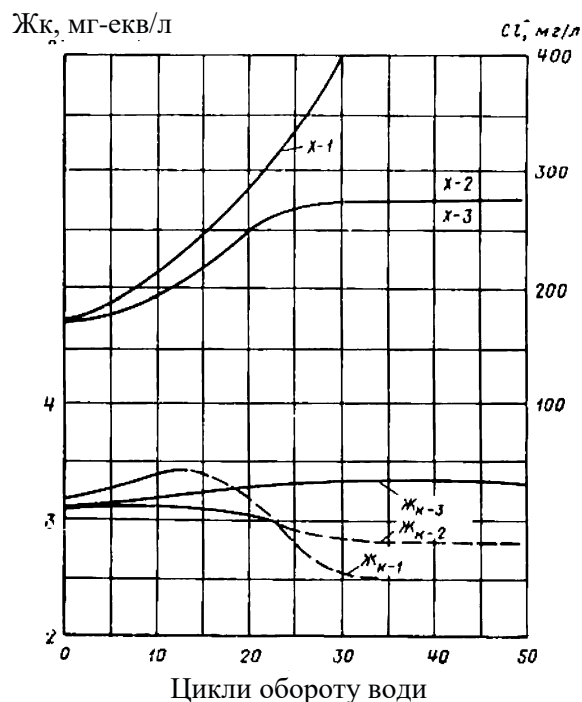


Рисунок 4.14 – Вплив фосфатування води при випробуванні її на карбонатну твердість і швидкість виділення відкладення в моделі з нагріванням до $34 \text{ }^\circ\text{C}$ та охолодженням до $26 \text{ }^\circ\text{C}$:

- 1 – без додавання води до системи відкладення $0,12 \text{ г/м}^2\text{год}$; 2 – з додаванням 4 % та скиданням із системи 2,4 % від витрати води (без обробки), відкладення $0,1 \text{ г/м}^2\text{год}$; 3 – з додаванням 4 % та скиданням із системи 2,4 % з обробкою додаткової води фосфатами, відкладення $0,043 \text{ г/м}^2\text{год}$

При цьому, як свідчать спостереження, відкладення в апаратах, трубопроводах і на спорудах при фосфатуванні води мають зовсім інший характер: вони можуть бути більш пухкими або м'якими, що легко видаляються з поверхні струменями води при промиванні або волосяним йоршем; і можуть бути у вигляді окремих кристалів, що нагадують великий пісок.

Потрібно мати на увазі, що при фосфатуванні охолоджувальної води з метою запобігання утворенню карбонатних відкладень завжди треба передбачати періодичне хлорування оборотної води та обробку градирень розчином мідного купоросу для боротьби з розвитком біологічних обростань. Помічено, що при фосфатуванні води розвиток біологічних обростань посилюється, забруднення оборотної води підвищується.

Розчин фосфатів готують у баках і дозують в оброблювану воду за допомогою відповідних пристроїв, аналогічних для дозування розчинів коагулянтів.

Доза гексаметафосфату (або триполіфосфату), що вводиться в додаткову воду охолоджувальної системи оборотного водопостачання з градирнями, може бути орієнтовно визначена за формулою

$$D_{\phi} = \left(2 + 0,2 \frac{E}{W_{\text{дод}}}\right) \frac{100}{C_{\phi}}, \text{ мг/л}, \quad (4.30)$$

де E – обсяг води у системі (трубопроводах, теплообмінних апаратах та резервуарах), м^3 ;

$W_{\text{дод}}$ – кількість води, що додається в систему оборотного водопостачання, $\text{м}^3/\text{год}$;

C_{ϕ} – вміст P_2O_5 у технічному реагенті (у гексаметафосфаті та триполіфосфаті 50–52 %, і тринатрійфосфаті 17–18 % та у суперфосфаті 16–18 %).

З формули (4.30) видно, що доза фосфатів для обробки однієї й тієї ж кількості додаткової води буде тим більшою, чим більший обсяг води в системі. Тому формула (4.30) для систем оборотного водопостачання з бризкальним басейном дає завищену дозу фосфатів (ємність резервуарів басейну значно більша за ємність резервуарів градирень), а для систем водопостачання зі ставками-охолоджувачами взагалі не застосовується, як не можна застосовувати і саме фосфатування.

Необхідно мати на увазі також, що зі збільшенням каламутності води та концентрації у ній нафтопродуктів витрата фосфатів зростає. Це пояснюється тим, що фосфати коагулюють завислі речовини, адсорбуються ними і захоплюються в осад.

Аксонетрична схема установки фосфатування оборотної води, показана на рисунку 4.15, складається з розчинного бака (1) діаметром 0,8 м і висотою 0,8 м, обладнаного механічною мішалкою; двох видаткових баків (2) діаметром 1,2 м і висотою 1 м, обладнаних пристроєм (3) для перемішування розчину повітрям, і дозаторами поплавцевими розчину (4). Дозований розчин фосфату зливається у вирву (5) і по трубопроводу (6) самопливом або за допомогою спеціального насоса направляється в камеру охолодженої води біля насосної станції. До розчинного баку підведена гаряча вода по трубі (7) для прискорення розчинення фосфатів, а до витратних баків - холодна вода по трубах (8) і повітря по трубах (9). Осади з розчинного та видаткових баків видаляються по трубах (10) у виробничу каналізацію.

У розчинний бак фосфати подаються за допомогою кран-балки та електроталі вантажопідйомністю 0,5 т (ГОСТ 3472-63). Повітря виходить із заводської мережі або від повітродувки РМК-2, що спеціально встановлюється.

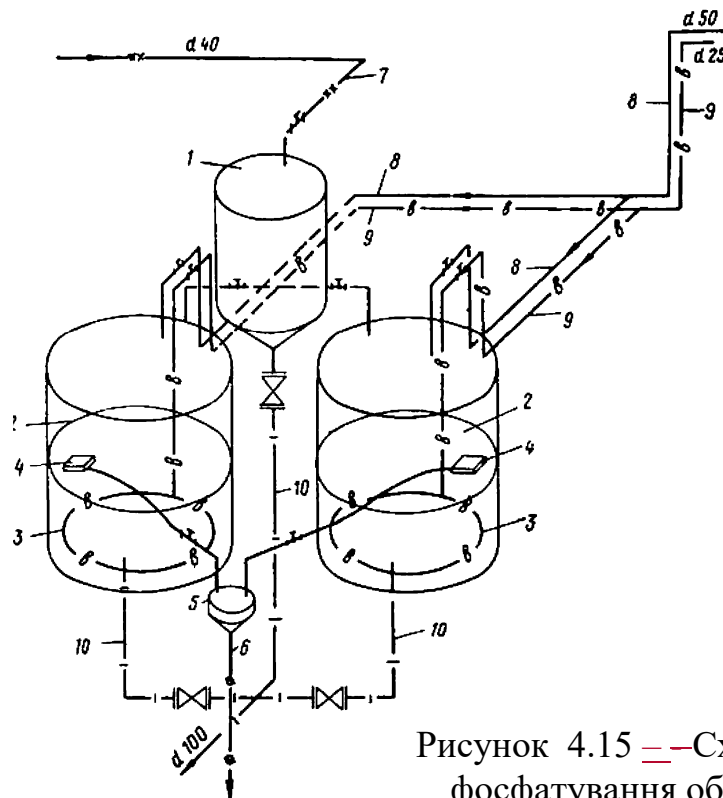


Рисунок 4.15 — Схема установки фосфатування оборотної води

Гексаметафосфат натрію зберігається у ящиках, а триполіфосфат натрію — у мішках із крафт-паперу.

Як вже говорилося вище, баки для розчину фосфату виготовляються з листової вуглецевої сталі та захищаються від корозії покриттям перхлорвініловим лаком, що готується на епоксидній смолі; покриття наноситься кількома шарами з просушуванням кожного шару, для захисту від корозії внутрішня поверхня баків обклеюється листовою гумою.

При обробці води гексаметафосфатом та триполіфосфатом натрію контролюється наявність та концентрація в оборотній воді метафосфатів, а при обробці води тринатрійфосфатом та суперфосфатом – ортофосфатів.

4.8 Спільна обробка води підкисленням та фосфатуванням

Спільна обробка води підкисленням та фосфатуванням дорожча, ніж обробка одним із зазначених вище методів. Однак цей метод доцільно застосовувати в тому випадку, коли карбонатна твердість води досить висока і одне фосфатування води не забезпечує необхідного ефекту запобігання утворенню карбонатних відкладень, а глибоке підкислення води може викликати корозію металу. Комбінована (спільна) обробка може виявитися необхідною і при карбонатній твердості води, що змінюється протягом року, в джерелі.

При комбінованій обробці води кислотою та фосфатним реагентом дозу кислоти можна визначати за формулами

$$D_k = e \cdot \Delta J_k \frac{100}{C_k} = e \cdot \left(J_{k, \text{доб.вих.}} - \frac{W_{\text{дод.}} - W_{\text{вип.}}}{W_{\text{дод.}}} J_{k, \text{об.}} \right) \frac{100}{C_k}, \quad (4.31)$$

$$\Delta J_k = J_{k, \text{дод.вих.}} - J_{k, \text{дод.ост.}}, \text{ мг-екв/л}, \quad (4.32)$$

приймаючи орієнтовно карбонатну твердість води, що додається до системи оборотного водопостачання, після обробки її кислотою більше на 1 мг-екв/л, ніж зазначено вище. Дозу фосфатів при цьому можна визначати за формулою (4.30) та освіження (продування) розраховувати за формулою

$$W_{\text{скид}} = \frac{J_{k, \text{дод.}} W_{\text{вип.}}}{J_{k, \text{макс.}} - J_{k, \text{дод.}}} - (W_{\text{ун.}} + W_{\text{вир.}}), \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.33),$$

приймаючи скидання води із системи не більше 1–1,5 % від витрати оборотної води.

Комбінована обробка води включає підкислення та фосфатування додаткової води, а також освіження підкисленою водою оборотної води. Завданням дослідження на моделі є віднайдення найкращого коефіцієнта використання води з найменшим скидом її із системи і при мінімальних витратах на реагенти.

Фосфатно-кислотну обробку застосовують при підвищеній лужності додаткової води (більше 5 мг-екв/л) з метою зменшення продувки оборотних систем і зниження корозії охолоджуючої апаратури. Зниження продувки досягається переводом частин карбонатних солей у розчинні сполуки шляхом підкислення; зниження агресивної активності досягається зменшенням доз кислот і захисними антикорозійними властивостями фосфатів. Цей метод застосовують на коксохімічних підприємствах.

При комбінованій фосфатно-кислотній обробці води дозу кислоти, мг/л, в розрахунку на витрату води, що додається, визначають за формулою

$$D_k = e_k (L_d - L_d^{ГРАН}) \frac{100}{C_k}, \quad (4.34)$$

де $L_d^{ГРАН}$ – гранична величина лужності води, що додається, мг-екв/л, при якій запобігання утворенню карбонатних відкладень при заданих умовах (t_1 , $K_{ВИП}$, J_d) досягається фосфатуванням:

$$L_d^{ГРАН} = 16 - \frac{K_{ВИП}}{0,125(1,4 - 0,01t_1)(1,1 - 0,01J_d)} \quad (4.35)$$

Дозу фосфатного реагенту (триполіфосфату або гексаметафосфату) приймають 3–5 мг/л за товарним продуктом в розрахунку на підживлюючу воду й уточнюють у процесі експлуатації.

4.9 Рекарбонізація оборотної води

Для боротьби з перенасиченістю карбонатом кальцію застосовують також обробку вод димовими газами, що містять вуглекислоту – *метод рекарбонізації*. Рекарбонізацію димовими газами застосовують при лужності води, що додають до 3,5 мг-екв/л і коефіцієнтах концентрування, що не перевищують 1,5.

Цей метод досить ефективний, але має і недоліки: необхідність строгого дозування димових газів, щоб уникнути корозії в системі, небезпечність для обслуговуючого персоналу в зв'язку з наявністю в газах окису вуглецю та великих капітальних затрат на спорудження установки.

Практично цей метод застосовується лише за наявності дешевого джерела вуглекислоти, яким можуть бути відходи вуглекислого газу (наприклад, на підприємствах азотної промисловості), димові газу, що утворюються в котельнях при спалюванні твердого (або рідкого) палива, а також газу доменних печей.

Суть цього методу полягає в насиченні води вуглекислим газом з метою підтримки вуглекислотної рівноваги і запобігання випадінню карбонатних відкладень шляхом попередження розпаду бікарбонатів. При контакті димових газів з водою в ній розчиняються вуглекислота CO_2 , що міститься в димових газах, і певною мірою сірчистий ангідрид SO_2 . Збільшення вмісту у воді CO_2 компенсує втрати оборотною водою вуглекислоти в охолоджувачах і тим самим запобігає розпаду бікарбонатів:



У той же час тут відбувається розчинення утворених зародків кристалів карбонату кальцію вуглекислою, що вводиться в оборотну воду за допомогою газодувки або ежектора. Розчинення SO_2 діє аналогічно до підкислення. Однак вміст у димових газах SO_2 невеликий, до того ж він більшою мірою поглинається водою, якою димові гази попередньо очищаються від механічних домішок (золи тощо), а тому дія SO_2 при рекарбонізації оборотної води не враховується.

Рекарбонізація оборотної води може застосовуватися в системах як за відсутності контакту охолоджуючої води з продуктом (напівзакрита система), так і у разі контакту цієї води, наприклад, з газом, що очищається (доменним або іншим). У цьому та іншому випадку вода, що нагрілася в процесі виробництва, охолоджується на градирні (або в бризкальному басейні) шляхом контакту з атмосферним повітрям.

Рекарбонізація води у напівзакритій системі оборотного водопостачання. Якість та властивість оборотної води, першою чергою її термостабільність, залежать від якості та властивостей природної води, що додається до системи, та від режиму використання цієї води (температура нагріву тощо).

Залежність термостабільності від рекарбонізації охолоджуючої оборотної води в напівзакритій системі показана на рисунку 4.16, складеному за даними досліджень на описаній вище моделі.

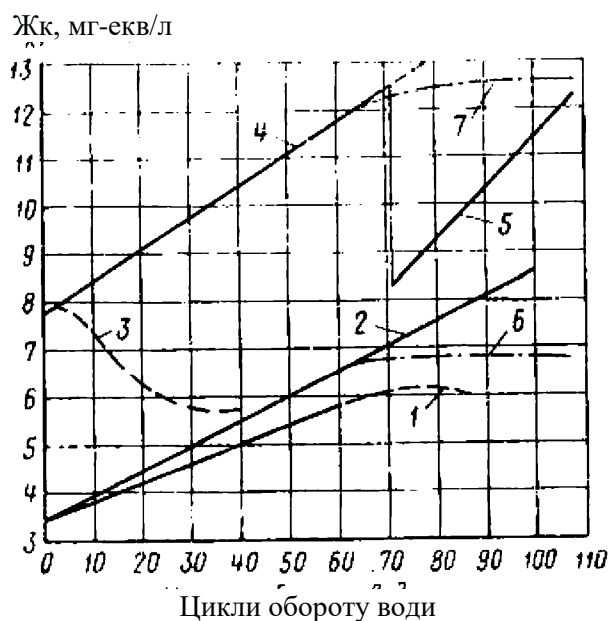


Рисунок 4.16 – Залежність термостабільності від рекарбонізації оборотної води

У першому випадку природна річкова вода була обмежена термостабільною (крива 1), але при обробці димовими газами, що містять вуглекислоту, вода стала термостабільною (крива 2), і в ній не спостерігалось

розпаду бікарбонатного іона HCO_3 та відкладення CaCO_3 при 100-кратному використанні. У другому випадку природна річкова вода не була термостабільною (крива 3), у ній при багаторазовому нагріванні та охолодженні розбризкуванням з'явилися відкладення на стінках теплообмінного апарату та індикаторних пластинках після декількох перших циклів, а при обробці димовими газами вода стала термостабільною протягом 70 циклів (крива 4), після чого, освіжена додатковою обробленою вуглекислотою (термостабільною водою), знову набула своїх первісних властивостей термостабільності (крива 5). На рисунку 4.16 суцільні лінії означають відсутність відкладень, пунктирні – наявність відкладень CaCO_3 на поверхні, що охолоджується.

При безперервному додаванні води в систему для компенсації втрат оборотної води та обробці останньої вуглекислотою димових газів оптимальною дозою встановлюється відносно постійна величина твердості карбонатної оборотної води (криві 6 і 7, умовно); при цьому карбонатні відкладення будуть відсутні або швидкість їх утворення перебуватиме в допустимих межах (див. табл. 4.3). Проводити освіження оборотної води в системі (продування) при рекарбонізації не потрібно, вона виявляється необхідною лише при використанні газу, недостатньо очищеного від пилу.

Таким чином, з результатів проведених на моделі дослідів видно, що чим більша карбонатна твердість додаткової води, тим більшим має бути ступінь рекарбонізації оборотної води для запобігання утворенню карбонатних відкладень у системі за однієї й тієї ж температури нагрівання цієї води. У проведених дослідах на моделях і в практиці обробки води зазначалося, що малі дози, отже, і недостатній вміст вільної вуглекислоти в воді, що нагрівається, не запобігають розпаду бікарбонатного іона. Помічено також, що при рекарбонізації оборотної води з метою запобігання утворенню карбонатних відкладень біологічні обростання не розвиваються; відбулося утворення лише тонкої слизової плівки на стінках труб теплообмінних апаратів (кондесаторів пари), очевидно, за рахунок комплексних відкладень, що складаються з детриту органічної речовини та пилу з газу. Димові газы перед використанням для рекарбонізації води повинні бути добре очищені від золи та пилу в золопиловловлювачах.

Основним недоліком рекарбонізації води в охолоджуючих системах оборотного водопостачання є складність точного дозування вуглекислоти, що вводиться у воду. При введенні у воду надмірної кількості вуглекислоти може відбуватися інтенсивна корозія трубопроводів та теплообмінних апаратів у місцях стикання цієї води з металом. Спостерігається і таке явище, коли насоси

та трубопроводи до теплообмінних апаратів піддаються корозії (із зменшенням інтенсивності в міру віддалення від місця введення у воду димових газів), а в кінці теплообмінних апаратів та в трубопроводах і лотках за ними утворюються відкладення. Відкладення при рекарбонізації води можуть утворюватися на зрошувачі градирень, що охолоджують оборотну воду, якщо ця вода перед ними не піддається додатковій рекарбонізації (другий ступінь обробки води).

Дозу вуглекислоти для рекарбонізації оборотної води в напівзакритій системі можна орієнтовно визначати за наступною формулою

$$D_{CO_2} = \frac{W_{\text{дод}} \cdot Ж_{\text{к,дод}}}{K_T (W_{\text{дод}} - W_{\text{вип}})} - \frac{W_{\text{об}} - W_{\text{дод}}}{W_{\text{об}}} CO_{2\text{охол}} - \frac{W_{\text{дод}}}{W_{\text{об}}} CO_{2\text{дод}} \text{ мг/л}, \quad (4.36)$$

де $W_{\text{дод}}$ – кількість води, що додається в систему, м³/год;

$W_{\text{вип}}$ – втрати оборотної води на випаровування при її охолодженні в м³/год;

$W_{\text{об}}$ – витрата оборотної охолоджувальної води в системі в м³/год;

$Ж_{\text{к,дод}}$ – карбонатна твердість води, що додається в систему, мг-екв/л, (приймається за даними хімічного аналізу води);

$CO_{2\text{охол}}$ – вміст вільної вуглекислоти в оборотній охолодженій воді в мг/л (зазвичай ця величина буває до 3-4 мг/л, нею не можна знехтувати);

$CO_{2\text{дод}}$ – вміст вільної вуглекислоти у воді, що додається в систему, в мг/л (приймається за даними хімічного аналізу води);

K_T – коефіцієнт, що залежить від температури нагріву оборотної води в системі, має такі значення:

Температура нагрівання оборотної води у °С	30	35	40	45	50	60
Значення коефіцієнта K_T	0,26	0,21	0,07	0,13	0,11	0,1

Дозу вуглекислоти можна отримати випробуванням води на описаній вище моделі системи оборотного водопостачання. Однак зауважимо, що такий дослід рекарбонізації оборотної води є найбільш складним.

В умовах експлуатації дозу вуглекислоти для рекарбонізації води, визначену орієнтовно за формулою (4.36), слід коригувати за даними контролю за швидкістю відкладень на індикаторних пластинках або швидкістю корозії цих пластин.

Кількість димових газів, яку слід подавати в воду, що обробляється ними, можна визначити за формулою

$$V_{\text{д.г.}} = 5,1 \cdot \frac{D_{CO_2} \cdot W_{\text{об}}}{C_{CO_2} \cdot \beta} \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.37)$$

де D_{CO_2} – доза вуглекислоти, що визначається за формулою (4.36), мг/л;

C_{CO_2} – вміст CO_2 у димових газах у % за обсягом, що визначається за даними аналізів димових газів (величина непостійна). Приблизно можна приймати димові гази від спалювання твердого палива (вугілля) у котлах – 5–8 %; від спалювання нафти та мазуту – 8–12 %; від спалювання доменного газу – 15–22 %;

β – ступінь використання вуглекислоти, що міститься в димових газах, в % (приймається орієнтовно) при введенні вуглекислоти у воду за допомогою водоструминних ежекторів від 50 % до 80 %; за допомогою газодувки та барботажних труб 30 %.

Вуглекислоту димових газів у воду, що охолоджує, можна вводити газодувкою з барботажним пристроєм (рис. 4.18) або ежектором (див. рис. 4.20). Барботажні труби занурюються в потік води на глибину не більше 2-х м. З ежектора гази в суміші з водою подаються трубою у водозабірну камеру насосів оборотної води.

При введенні у воду вуглекислоти димових газів газодувкою (рис. 4.17) барботер влаштовують у вигляді перфорованої труби або кількох таких труб, покладених паралельно дном камери, по якій протікає оброблена вода зі швидкістю до 0,2-0,3 м/сек. Діаметр отворів у цих трубах приймають рівним 3–4 мм (у процесі експлуатації він збільшується через корозію металу до 5–6 мм). Інтенсивність подачі газів – від 5 л/сек до 10 л/сек на 1 м² площі камери. Швидкість руху газів у трубах, що підводять і розводять, приймають рівною 10–15 л/сек. Тиск, що утворюється газодувкою, 2–3 м вод. ст., або 20–30 н/м². Витрата електроенергії на стиск газу за такого тиску становить 0,02–0,025 кВт-год на 1 м³.

Найбільшого застосування набула схема введення вуглекислоти димовим ежектором. При цьому вуглекислотою димових газів насичується лише частина оборотної води.

Рекарбонізація оборотної води при контакті з продуктом (відкрита система). Як уже говорилося вище, у відкритій системі оборотного водопостачання якість та властивості води, від яких залежить утворення карбонатного відкладення, залежать від складу продукту, з яким вона стикається, температури та тиску, і не залежать від якості додаткової води.

Доза вуглекислоти для рекарбонізації оборотної води з метою запобігання утворенню карбонатних відкладень у таких випадках призначається залежно від конкретних умов; найчастіше вона підбирається дослідним шляхом у виробничих умовах.

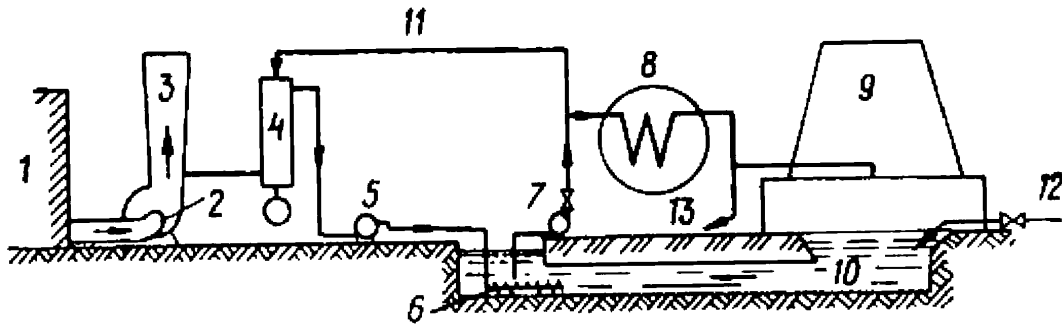


Рисунок 4.17 – Схема рекарбонізації оборотної води:

1 – котельня; 2 – димосос; 3 – димова труба; 4 – золоуловлювач; 5 – газодувка;
 6 – барботажний пристрій із дірчастих труб; 7 – насос для подачі оборотної
 води; 8 – теплообмінний апарат; 9 – охолоджувач води (градирня);
 10 – резервуар і канал охолодженої води; 11 – трубопровід води до
 золоуловлювача; 12 – надходження додаткової води; 13 – відвід для скидання
 частини оборотної води

Наприклад, на підставі досліджень та практики для запобігання утворенню карбонатних відкладень на одному з металургійних комбінатів склалася така балансова схема різних форм вуглекислоти в оборотній воді доменного газоочищення при двоступінчастій її рекарбонізації (рис. 4.18).

Зміну концентрації різних форм вуглекислоти у потоці оборотної води наведено у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Концентрація різних форм вуглекислоти в оборотній воді перерізів потоку при її обробці (рекарбонізації) в мг/л

Форма CO ₂ у воді за перерізами потоку мг/л	Переріз потоку води (див. рис. 4.18)					
	I	II	III	IV	V	VI
Карбонатна CO ₃ ²⁻	304	7	11	297	293	–
Гідрокарбонатна HCO ₃ ⁻	585	371	367	215	218	4
Вільна CO ₂	65	–	60	–	5	80
Загальна	954	378	438	512	516	84

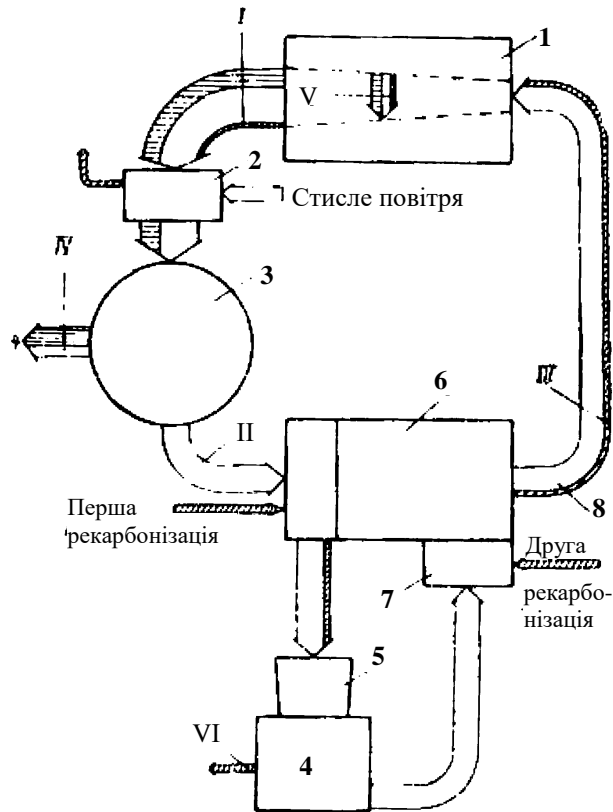
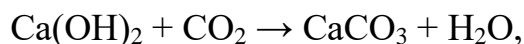


Рисунок 4.18 – Балансова схема різних форм вуглекислоти в оборотній воді доменного газоочищення при її двоступінчастій рекарбонізації:

1 – доменна газоочистка; 2 – аератор; 3 – відстійник; 4 – градирня;
5, 7 – камера нагрітої води та охолодженої води; 6 – насосна станція;
8 – трубопровід подачі охолодженої води насосною станцією на газоочищення

Для заново запроєктованих та реконструйованих систем оборотного водопостачання доменних газоочисток запропоновано чотиріступінчасту обробку води.

На першому ступені відпрацьована у виробництві (1) вода надходить в аератор (2) для декарбонізації і підготовки до освітлення у відстійнику (3). В аераторі вільна вуглекислота, що міститься у воді, вступає в реакцію з присутнім гідроокисом кальцію, переводячи її в карбонат кальцію



який випадає в осад у відстійнику (3) (рис. 4.21). Питома витрата повітря становить приблизно $0,18 \text{ м}^3/\text{г}$ віддаленої вуглекислоти.

На другому ступені проводиться освітлення води від нерозчинних речовин і кристалів карбонату кальцію, що утворилися при аерації води і випадають в осад у радіальному відстійнику, а потім віддаляються у відвал (4).

На третьому ступені проводиться перша рекарбонізація оборотної води для повного усунення відкладень у трубопроводі на ділянці до градирні (5), у водорозподільній системі та зрошувачах. Тут у камеру гарячої води вводиться вуглекислота 70–80 мг/л.

На четвертому ступені перед подачею охолодженої води насосною станцією (6) по трубопроводу (8) на газоочищення (1) проводиться друга рекарбонізація для запобігання відкладень у напірному трубопроводі (8). У воду в камері охолодженої води (7) вводиться вуглекислота 60–70 мг/л.

Таким чином, незахищеними від відкладень у системі залишаються лише короткі ділянки з лотків від газоочистки (1) до відстійника (3), від відстійника до насосної (6) і від градирні (5) до камери (7).

Доза вуглекислоти для рекарбонізації оборотної води доменного газоочищення може визначатися для кожного ступеня за такою формулою:

$$D_{CO_2\text{равн}} = C \cdot Щ_o^n, \text{ мг/л}, \quad (4.38)$$

де C і n – коефіцієнти, що визначаються дослідним шляхом для кожного складу шихти, що завантажується в доменну піч;

$Щ_o$ – загальна лужність оборотної (нефільтрованої) води мг-екв/л.

Визначено, що $C = 8,9$ та $n = 0,85$. Формула (4.38) набуде такого вигляду:

$$D_{CO_2\text{равн}} = 8,9 \cdot Щ_o^{0,85}, \text{ мг/л}, \quad (4.39)$$

Кількість димових газів, яку потрібно подавати в оброблювану оборотну воду в циклі доменного газоочищення при знайденій дозі вуглекислоти $D_{CO_2\text{рівн}}$, можна визначати за такою формулою:

$$V_{д.г.} = (0,022\alpha \cdot b + 5,1 D_{CO_2\text{равн}}) \frac{W_{об}}{C_{CO_2\beta}} \text{ м}^3/\text{год} \quad (4.40)$$

де α – вміст розчинних у соляній кислоті завислих речовин, затриманих з оборотної води мембранним фільтром № 1, %;

b – загальна концентрація завислих речовин в освітленій воді у мг/л.

Схему рекарбонізації оборотної води в циклі водопостачання доменного газоочищення показано на рисунку 4.19. На рекарбонізацію води димові гази після повітрянагрівачів (1) доменної печі, пройшовши охолодження і очищення в безнасадковому скрубєрі (2), по димопроводу (3) надходять в ежектори (4) другого ступеня (аналогічно і на перший ступінь) через патрубки, що всмоктують. Ежектори працюють за допомогою води від насоса (5), що забирає охолоджену воду після градирень (6); оброблена вуглекислотою димових газів в ежекторах (4) вода зливається в резервуар охолодженої води (7), а з нього насосами (8) подається в газоочисні апарати (9).

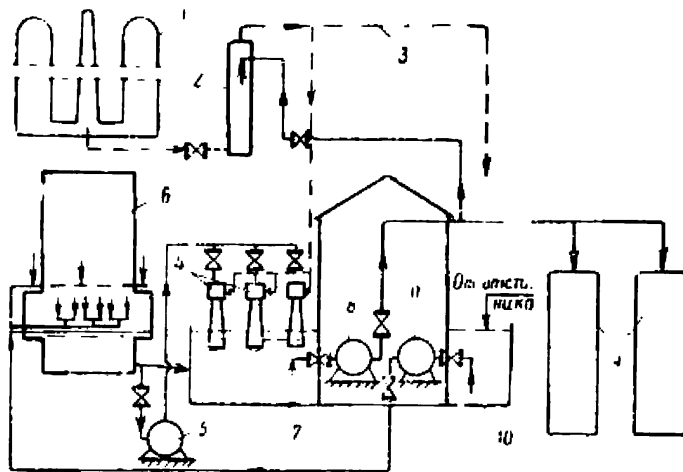


Рисунок 4.19 – Схема рекарбонізації води в системі оборотного водопостачання доменного газоочищення

Очищення та охолодження доменного газу за допомогою води здійснюються в скруберах, дросельних групах, дезінтеграторах та інших пристроях. Відпрацьована вода від газоочищення піддається освітленню в радіальних відстійниках, потім надходить в камеру гарячої води (10), де також за допомогою ежекторів першого ступеня обробляється вуглекислотою і насосами (11) подається на градирню (6) для охолодження.

До застосування рекарбонізації за п'ять-шість місяців роботи в напірних трубопроводах відкладення досягали 50–100 мм. Трубопроводи до градирні та водорозбризкуючі сопла доводилося очищати від відкладень через кожні один-два місяці. З використанням рекарбонізації води швидкість відкладень зменшилася на 96–98 %, необхідність в очищенні трубопроводів та сопел відпала.

Розрахунок установки. У практиці експлуатації установок рекарбонізації води перевага надається введенню вуглекислоти димових газів за допомогою ежектора. Схема водоструминного ежектора показана на рисунку 4.20. Вода від насоса (водопроводу) надходить через штуцер (1) і сопло (2) із звуженим перетином, звідки з великою швидкістю надходить у камеру змішування (3). Внаслідок великої швидкості води, що надходить, в камері (5) тиск знижується і утворюється вакуум. Завдяки вакууму димові газу підсмоктуються через штуцер (4) у приймальну камеру (5) і з неї – у камеру змішування (3). Надходячи далі в дифузор (6), струмінь води із захопленими нею газами розширюється і направляється за призначенням. Для вимірювання тиску слугує штуцер (7).

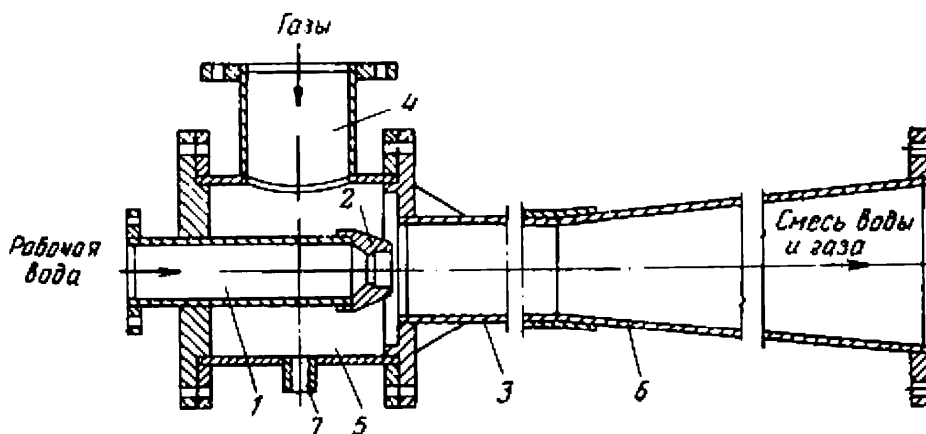


Рисунок 4.20 – Водоструминный эжектор

Розрахунок водоструминного ежектора можна виконувати, виходячи з прийнятого: p_1 – тиск робочої води перед соплом ежектора в ат; p_2 – тиск газу в приймальній камері ежектора в ат; p_3 – тиск газоводяної суміші після дифузора ежектора (при виході з неї) в ат. Знайдемо напір робочої води, що розташовується в ежекторі,

$$H = 10 \cdot (P_1 - P_2) \text{ м вод.ст.}$$

і напір, створюваний ежектором:

$$h = 10 (p_3 - p_2) \text{ м вод. ст.}$$

Відношення кількості димових газів, що ежектуються, q_{Γ} т/год до кількості робочої води $q_{\text{в}}$ м³/год називають *коефіцієнтом ежекції*:

$$u = \approx, \frac{q_{\Gamma} \cdot 0,6H - h}{q_{\text{в}} \cdot h + h_1},$$

де $h \approx 68 (273 + t) \lg \frac{p_3}{p_2}$;

t – температура газів, що засмоктуються.

Звідси кількість робочої води, необхідної для ежекції димових газів:

$$q_{\text{в}} = \frac{C_{\Gamma}}{u}, \text{ м}^3/\text{ГОД.}$$

Діаметр сопла ежектора

$$d_r = 9,4 \cdot \sqrt{\frac{q_{\text{в}}}{\sqrt{H}}} \text{ мм.} \quad (4.41)$$

Діаметр горловини ежектора

$$d_r = 258 \sqrt{\frac{q_{\text{в}}(0,001 + u \cdot \rho)}{\sqrt{h + h_1 u}}} \text{ мм,} \quad (4.42)$$

де ρ – густина газу, рівна:

$$\rho = R (273 + t) / p_2 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$R = 29,5$ – газова постійна.

Довжину горловини l_r приймають зазвичай від $5 d_r$ до $8 d_r$, діаметр вихідного перерізу дифузора d_d – від $2 d_r$ до $3 d_r$, кут конуса дифузора – від 6° до 12° .

Витрата електроенергії на насоси для приведення в дію ежекторів становить $0,015\text{--}0,02$ кВт-год на 1 м^3 газів, що подаються.

При введенні у воду вуглекислоти димових газів газодувкою барботер влаштовують у вигляді перфорованої труби або кількох таких труб, покладених паралельно в камері, по якій протікає вода, що обробляється, зі швидкістю до $0,2\text{--}0,3$ м/сек; шар води над перфорованими трубами $1\text{--}2$ м. Діаметр отворів у цих трубах приймають рівним $3\text{--}4$ мм (у процесі експлуатації він збільшується через корозію металу до $5\text{--}6$ мм); отвори мають бути спрямовані вниз. Швидкість виходу газів із отворів $20\text{--}30$ м/с. Інтенсивність подачі газів від 5 л/с до 10 л/с на 1 м^2 площі камери. Швидкість руху газів у трубах, що підводять і розводять, приймають рівною $10\text{--}15$ м/сек. Тиск, що утворюється газодувкою, $2\text{--}3$ м вод. ст або $20\text{--}30$ н/м² ($0,2\text{--}0,3$ ат). Витрата електроенергії на стиск 1 м^3 газу за такого тиску становить $0,02\text{--}0,025$ кВт-год.

При застосуванні газодувок або ежекторів потрібно прагнути забирати більш холодні гази. Для очищення газу від продуктів спалювання твердого палива, що виносяться з ним, щоб уникнути забруднення ними оборотної води, рекомендується встановлювати мокрий золоуловлювач, наприклад циклон ВТІ. При розрахунках можна приймати густину 1 м^3 димових газів при температурі 50°C рівною $1,09$.

Витрата робочої води, яка має бути насичена вуглекислотою димових газів у водоструминних ежекторах або барботажному пристрої, можна визначати за формулою

$$q_v = \frac{D_{\text{CO}_2} \cdot 10^4}{m \cdot c_{\text{CO}_2} \beta} W_{\text{об}}, \text{ м}^3/\text{Год} \quad (4.43)$$

де m – розчинність вуглекислоти у воді в мг/л.

Залежно від температури робочої води m змінюється так:

Температура робочої води у $^\circ\text{C}$	20	25	30	35	40	45	50
Значення m , мг/л	1 689	1 450	1 250	1 106	974	862	762

Насичена вуглекислотою вода потім змішується з усією оброблюваною водою у водоприймальній камері перед насосами.

Визначення вільної вуглекислоти у воді. При обробці оборотної води димовими газами (рекарбонізація) здійснюється лабораторний контроль за вмістом вільної вуглекислоти у воді – у додатковій, в оборотній, що подається,

та в охолодженій. При цьому виходять з того, що присутність вільної вуглекислоти $\text{CO}_{2\text{своб}}$ виключає наявність у цій воді карбонатних іонів CO_3^{2-} . Метод ґрунтується на титруванні вільної вугільної кислоти 0,02–0,05 нормальним розчином Na_2CO_3 або NaOH у присутності фенолфталеїну до появи невникаючого протягом 5 хв слабо-рожевого або жовтувато-рожевого забарвлення.

4.10 Пом'якшення води, що додається до системи

При високій карбонатній твердості прісної води поверхневих джерел, коли є потреба в освітленні додаткової води та для цієї мети передбачаються відповідні споруди (відстійники або освітлювачі, фільтри), доцільно застосовувати вапнування для пом'якшення додаткової води з метою видалення з неї Ca^{2+} та частково Mg^{2+} . В окремих випадках, коли висуваються високі вимоги до охолоджуючої води при нагріванні її більше ніж на $15\text{ }^\circ\text{C}$ або за наявності місцевого кипіння її у поверхні теплообміну, потрібно застосовувати пом'якшення додаткової підземної води на іонообмінних фільтрах (натрій або водень-катіонування з «голодною» регенерацією).

Доцільність застосування того чи іншого методу пом'якшення води у кожному даному випадку визначається техніко-економічними розрахунками.

Пом'якшення додаткової води вапном. Сутність методу полягає у зниженні кальцієвої карбонатної твердості води (тобто частини карбонатної твердості, пов'язаної з присутністю у воді іона кальцію) шляхом обробки вапном.

На лабораторній установці були проведені паралельні досліди з природною водою і тією ж водою, обробленою (без підігріву) вапном. Карбонатна твердість природної води була 10 мг-екв/л, вміст іона Ca^{2+} – 152 мг/л, сухий залишок становив 2 562 мг/л, величина $\text{pH} = 7,95$. Після пом'якшення вапном карбонатна твердість становила 2,78 мг-екв/л вміст Ca^{2+} – 2,3 мг/л, $\text{pH} = 9,25$. Потім вода була освітлена, тому в систему вона надходила зовсім прозорою. Вода у теплообміннику нагрівалася до $42\text{ }^\circ\text{C}$, потім охолоджувалася до $28\text{ }^\circ\text{C}$, що відповідало виробничим умовам.

Результати дослідів подано на рисунку 4.21. У процесі випробування води наростала лише магнієва твердість та відкладень не спостерігалось.

При вапнуванні залишкова твердість пом'якшеної води може бути доведена до некарбонатної твердості плюс 0,4–0,8 мг-екв/л і лужності 0,8–1,2 мг-екв/л.

Проектування установки з пом'якшення води вапном можна виконувати, користуючись даними, викладеними в ДБН В.2.5 -74: 2013 [10].

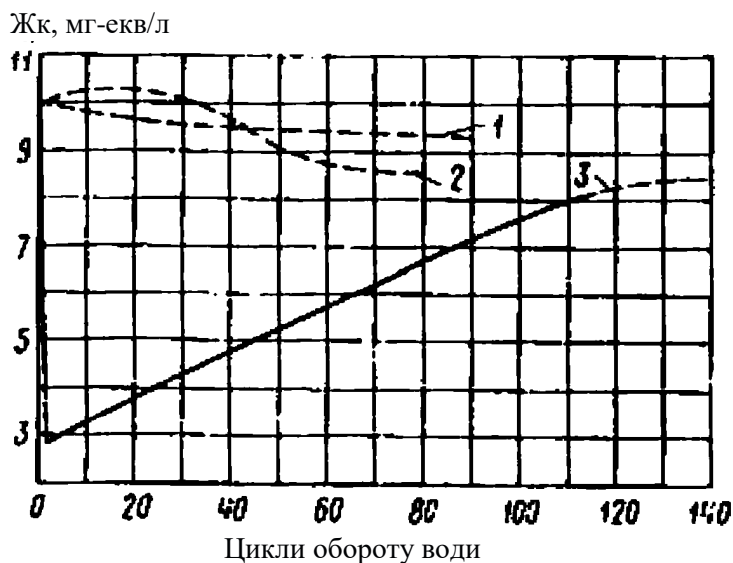


Рисунок 4.21 – Залежність термостабільності води від її пом'якшення вапном, отримана на моделі, при використанні в системі оборотного водопостачання без додавання води до системи (режим упарювання):

1 – без нагрівання води; 2 – з нагріванням води до 42°C та охолодженням до 28°C ; 3 – вода, пом'якшена вапном до 2,8 мг-екв/л, з нагріванням води до 42°C та охолодженням до 28°C

При використанні в системі оборотного водопостачання води, пом'якшеної вапном, біологічні обростання розвиваються трохи менш інтенсивно, але не виключаються внаслідок наявності еолового забруднення води (через повітря на градирнях), тепла, фотосинтезу та наявності поживних речовин для мікроорганізмів.

За такою схемою із пом'якшенням додаткової води вапном успішно працює система оборотного водопостачання ЦЕС Краматорського металургійного заводу.

Пом'якшення додаткової води катіонуванням. Цей метод удвічі дорожчий, ніж пом'якшення води вапном. Застосовується лише в окремих випадках.

Пом'якшення води катіонуванням проводять фільтруванням попередньо освітленої води через шар зернистого матеріалу – катіоніту, частинки якого містять на своїй поверхні катіони натрію Na^+ або водню H^+ , здатні до обміну на катіони кальцію Ca^{2+} та магнію Mg^{2+} солей твердості, розчинених у воді. Відповідно до цього розрізняють натрій-і водень-катіонування.

Вода після натрій-катіонітових фільтрів зазвичай має підвищену лужність ($\text{pH} > 7$), а після водень-катіонітових – підвищену кислотність ($\text{pH} < 7$). Для отримання пом'якшеної води з оптимальною лужністю можна застосовувати водень-натрій-катіонування: фільтрування через водень-і натрій-катіоніти.

Твердість води катіонуванням може бути знижена до 0,03–0,05 мг-екв/л.

При фільтруванні води через натрій-катіоніт катіони кальцію Ca^{2+} та магнію Mg^{2+} повністю заміщуються катіонами натрію Na^+ . У результаті цього в профільтованій пом'якшеній воді залишаються лише натрієві солі, що володіють великою розчинністю і не утворюють карбонатних відкладень у теплообмінних апаратах. Кількість аніонів, що містяться в пом'якшеній воді (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} та ін), при натрій-катіонуванні залишається практично незмінною.

При фільтруванні води через водень-катіоніт відбувається заміна катіонів Ca^{2+} та Mg^{2+} на катіон водню H^+ .

Для запобігання утворенню карбонатних відкладень у системі оборотного водопостачання переважно додаткову воду піддавали водень-катіонному пом'якшенню з відновленням обмінної здатності катіоніту за режимом так званої «голодної» регенерації: у фільтр подається тільки така кількість кислоти, яка точно відповідає стехіометричному розрахунку (без надлишків).

Внаслідок зазначеної «голодної» регенерації водень-катіоніту у фільтраті не утворюються сильні мінеральні кислоти, а лише з'являється вуглекислота, що знижує лужність (карбонатну твердість) фільтрату. При цьому зниження твердості фільтрату відбувається до величини в середньому 0,5–3 мг-екв/л залежно від твердості вихідної води, і кислих стоків від регенерації катіоніту не утворюється.

Вплив пом'якшення води катіонуванням на її термостабільність є аналогічним до наведеного вище пом'якшення води вапном, для випадку водень-катіонування – аналогічним до підкислення додаткової води. При цьому відпадає необхідність в опрісненні води (зниження загального вмісту в ній розчинених солей), і тим більше в її знесолюванні для звичайних охолоджувальних систем оборотного водопостачання.

4.11 Інші методи обробки води

Методи обробки води магнітним полем, високочастотним електричним полем та ультразвуком нині перебувають у стадії лабораторних досліджень чи виробничої перевірки.

Обробка води магнітним полем. В основі цього способу (рис. 4.22) лежить ефект дії електромагнітного поля на електронні оболонки іонів Ca^{2+} та CO_3^{2-} у воді, що протікає між гільзою та стінкою труби. Механізм цього впливу ще не встановлено.

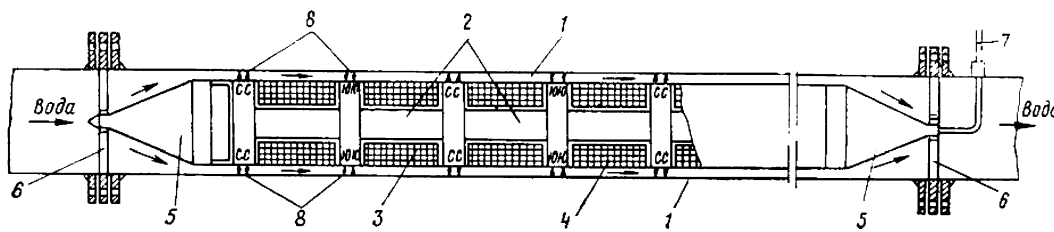


Рисунок 4.22 – Схема апарату для обробки оборотної води, що охолоджує, магнітним полем:

1 – труба сталева; 2 – сердечник електромагніту; 3 – обмотка електромагніту; 4 – кожух із діамагнітного матеріалу; 5 – конічна заглушка кожуха; 6 – центруючий фланець; 7 – підведення електричного струму до електромагніту; 8 – магнітні силові лінії

Вважають, що під впливом магнітного поля деформуються електронні оболонки іонів Ca^{2+} та CO_3^{2-} . Внаслідок цього сили взаємодії між цими іонами слабшають і карбонат кальцію у вигляді шламу виводиться з водою з трубок теплообмінного апарату або легко знімається з поверхні, що омивається, механічно. Вважають, що потрібна обробка лише додаткової води. При такій обробці води, яка охолоджує, магнітним полем, крім зміни структури накипу, значно зменшується також його кількість.

Відомості про ефективність цього способу суперечливі. Підлягає ретельному вивченню питання величини необхідної напруженості магнітного поля залежно від іонного складу води, і навіть оптимального часу обробки води магнітним полем.

Обробка води високочастотним електричним полем. Установка для обробки охолоджувальної води високочастотним електричним полем є конденсатором з двома шарами ізоляції. Одним шаром служить скло або пластмаса, а іншим – вода, що обробляється. Коли вода проходить через високочастотне електричне поле, останнє створює певний момент, що впливає на молекули води та розчинені у ній іони. При цьому змінюються фізичні та хімічні властивості води як розчинника; крім того, спостерігаються також значні зміни у процесах кристалізації розчинених у воді солей. Вода, оброблена високочастотним електричним полем, утворює нетвердий пухкий або шламоподібний накіп, який легко видаляється при механічному впливі йоржа

або струменя води. Було випробувано кілька таких апаратів, проте результати дослідів суперечливі.

Обробка води ультразвуком. Вода піддається впливу ультразвукових коливань, які можуть бути отримані на основі магнітострикційного або п'єзоелектричного ефекту. При цьому ультразвукові коливання можуть передаватися безпосередньо до води або трубки теплообмінного апарату. В обох випадках вони запобігають відкладенню солей накипу на поверхню нагрівання, що омивається водою, причому раніше накип, що відклався, відшаровується. Однак відомості в літературі з цього питання дуже нечисленні та поверхові.

Електровібраційна обробка води. За цим способом вода піддається комбінованому впливу коливань: ультразвукових, електричних та електромагнітних. У результаті запобігається відкладення в теплообмінних апаратах солей твердості у вигляді твердого накипу. Відомості про практичні результати цього способу поки що не дозволяють говорити про його застосування у виробничих умовах.

Оцінка ефективності обробки води. Основними критеріями можуть бути: 1) зміна теплообмінної здатності технологічних апаратів; 2) інтенсивність процесу відкладення в апаратах за їх обсягом за певний час або швидкість відкладень на індикаторних пластинках у г/м^2 год; 3) хімічний склад відкладень.

При зниженні інтенсивності відкладення карбонатів теплообмінна здатність апаратів не погіршується тривалий час.

Якісне дослідження води при зниженні інтенсивності процесу відкладень показує, що карбонатна твердість оборотної води вища, ніж додаткової; величини коефіцієнтів концентрування по хлоридному іону і карбонатної твердості приблизно рівні, але коефіцієнт концентрування по хлоридному іону може бути і трохи більшим. Якщо коефіцієнт концентрування по карбонатній твердості виявиться більшим за коефіцієнт концентрування по хлоридному іону, це вкаже на похибку в хімічному аналізі.

Контрольні запитання

1. Визначення стабільності води.
2. Заходи при позитивному й негативному індексі стабільності.
3. Назвіть основні методи запобігання щільним сольовим відкладенням в оборотних системах водопостачання.
4. Які методи застосовують в системах водопостачання газоочисток конверторних цехів?

ЗМ 3 РЕГУЛЮВАННЯ ВОДНО-ХІМІЧНИХ РЕЖИМІВ ТА ЗАПОБІГАННЯ КОРОЗІЇ ОБЛАДНАННЯ

Розділ 5 ЗАХИСТ МЕТАЛУ ВІД КОРОЗІЇ

5.1 Характер та причини корозії теплообмінних апаратів, трубопроводів та споруд

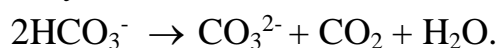
Корозією називають мимовільне руйнування металів внаслідок фізико-хімічної взаємодії їх із навколишнім середовищем. У практиці водопостачання під матеріалами розуміють прості метали, а також обладнання та вироби, які виготовлені із цих металів. Середовищем, у якому відбувається корозія металів, є вода. Отже, процеси корозії пов'язані з характерними особливостями води та металу. Однак корозію потрібно відрізнити від ерозії – поверхневого механічного руйнування металів.

При створенні повністю замкнених систем оборотного водопостачання важливе значення поряд із запобіганням щільних сольових відкладень має запобігання корозійного зносу устаткування трубопроводів. Зокрема, це відноситься до газоочисток великовантажних доменних печей, що працюють з підвищеним тиском газу.

Відомо, що в розчинах, які містять вугільну кислоту, вуглеводисті сталі піддаються значним корозійним руйнуванням.

Величина швидкості корозії в різних системах, що містять розчинений вуглекислий газ, різна, крім того, недостатньо вивчений механізм протікання цього процесу. Все це не дозволяє прогнозувати корозійну стійкість устаткування в умовах роботи цілком замкнених систем оборотного водопостачання.

У водних розчинах вуглекислотних сполучень існує динамічна рівновага між різними формами вуглекислоти:



З цього рівняння видно, що для підтримки певної концентрації бікарбонатних іонів потрібно, щоб у розчині містилась відповідна кількість вільної вуглекислоти. Та вільна вуглекислота, що необхідна для підтримки в розчині бікарбонатів, зветься рівноважною. Надлишкова вуглекислота агресивна по відношенню до будівельних матеріалів і металу.

Для захисту систем оборотного водопостачання від корозії використовують неорганічні інгібітори. Як неорганічні інгібітори застосовують в основному хромати, біхромати, фосфати (в основному гексаметафосфат і триполіфосфат натрію), силікати, а також нітрати. Дія цих інгібіторів заснована

на утворенні захисних плівок на поверхні металу і гальмуванні анодного або катодного електрохімічних процесів.

Становлять інтерес роботи закордонних фахівців, у яких запропоновані способи захисту від корозії за допомогою інгібіторів на основі силікатів.

Для захисту від корозії системи виробничого водопостачання стабілізаційну обробку води передбачають при негативному індексі насичення (індексі стабільності).

Для попередження корозії й 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 і гальмують корозійний процес;
- введення вапна для створення й підтримки захисної плівки CaCO_3 ;
- застосування магнітної, ультразвукової обробки й інших методів обробки води.

Для підвищення ступеню рівномірності розподілу захисної плівки карбонату кальцію одночасно із введенням лужних реагентів передбачається дозування гексаметофосфату або триполіфосфату натрію у кількості 0,5–1,5 мг/л (за P_2O_5).

Стабілізації води при негативному індексі насичення можна досягти видаленням з неї надлишкової вуглекислоти дегазацією з застосуванням різних типів дегазаторів.

Схему фосфатування оборотної води показано на рисунку 5.1.

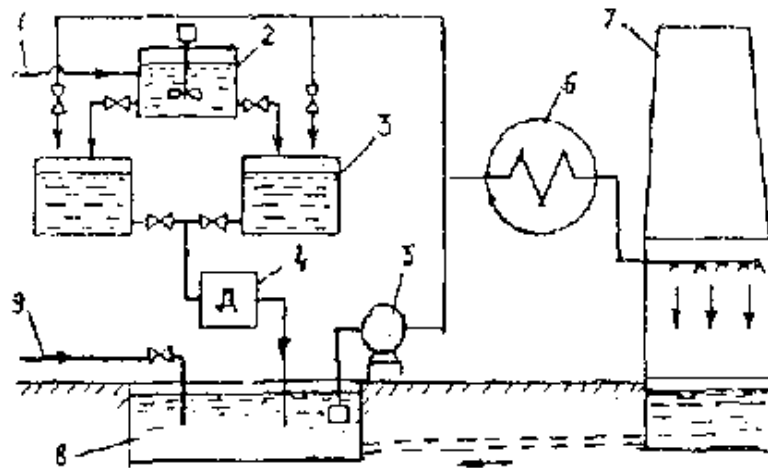


Рисунок 5.1 – Схема фосфатування оборотної води:

1 – подача пари на підігрів води або гарячої води; 2 – розчинний бак;
 3 – витратний бак; 4 – дозатор; 5 – циркуляційний насос; 6 – агрегат, що охолоджується;
 7 – охолоджувач оборотної води; 8 – резервуар охолодженої води; 9 – подача свіжої води

Відомо, що корозійний процес протікає межі двох фаз: метал – доквілля, тобто є гетерогенним (неоднорідним) процесом взаємодії рідкого або газоподібного середовища (або їх окисних компонентів) з металом.

Корозія металу може бути хімічною та електрохімічною. При хімічній корозії окислення металу та відновлення окисного компонента корозійного середовища відбувається в одному акті; проте ця корозія відноситься лише до обладнання реагентного господарства водопроводів та систем оборотного водопостачання установок із обробкою металу кислотами. У практиці водопостачання поширена електрохімічна корозія, що відбувається в присутності електропровідного середовища, при якій іонізація атомів металу та відновлення окисного компонента корозійного середовища протікають не в одному акті та їх швидкості залежать від електродного потенціалу металу.

У практиці водопостачання спостерігається і електрокорозія, або корозія під дією про блукаючих струмів. За умовами протікання корозія в системах водопостачання становить переважно електрохімічний окислювально-відновний процес, можливість перебігу якого визначається зміною вільної енергії системи. Анодний процес пов'язаний із переходом іонів металу в розчин; при катодному процесі відбувається асиміляція електронів деполаризатором, що міститься в розчині (розчинений кисень – киснева деполаризація, іони водню – воднева деполаризація). На тій самій ділянці металевої поверхні можуть відбуватися одночасно анодний і катодний процеси.

Нерідким випадком у системах оборотного водопостачання є біологічна корозія за участю продуктів, що виділяються мікроорганізмами біологічних обростань.

В окремих випадках відбувається корозія при терті (корозійна ерозія) – руйнування металу, що викликається одночасним впливом корозійного середовища та тертям (наприклад, руйнування шийки валків прокатних станів, що охолоджуються морською водою). За характером корозійного руйнування розрізняють такі види корозії:

1) суцільна або загальна корозія, що охоплює всю поверхню металу, яка під впливом даного корозійного середовища (води). Суцільна корозія буває рівномірною та нерівномірною. Рівномірна корозія (рис. 5.2) протікає приблизно з однаковою швидкістю по всій поверхні металу, нерівномірна – з неоднаковою швидкістю на різних ділянках поверхні металу (що частіше спостерігається при використанні для водопостачання морської води);

2) місцева корозія охоплює лише деякі ділянки у вигляді окремих плям і виразок або окремих точок діаметром 0,1–2 мм (що частіше спостерігається на хромонікелевій нержавіючій сталі). Місцева корозія може бути також наскрізною та підповерхневою.

Розглянемо суть електрохімічної корозії. Як відомо з фізики, якщо два різні метали помістити в електроліт, то створюється гальванічний елемент. При цьому один метал буде анодом, а інший катодом. Анод посилюватиме свої атоми в розчин і руйнуватиметься, а на катоді виділятимуться атоми елемента, що витісняється з розчину.



Рисунок 5.2 – Рівномірна корозія лежить на поверхні металу

Те саме відбуватиметься, якщо помістити залізо у воду. Вода є електролітом, анодом і катодом буде саме залізо; вірніше, на залізі одні ділянки стануть анодом, інші – катодом. Пояснюється це тим, що на практиці немає однорідних металів. Деяка різниця в структурі окремих ділянок металу, в загартуванні, наявності окалини, подряпини, вм'ятини тощо, призведуть до того, що частина одного і того ж матеріалу (наприклад, труби) стане анодною, а інша – катодною, і утворюється гальванічний елемент. Найчастіше це мікроелементи. Швидкість

корозії пропорційна силі струму, що проходить між двома металами (точніше, двома ділянками того самого металу), яка за законом Ома дорівнює:

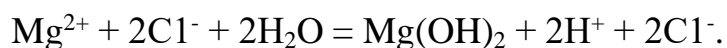
$$I = \frac{E}{R_A + R_B}, \quad (5.1)$$

де E – різниця потенціалів катода E_K і анода E_A ;

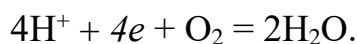
R_A – внутрішній опір, тобто опір рідкої фази (води);

R_B – зовнішній опір, тобто опір металу.

Надсилаючи свої атоми у воду, залізо витісняє з неї водень, який виділяється на катоді, утворюючи окисну плівку. Ця плівка гальмує реакцію і могла б її зовсім припинити, якби не низка обставин, які зазвичай цьому заважають. Наявність окисної плівки на металі зрушує його потенціал у позитивну сторону, отже, метал, покритий окисною плівкою, буде мало роз'їдатися, поки ця плівка зберігається, і тим менше, чим окисна плівка щільніша. При електрохімічній корозії сталі внутрішній опір R_A значно більший за зовнішній R_B , і від його величини великою мірою залежить сила струму, отже, і швидкість корозії. Внутрішній опір, тобто опір рідкої фази, має найбільше значення, коли нею є чиста вода. У чистій та з малим вмістом розчинених солей воді електрохімічна корозія йде дуже повільно, але якщо вода містить хоча б незначні кількості розчинених солей і газів (як CO_2 , SO_2), її електропровідність сильно підвищується (тобто зменшується величина R_A), відповідно зростає сила струму та корозія металу у цій воді. У морській воді, що має високу електропровідність, метали більше зазнають корозії. Електропровідність морської води підвищується внаслідок утримання у воді магнієвих солей:



При корозії металів у воді виділення водню зазвичай не відбувається: у менш активних ділянок металу іони водню приєднують електрони і одночасно з'єднуються з киснем, розчиненим у воді:



Кисень сильно збільшує корозію металів у воді. Особливо його присутність є небезпечною у воді систем оборотного водопостачання. Зміна різниці потенціалів $E_K - E_A$ називається поляризацією корозійного елемента: зміщення потенціалу анода в позитивну сторону при проходженні анодного струму – анодна поляризація; зміщення потенціалу катода в негативну сторону під час проходження катодного струму – катодна поляризація.

Речовини, що перешкоджають процесу поляризації, називають деполаризаторами. Сутність явища поляризації зводиться до того, що електрони переміщуються швидше, ніж протікають електродні реакції. Фізично

це можна уявити так, що при своєму русі в розчин атоми металу захоплюють позитивно заряджені іони, на металі залишаються негативно заряджені іони. Тому між металом та розчином виникає електростатична сила, що перешкоджає корозії. З часом розчин дедалі більше насичується позитивно зарядженими іонами, електростатична сила зростає, корозія уповільнюється і, нарешті, припиняється. Настає так звана поляризація. Зазвичай поляризація гальмує роботу локального елемента та зменшує швидкість електрохімічної корозії.

Чинники, що впливають на швидкість електрохімічної корозії сталі. Існує ряд факторів, що прискорюють або уповільнюють корозію металевих труб та апаратів. Вплив величини рН загальновідомий: вважається, що зі збільшенням рН середовища, за інших рівних умов, корозія зменшується, і навпаки – зі зниженням рН вона збільшується. Значення рН мінімальної корозії буде характерною величиною кожного металу:

Метал	Al	Pb	Sn	Zn	Fe
рН	6,5	8	8,5	11,5	14

У зоні нейтральних значень рН (від 4 до 9) корозія сталі майже не залежить від її величини, оскільки розчинність і швидкість дифузії кисню істотно не змінюються зі зміною величини рН. Зниження швидкості корозії сталі за подальшого збільшення рН (від 10 до 14) пояснюється переважно зменшенням розчинності продуктів корозії в лугах (утворення гідратів). Практично зазначається, що корозія відбувається при рН = 7–7,2 з пухкими відкладеннями. При рН > 7,5 продукти корозії стають міцними, що захищають метал від руйнування.

Вплив температури на швидкість корозії сталі не однаковий. У закритій системі оборотного водопостачання із збільшенням температури води корозія зростає. Це пояснюється гальмуванням вільного виділення кисню із води. Криві, що характеризують залежність корозії від температури, близькі до прямої лінії (рис. 5.3, крива 1).

У відкритій системі оборотного водопостачання при температурі води вище 70–80 °С (крива 2) відбувається зниження корозії внаслідок сильного зменшення розчинності кисню з підвищенням температури.

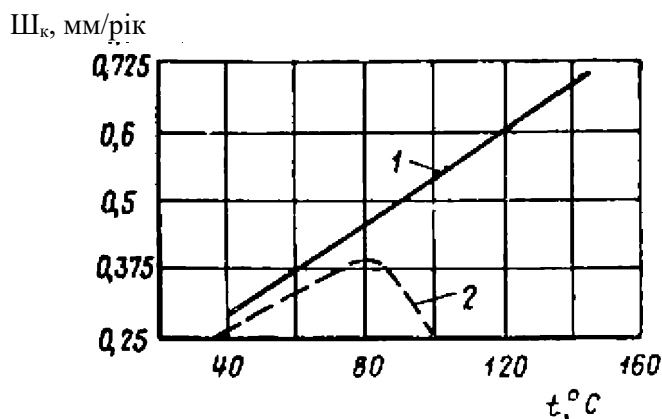


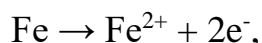
Рисунок 5.3 – Залежність швидкості корозії ($Ш_k$, мм/рік) сталі у воді від температури t , °C:

1 – *закрита система*; 2 – *відкрита система*

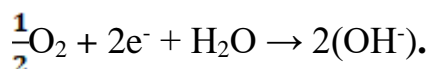
Розчинність кисню у воді змінюється залежно від її температури для одного і того ж парціального тиску: при 0 °C вміст O_2 у воді дорівнює 20 $см^3/л$ (14,16 мг/л); при 20 °C – близько 6 $см^3/л$ (8,84 мг/л); при 40 °C – близько 4,2 $см^3/л$ (6,59 мг/л); при 60 °C – близько 3,15 $см^3/л$; при 80 °C – близько 2,2 $см^3/л$; при 100 °C – 0.

Кисень щодо корозії грає двояку роль: може бути і підсилювачем, і сповільнювачем. Корозія збільшується майже пропорційно до зміни вмісту кисню у воді. При цьому реакції протікають, наприклад, згідно з такими рівняннями:

анодний процес



катодний процес



Кисень необхідний для утворення захисних плівок. Він може руйнувати водневу плівку на катоді і утворювати у питній воді іони OH^{-} . Ці іони є позитивним електродом, який тягне до себе позитивні заряди з металу. Вказана вище реакція називається процесом з кисневою деполаризацією.

Однак у природних водах (лужних і нейтральних) кисень впливає на щільність захисної плівки, що утворюється: при малому вмісті кисню плівка виходить пухкою, погано пристає; при великій концентрації кисню плівка виходить щільною, добре пристає, завдяки чому корозія може припинитися або сповільнитися. За дослідями багатьох авторів, при $pH = 6-8$ та зростанні кількості кисню у воді до 14-20 $см^3/л$ корозія збільшується, потім при більшій

величині – падає і стає незначною. При кислих водах ($\text{pH} < 6$) повільна дія кисню зникає.

Вуглекислота не викликає сильної корозії при лужних та нейтральних водах. При концентрації у воді $\text{CO}_{2\text{своб}}$ у межах до 30 мг/л швидкість корозії вуглецевої сталі залишається майже такою самою, що й у воді, яка не містить вуглекислоти (як у прикладі, наведеному на рисунку 5.4, що дорівнює 0,13–0,15 г/м²·год). Потім вона зростає і перевищує межу допустимості при концентрації $\text{CO}_{2\text{своб}}$ понад 70 мг/л. Негативний вплив вільної вуглекислоти полягає в тому, що вона утримує у розчині солі кальцію і цим перешкоджає утворенню захисної плівки.

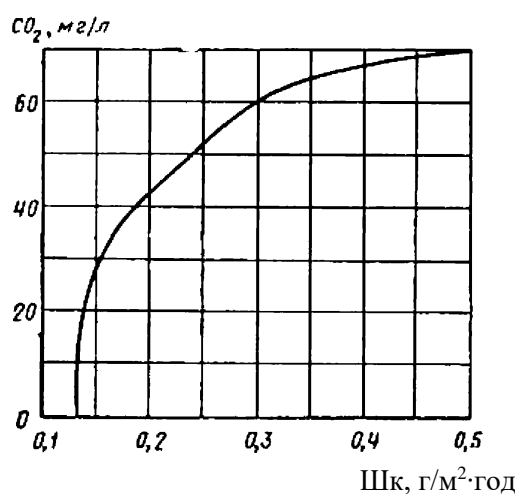


Рисунок 5.4 – Залежність швидкості корозії вуглецевої сталі від концентрації вільної вуглекислоти у воді

Хлориди є прискорювачами корозії з двох причин: по-перше, внаслідок збільшення кислотності води; по-друге, внаслідок руйнівної дії, що надається хлорид-іоном на захисну плівку.

Сульфати впливають на корозію металу при карбонатній твердості більше 2 мг-екв/л незначно, але агресивно впливають на бетон. При вмісті сульфатів до 300 мг/л вода вважається слабо агресивною, до 600 мг/л – середньої агресивності та понад 600 мг/л – сильно агресивною, а понад 1 200–1 500 мг/л – дуже агресивною.

Нітрати вже за невеликих концентрацій викликають окислення металу, що сприяє утворенню на залізі захисної плівки. З погляду корозії вміст нітратів до 20 мг/л не є небезпечним.

Кислоти прискорюють процес корозії, оскільки є деполіаризаторами.

Сірководень посилює корозію. Він може викликати корозію навіть за відсутності кисню, утворюючи елементарну сірку і сульфід заліза, які будуть

катодом щодо основного металу. У присутності кисню сірководень утворює сірчисту та сірчану кислоти, які є деполіаризаторами.

Збільшення швидкості руху води прискорює корозію поверхні металу, що омивається. За відсутності руху води корозійний процес відбувається між поверхнею металу та прилеглими шарами води, тому швидко настає поляризація. При русі в реакцію залучаються нові верстви води, збільшується приплив кисню і корозія посилюється.

Опади незалежно від їхньої природи сприяють швидкому розвитку локальної корозії. Відкладення, що утворилися з механічних домішок, карбонатних або інших, викликають місцевий перегрів металу і швидке його руйнування.

Біологічні обростання завжди пов'язані з осадженням механічних домішок, тому вони викликають утворення локальних корозійних елементів і стимулюють розвиток точкової (піттингової) корозії. В окремих випадках можуть розвиватися бактерії, що відновлюють сульфат (виробляють H_2S), якими викликається також точкова корозія. А в інших випадках можуть розвиватися залізобактерії (при вмісті у воді заліза не менше 0,2 мг/л), які переводять закисне залізо $Fe(OH)_2$ в окисне $Fe(OH)_3$.

Корозія у системах теплопостачання. Металеві труби досі становлять переважну частку загальної кількості трубопроводів, більшість з яких виготовляється з вуглецевих сталей, що піддаються посиленій корозії. На рисунку 5.5 представлено класифікацію видів корозії.



Рисунок 5.5 – Загальна класифікація видів корозії

На рисунку 5.6 представлений фрагмент сталеві гарячоводної труби після 4 років експлуатації, пошкодженої внутрішньою і зовнішньою корозією. Нормативний термін експлуатації такої труби 25 років.



Рисунок 5.6 – Фрагмент трубопроводу гарячого водопостачання після 4 років експлуатації

Методи боротьби з корозією вибираються залежно від її переважного виду, що спостерігається в проєктованих або вже діючих теплових мережах.

Із зовнішньою корозією борються пасивними та активними методами. До пасивних методів, крім захисних покриттів, відносять використання електроізоляційних вставок на трубопроводах і елементах теплової мережі. До активних методів захисту від зовнішньої корозії відносяться зниження корозійної агресивності ґрунту та зменшення зволоження теплоізоляції, а також дренаж, катодний та протекторний захист.

З внутрішньою корозією також борються пасивними та активними методами. Пасивні методи – це нанесення захисних покриттів (оцинкування, емалювання). До активних методів належать деаерація, дегазація та реагентна обробка води, а також силікатування.

Говорячи про проблеми внутрішньої корозії в системах СЦГВ, ми не маємо права не відзначити того факту, що серед усіх республік колишнього СРСР саме в Україні проводилася найзначніша робота із захисту чорних сталевих труб. Ця робота проводилася у різних напрямках: магнітна обробка, силікатування, вакуум-деаерація.

Найбільш ефективним та життєздатним виявився метод вакуум-деаерування гарячої води у м. Запоріжжі.

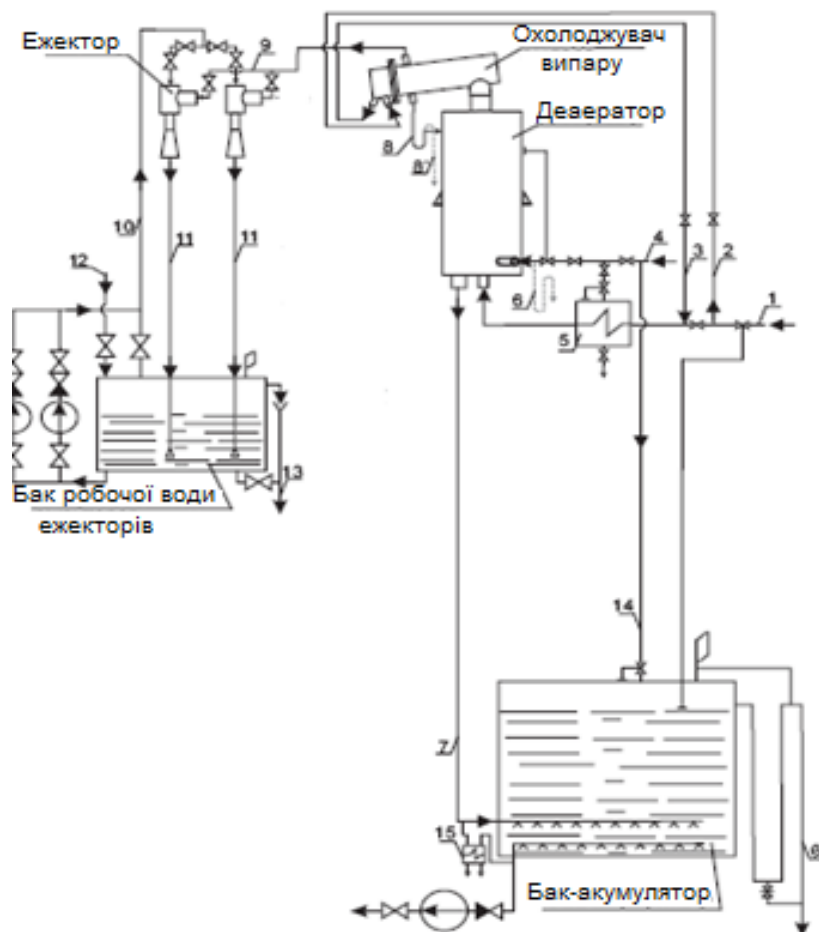


Рисунок 5.7 – Схема вакуумної деаераційної установки:

- 1 – підведення вихідної води; 2 – підведення води в охолоджувач випару; 3 – повернення води з охолоджувача випару; 4 – підведення теплоносія;
- 5 – теплообмінник; 6 – гідрозатвор; 7 – відведення деаерованої води;
- 8 (8') – відведення конденсату із охолоджувача в деаератор;
- 9 – відсмоктування парогазової суміші із охолоджувача випару ежектором;
- 10 – підведення робочої води в ежектор; 11 – скидання водогазової суміші;
- 12 – відведення охолоджуючої води; 13 – відведення нагрітої води;
- 14 – підведення теплоносія; 15 – холодильник для відбору проб двоточковий

На жаль, досвід промислової експлуатації магнітної обробки води у системах СЦГВ не дав позитивного результату.

Потрібно наголосити на головному: корінною відмінністю дефектності систем гарячого водопостачання від систем опалення є характер корозії чорного металу. У системах опалення, де, як правило, циркулює хімічно очищена деаерована вода, в основному виникає зовнішня корозія, викликана різними причинами: блукаючі струми, витікання з інших систем, хімічний склад ґрунту тощо. У системі СЦГВ понад дев'яносто відсотків дефектів – це результат внутрішньої корозії. Посилена внутрішня корозія викликана

хімічним складом недеаерованої водопровідної води, що нагрівається, та «заповітруванням».

Внутрішня корозія трубопроводів гарячої води та особливо циркуляційних трубопроводів – це основна причина «відмов» у всій системі теплопостачання України. За даними теплопостачальних організацій, пориви в мережах централізованого гарячого водопостачання на порядок перевищують кількість поривів у подавальних та зворотних мережах опалення. Ці труби чорні сталеві, без покриття.

Термін служби трубопроводів СЦГВ із чорних сталевих труб 3–5 років – це не виняток, а звичайне явище навіть при добре організованій експлуатації.

Звичайно, якщо труба при нормативі 25 років служить 4 роки, то більшість ресурсів теплопостачальної організації витрачається на ліквідацію поривів для підтримки стабільної роботи СЦГВ. Але при цьому ресурсів треба вшестеро більше, ніж за нормами. У результаті – це і зростання тарифів, і відсутність належної уваги до інших складових системи теплопостачання, і нестабільність роботи та скарги споживачів.

Аналіз показує, що проблема посиленої внутрішньої корозії із зовнішніх та внутрішньобудинкових систем гарячого водопостачання із чорних сталевих труб притаманна всім СЦГВ (незалежно від їхньої протяжності), не залежить від місця приготування гарячої води. Від того, що вода нагрівається в одній бойлерній на ЦТП або в безлічі бойлерних (ІТП), проблема масового виходу з ладу труб не зникне.

У той же час, накопичений піввіковий світовий і частково вітчизняний досвід централізованого гарячого водопостачання наочно свідчить про можливість багаторічної стабільної подачі гарячої води в дуже протяжних зовнішніх і внутрішньобудинкових мережах, без якоїсь її спеціальної обробки за умови застосування в системах оцинкованих, мідних, латунних неметалевих трубопроводів.

5.2 Теоретична та практична оцінка агресивності води

Агресивність тієї чи іншої води характеризується корозією матеріалу обладнання та споруд. Можливість корозії матеріалу (металу, бетону тощо) у воді, що використовується або призначена для використання для виробничого водопостачання, встановлюється на основі досвіду експлуатації. За відсутності досвіду можливість агресивності води в системах водопостачання за схемою з прямоточним, послідовним або оборотним зі ставком-охолоджувачем використанням її для охолодження продукту без зіткнення з ним можна

визначати, користуючись розрахунком на основі порівняння величини рН дійсної з обчисленою величиною рН рівноважного насичення води карбонатом.

Визначення агресивності та ймовірності корозії води в системах оборотного водопостачання з градирнею або бризкальним басейном зазначеним вище методом не рекомендується внаслідок специфічних особливостей оборотної води. Можна вважати, що вода буде слабо агресивною при загальному вмісті розчинених у ній солей до 500 мг/л, у тому числі Cl^- та SO_4^{2-} (сумарно) до 150 мг/л при карбонатній твердості не менше 2,5–3 мг-екв./л і рН не нижче 6. Агресивність води зростатиме зі збільшенням загального вмісту розчинених у ній солей більше 500 мг/л, у тому числі концентрації Cl^- та SO_4^{2-} (сумарно) більше 150 мг/л, зі зменшенням її карбонатної твердості менше 2,5 мг-екв/л і рН нижче 6. Агресивність води підвищуватиметься зі збільшенням концентрації розчиненого в ній кисню понад 6 мг/л.

У процесі корозії металу дуже важливу роль відіграють захисні плівки, що утворюються на його поверхні з продуктів корозії. Такі плівки в трубопроводах природної та оборотної води складаються головним чином з гідрату закису та окису заліза. Спочатку утворюється гідрат закису заліза FeO , який потім перетворюється на окис Fe_2O_3 . При своєму осадженні окис заліза (іржа) захоплює з води частину кальцієвих, а також магнієвих та кремнекислих сполук, внаслідок чого обсяг продуктів корозії у багато разів (у 10–30 разів) перевищує об'єм металу, з якого вона утворилася.

Потім ця плівка ущільнюється і, добре прилягаючи, захищає метал від інтенсивного процесу корозії. Якщо плівка буде пухкою, то під нею триває процес корозії, і вона може стати бугристою. Іноді плівка розривається або ламається, і корозія зосереджується в оголеному місці, що призводить до глибоких виразок. У деяких випадках в окисній плівці утворюються газонепроникні мікробульбашки, які перешкоджають дифузії іонів металу і гальмують процес окислення металу. Можливо також суцільне відшаровування великих залишків плівки і розтріскування її.

Зі сказаного про захисні плівки, що утворюються, випливає, що процес корозії металу не буде однаково інтенсивним весь час. У початковий період пропускання води теплообмінними апаратами і трубами руйнуватиметься наявна на поверхні металу окисна плівка, що складається з Fe_2O_3 (рис. 5.8, етап I); потім відбувається процес формування плівки із гідратованих оксидів заліза (етап II); потім – період ущільнення плівки, що утворилася, на поверхні металу (етап III); нарешті, через якийсь час настає стаціонарний режим корозії (етап IV). Про швидкість корозії слід судити, очевидно, при стаціонарному

режимі, що настає зазвичай через кілька сотень годин (близько 700–800 год) від початку подачі води трактом її руху.

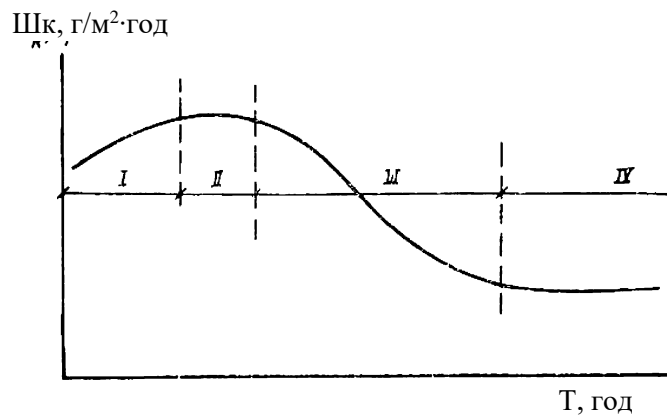


Рисунок 5.8 – Стадії процесу корозії металу та утворення захисної плівки: *I* – руйнування наявної на поверхні металу окисної плівки; *II* – формування плівки з гідратованих оксидів заліза; *III* – ущільнення плівки, що утворилася на поверхні металу; *IV* – стаціонарний режим корозії

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 $\text{г/м}^2\text{-год}$ або мм/рік . Корозійна стійкість неметалічних матеріалів оцінюється якісно щодо зміни міцності, проникності та інших властивостей матеріалів.

Оцінку ступеня агресивного впливу середовища (води) на незахищені метали та неметалеві матеріали потрібно проводити за даними випробувань їх зразків та показниками, наведеними у таблицях 5.1 та 5.2. Випробування зразків матеріалу проводяться у лабораторних або натурних умовах, з експозицією у воді не менше 800 год.

Таблиця 5.1 – Десятибальна шкала корозійної стійкості металів у воді (за ГОСТ 5272-68 або 13819-68)

Група стійкості металу у воді	Швидкість корозії С в г/м ² год	Проникність корозії П у мм/рік	Бал корозійної стійкості
I. Цілком стійкі	<0,000 9	<0,001	1
II. Дуже стійкі	0,000 9–0,004 5	0,001–0,005	2
	0,004 5–0,009	0,005–0,01	3
III. Стійкі	0,009–0,045	0,01–0,05	4
	0,045–0,09	0,05–0,1	5
IV. Відносно стійкі	0,09–0,45	0,1–0,5	6
	0,45–0,9	0,5–1	7
V. Малостійкі	0,9–4,5	1–5	8
	4,5–9,1	5–10	9
VI. Нестійкі	> 9,1	>10	10

Таблиця 5.2 – Оцінка ступеня агресивного впливу води на неметалеві матеріали за зовнішніми ознаками (СН 262-67)

Ступінь агресивного впливу води	Характер корозійного руйнування незахищеного матеріалу після річної експлуатації
Слабка	Слабке лущення матеріалу (бетон та ін.), зміна кольору або виду (деревини, пластиків)
Середня	Пошкодження кутів та граней, волосяні тріщини у бетоні. Розтріскування та розщеплення деревини
Сильна	Яскраво виражене руйнування матеріалу (сильне розтріскування, випадання окремих шматків) зі зниженням міцності

5.3 Методи захисту металу від корозії

При проектуванні систем оборотного водопостачання з вимушеним застосуванням агресивної (стосовно металу та бетону) води потрібно насамперед вибирати стійкі матеріали для обладнання, трубопроводів та

споруд, передбачати їх захист покриттями або відповідну обробку води. Забезпечення корозійної стійкості виробничих апаратів та іншого обладнання має передбачатись у технологічних проектах виробництва з урахуванням ступеня агресивності води. Корозійну стійкість споруд, конструкцій та трубопроводів потрібно забезпечувати засобами, викладеними у таких нормативних документах, як ДСТУ Б В.2.6-145:2010 у частині другого розділу «Бетонні та залізобетонні конструкції» за винятком пунктів 2.44, 2.47-2.61, ДСТУ Б В.2.6-193:2013 Захист будівельних конструкцій від корозії (у частині металевих конструкцій), а також інших спеціальних вказівках. Захист металу від корозії може бути здійснено багатьма способами. Вибір того чи іншого з них у кожному окремому випадку має ґрунтуватися насамперед на знанні причин виникнення корозії, її форми тощо. При цьому необхідно узгодити такі вимоги: 1) ефективність захисту; 2) збереження металом всіх очікуваних від нього механічних властивостей; 3) захист має бути якомога дешевшим. Основними методами захисту металів від електрохімічної корозії у системах оборотного водопостачання є такі:

1. Обробка корозійного середовища, що становить переважно нейтралізацію кислих стічних вод (наприклад, у системах обороту промивних вод при травленні металу в кислоті). До цього методу може бути віднесено також знекиснення води, але воно в системах оборотного водопостачання не застосовується;

2. Обробка води уповільнювачами корозії з утворенням захисних окисних та інших неметалевих плівок неорганічними та органічними:

а) до неорганічних сповільнювачів корозії відносяться нітрат натрію NaNO_3 , хромат калію K_2CrO_4 та біохромат калію $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, силікат натрію Na_2SiO_3 , фосфати (гексаметафосфат натрію, триполіфосфат натрію та динатрій);

б) до органічних уповільнювачів корозії відносяться глюкозати хрому, сульфоглюкозати натрію тощо;

3. Захисні покриття металу лаками, фарбами, смолами та емалями;

4. Електрохімічний протекторний захист металу. Застосування того чи іншого методу має ґрунтуватися на дослідженнях як швидкості корозії металу без застосування захисту, так і ефективності захисту.

5.4 Дослідження швидкості корозії ефективності захисту металу

Процес корозії сталі у кожній воді досліджується у натурних умовах або на лабораторній установці. Для дослідів щодо дослідження корозійних

властивостей води та ефективності захисту металу тим чи іншим методом використовуються прямокутні пластинчасті маркіровані зразки з вуглецевої сталі (рис. 5.9), розміром 30 мм × 15 мм × 2 мм або 60 мм × 20 мм × 3 мм, а також інші, які називаються часто «індикаторними пластинками». Поверхня кожного зразка з усіх боків ретельно механічно обробляється, зачищається наждачним папером № 0. Перед початком досліду зразки знежирюються етиловим спиртом, протираються фільтрувальним папером та зважуються на аналітичних вагах з точністю до 0,000 1 г.

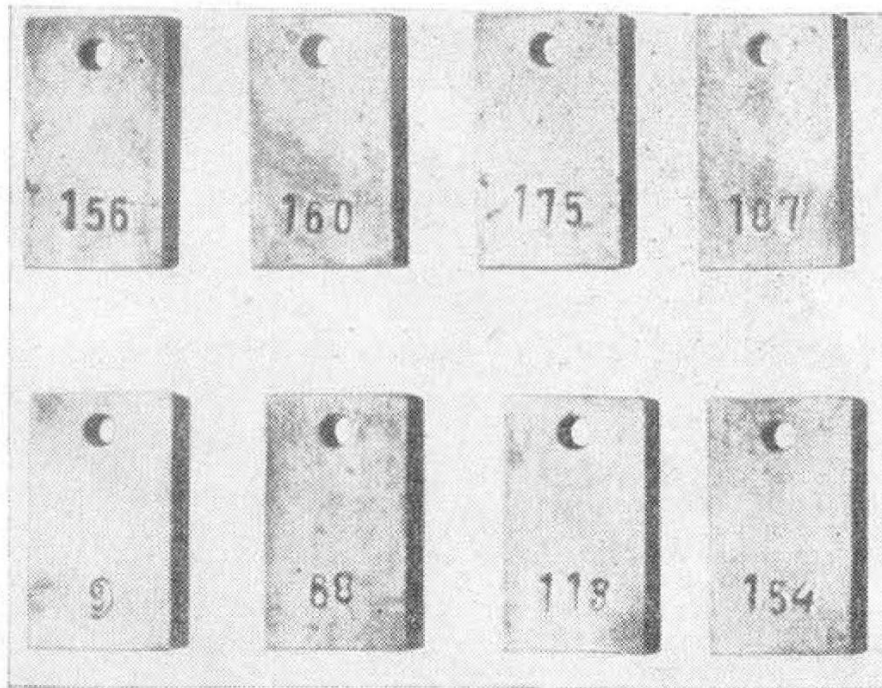


Рисунок 5.9 – Пластинчасті зразки з вуглецевої сталі для дослідження корозійності води та ефективності захисту металу

Дослідження корозії в динамічних лабораторних умовах може проводитися в баках, заповнених водою (рис. 5.10). У ці баки з водою, необробленою або обробленою тими або іншими реагентами (інгібіторами), поміщаються марковані і підготовлені сталеві зразки, що прикріплюються до диска, який обертається зі швидкістю, що відповідає швидкості води в теплообмінних апаратах або трубопроводах. За необхідності в бак може бути поміщений електронагрівач води з терморегулятором для автоматичної підтримки в ньому заданої температури води.

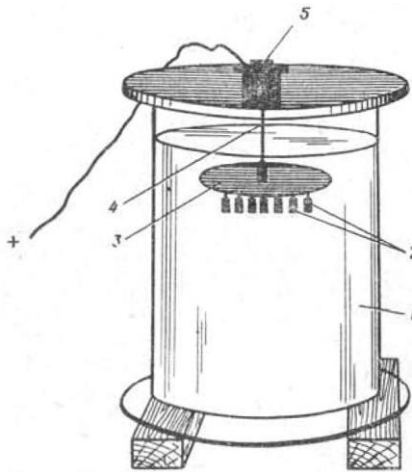


Рисунок 5.10 – Лабораторна установка для дослідження корозійності води та ефективності методів захисту металу в динамічних умовах:
 1 – бак із водою ємністю 20 л; 2 – марковані пластинки; 3 – диск, що обертається зі зразками;
 4 – вал, що з'єднує диск із електродвигуном 5

Для дослідження корозії в натурних умовах підготовлені марковані індикаторні сталеві пластинки (1) (рис. 5.11) набираються на дрiт (2), який ізолюваний поліхлорвініловою стрічкою, з відділенням їх один від одного керамічними кільцями (3). Укріплені на одному загальному дроті всі зразки занурюються в потік води в резервуар у теплообмінному апараті. Пластинки не повинні вібрувати у потоці води.

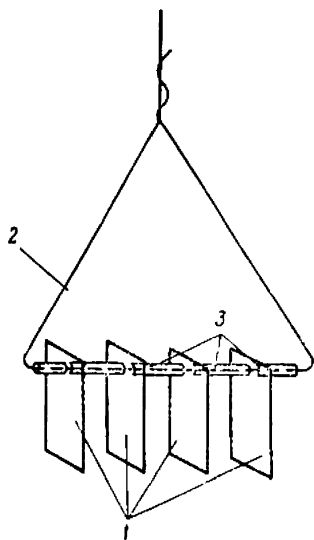


Рисунок 5.11 – Кріплення зразків маркованих пластин зі сталі, що досліджується на корозійну стійкість у водному середовищі:
 1 – марковані пластинки зі сталі; 2 – дрiт ($d = 2-4$ мм), ізолюваний поліхлорвініловою стрічкою;
 3 – керамічні кільця для ізоляції сталевих пластинок

Кількість пластинок, що випробовуються, в лабораторних або натурних умовах повинна бути такою, щоб у кожену експозицію знімалося не менше трьох зразків. Знімаються пластинки по черзі через встановлені проміжки часу експозиції їх у воді, наприклад, через 168, 336, 504, 672 і 1008 год.

Вилучені з досліджуваної води зразки промиваються водою, очищаються від продуктів корозії чорнильною гумкою, потім м'якою пемзою і знову промиваються, опісля протираються фільтрувальним папером та спиртом; іноді може знадобитися обробка їх у 5 %-му розчині інгібованої кислоти. Після 20-хвилинного просушування в ексикаторі зразки зважуються на аналітичних терезах.

За зовнішнім виглядом зразків визначається характер корозійних поразок: корозія може бути рівномірною або нерівномірною, виразковою або точковою. Отримана різниця у вазі кожної пластинки, як і всієї групи пластинок кожної експозиції, до встановлення у воду і після закінчення терміну випробування вказує на наявність корозії.

Для кількісної оцінки корозії металу використовується швидкість корозії C_k , яка становить відношення різниці між вагою металу у вихідному стані M_1 і після випробування (кородованого) M_2 у г до одиниці досліджуваної поверхні F м² за одиницю часу

$$C_k = (M_1 - M_2) / FT, \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}, \quad (5.1)$$

де T – час перебування зразка в досліджуваній воді в годинах.

При цьому отримані результати швидкості корозії за втратою ваги C_k у г/м²·год перераховуються на лінійну швидкість або проникність корозії Π за формулою

$$\Pi = 8,76 \frac{C_k}{\rho}, \text{ мм за рік}, \quad (5.2)$$

де 8,76 – коефіцієнт перерахунку;

C_k – швидкість корозії в г/м²·год;

ρ – щільність металу, яка становить для вуглецевої сталі 7,85 г/см³.

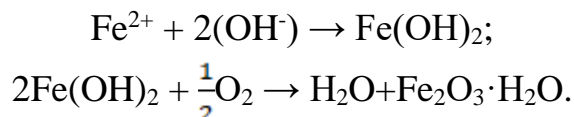
Результати вимірювань та обчислень записуються до таблиці. У цій же таблиці вказується група і бал корозійної стійкості металу, що випробовувався в досліджуваній воді. А за результатами дається оцінка корозійних властивостей води, встановлюється необхідність обробки води або інший метод захисту металу від корозії, визначається ефективність прийнятого методу захисту або дозування реагенту, що вводиться.

Варто пам'ятати, що із зазначеної оцінки приймається стаціонарний режим корозії (рис. 5.8, етап IV), для повноти картини бажано за отриманими даними досліджень побудувати криву швидкості корозії.

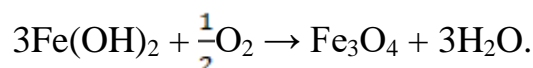
5.5 Утворення захисної карбонатної плівки на металі

Найбільш відомою і дешевою захисною плівкою є так звана карбонатна плівка, що самостійно утворилася, яка складається переважно з оксидів заліза (50–70 %) і карбонату кальцію (10–20 %), решта – головним чином кремнієва кислота. Така тонка плівка, що добре прилягає до поверхні металу, добре його захищає від корозії. Однак товщина цієї плівки не повинна бути більшою за 0,5 мм, щоб уникнути зменшення теплопередачі стінки апарату від охолоджуваного продукту у воді. Карбонатну плівку регульованої товщини потрібно створювати шляхом вибору відповідного розміру освіження оборотної

води (продування системи) або обробки додаткової води вапном (вапняним молоком) або вапном і содою. Виділення карбонатної плівки на чисту теплообмінну поверхню та стінки трубопроводів з утворенням щільної захисної плівки може відбуватися при карбонатній твердості оборотної води не менше 1,5–2 мг-екв/л, наявності у воді Ca^{2+} та вмісті Cl^- не більше 50 мг/л при відсутності або дуже малому скиданні води із системи оборотного водопостачання. При більшій карбонатній твердості води вміст Cl^- у ній може бути допущено до 100 мг/л і більше. Самоутворення захисної плівки пояснюється тим, що в результаті корозії водопровідних металевих трубопроводів у нейтральному або слаболужному середовищі спочатку утворюється гідроксид двовалентного заліза, який при перевищенні межі розчинності випадає в осад і в присутності достатньої кількості кисню окислюється далі до гідроокису тривалентного заліза



Однак якщо вміст кисню у воді недостатній, то утворюється магнетит.



У цих умовах магнетит утворює пухкі шари, які не в змозі запобігти корозії сталі.

Завдяки пристінковій лужності поряд з протіканням цих реакцій у граничному шарі відбувається зсув рівноваги «вапно – вуглекислота» в бік виділення карбонату кальцію, який входить у захисну карбонатну плівку.

При низькій карбонатній твердості води захисну плівку CaCO_3 на теплообмінній поверхні та стінках можна створити обробкою води. Вапном зв'язується надлишок вільної вуглекислоти ($\text{CO}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{HCO}_3^-$), з'являється додаткова кількість іонів CO_3^{2-} ($2\text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$), що утворює з іоном Ca^{2+} осад CaCO_3 , який і відкладається у вигляді плівки на поверхні металу, що омивається водою. До утворення карбонатної плівки поверхня, що захищається нею, повинна бути добре очищена від продуктів корозії та інших осадів.

Необхідну дозу лугу визначають розрахунком та коригують за індикаторними пластинками. Коли шар карбонату кальцію досягне 0,5 мм, дозування лугу можна зменшити до величини, достатньої для збереження цього захисного шару. Товщину захисної плівки, що контролюється, бажано регулювати так, щоб, з одного боку, попередити інтенсивне відкладення CaCO_3 , а з іншого – забезпечити захист від корозійного впливу води. У зв'язку з широкими межами зміни температур, з якими доводиться мати справу

в кожній окремій системі охолодження оборотного водопостачання, дуже важко, а в багатьох випадках і зовсім неможливо підтримувати якість охолоджуючої води такою, щоб отримувати рівномірний шар карбонату кальцію у всій системі. При цьому в місцях посиленої тепловіддачі і з високою температурою нагрівання стінки може відбуватися відкладення карбонату кальцію, і в той же час на холодніших ділянках може йти активна корозія через повну відсутність захисного карбонатного шару. Іноді такий захисний шар карбонатної плівки в теплообмінних апаратах (0,5 мм) утворюється саморегулюванням його в такій системі оборотного водопостачання.

Карбонатна плівка, що утворюється, іноді може і не забезпечувати надійний захист металу від корозії, проте її присутність зводить до мінімуму потрібну кількість інших інгібіторів.

5.6 Обробка води сповільнювачами корозії

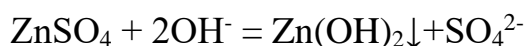
Уповільнювачі корозії, звані також інгібіторами, за своєю природою бувають іонними чи молекулярними сполуками. Вони адсорбуються на поверхні металу, що кородує, електрохімічно або хімічно; можлива також адсорбція їх унаслідок одночасної дії різних сил. Адсорбуючись на поверхні кородуючого металу, сповільнювачі гальмують протікання анодного або катодного процесу електрохімічної корозії, або, утворюючи плівку, яка екранує, ізолюють метал від електроліту, або ж мають змішаний характер уповільнюючої дії. До анодних уповільнювачів електрохімічної корозії металів відносяться кисень, нітрити, хромати тощо, які, пасивуючи метал, ускладнюють перебіг анодного процесу, тобто уповільнюють корозію. Механізм плівкової уповільнюючої дії, наприклад хромат-іона, на корозію заліза можна уявити так: хромат-іон реагує з іоном заліза, що виник у порі захисної окисної плівки, і утворює нерозчинне з'єднання, яке, осідаючи, закриває пору і перешкоджає корозії заліза. Механізм адсорбційної дії того ж хромат-іона, який містить іон хрому і тетраедрично розташовані навколо нього чотири іони кисню, можна уявити так: розташування зарядів таке, що центр іона дуже позитивний і притягує електрони на поверхні заліза, що до певної міри надає нерухомість електронам, а іони кисню надають таку ж дію на іон-атоми металу, що затримує корозію заліза. На думку деяких дослідників, адсорбційна взаємодія хроматів із залізом супроводжується утворенням поверхневої сполуки.

При недостатній концентрації анодних уповільнювачів для настання повної пасивації металу (особливо в присутності іонів, що депасивують,

наприклад іонів Cl^-) вони є небезпечними, оскільки можуть викликати прискорення загальної або місцевої корозії, діючи як катодні деполяризатори.

До катодних сповільнювачів електрохімічної корозії відносяться речовини, що перевищують перенапругу катодного процесу при їх адсорбції на катодних ділянках поверхні металу, що кородує: солі або оксиди миш'яку і вісмуту, желатину та інші органічні речовини. При недостатній концентрації у воді вони не викликають посилення корозії.

До екрануючих сповільнювачів електрохімічної корозії металів відносяться речовини, що адсорбуються на металі і утворюють хемосорбційний шар або частіше захисну плівку нерозчинних продуктів, взаємодіючи з первинними анодними продуктами корозії – іонами металу, що розчиняється (NaOH і Na_2CO_3 утворюють гідроокиси чорних металів, фосфати і бензоати заліза, Na_2SiO_3 – силікати заліза та алюмінію) або з первинними катодними продуктами – гідроксильними іонами при кисневій деполяризації:



До змішаних уповільнювачів електрохімічної корозії металів відносяться речовини, що гальмують перебіг обох електродних процесів.

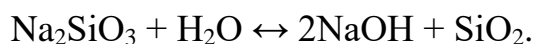
Ефект дії уповільнювачів корозії металів прийнято характеризувати величиною захисної дії

$$\text{ZE} = \frac{(\text{Ск}_1 - \text{Ск}_2)}{\text{Ск}_2} 100\%, \quad (14.4)$$

де Ск_1 і Ск_2 – швидкість корозії металу без уповільнювача та з уповільнювачем у $\text{г/м}^2\cdot\text{год}$.

Зауважимо, що в системах прямооточного та послідовного використання води для охолодження продукту та обладнання обробку води інгібіторами для боротьби з корозією металу не застосовують, оскільки це потребувало б великої кількості хімікатів і викликало б забруднення водою. Для охолоджувальних систем оборотного водопостачання з градирнями та з бризгальними басейнами досить добрих (надійних та недорогих) інгібіторів ще не розроблено. Універсальна дієвість японського препарату «Кока-Рокем», розрекламованого фірмами «Ніссе Компані» та «Тохо токай Компані», перевіркою не підтверджується, вартість його непомірно висока.

Обробка води силікатом натрію. Розчинення силікату натрію у воді супроводжується гідролізом з утворенням їдкого натру та двоокису кремнію за реакцією:



Двоокис кремнію адсорбується на поверхні металу разом з окислами заліза, утворюючи захисну плівку, що перешкоджає подальшій корозії. Однак обробка води силікатом натрію при карбонатній твердості понад 5,5 мг-екв/л не рекомендується; вода повинна мати рН>6. Ефективна доза силікату натрію більшою мірою залежить від вмісту у воді хлориду.

Силікатну плівку регульованої товщини потрібно створювати на попередньо окисленій теплообмінній поверхні та стінках трубопроводів обробкою води розчином силікат-брили або рідкого скла при рН більше 6, але менше 8,5 та карбонатній твердості не більше 5,5 мг-екв/л. Відношення SiO₂:Na₂O – кремнеземистий модуль має дорівнювати 2,4–3,2.

Дозу силікату натрію рекомендується призначати залежно від вмісту хлоридів та сульфатів у воді, що обробляється. Орієнтовно можна прийняти такі дози:

Cl ⁻ + SO ₄ ²⁻ в мг/л	50	100	200	300	400	500	600	650
Доза SiO ₂ в мг/л	10	12	18	25	30	35	38	40

Для прискореного утворення захисної плівки протягом 1,5–2 місяців дозу силікату натрію слід збільшити вдвічі. Введення у воду SiO₂ більше 100 мг/л не рекомендується через небезпеку утворення відкладень, що важко видаляються. Розчин рідкого скла (технічний продукт містить 30 % SiO₂) можна готувати концентрацією 2–5 % за вмістом SiO₂ при температурі води до 40 °С. Розчин із силікат-брили можна отримати фільтруванням гарячої води (понад 40 °С) через роздроблену брилу на зерна крупністю 5–7 см, що завантажуються в напірний фільтр-дозатор; вага 1 м³ завантаження вказаних зерен становить близько 1 000 кг. Швидкість фільтрування води при розчиненні силікат-брили можна приймати 300–500 м/год.

Обробка води хроматами. Може бути використаний хромат калію K₂CrO₄ та біхромат калію K₂Cr₂O₇. У процесі обробки води відбувається спільне осадження гідроксиду заліза та хрому у порах окисної плівки на поверхні металу. Ці гідроксиди блокують пори металу і зупиняють процес корозії. У зарубіжній практиці цей метод боротьби з корозією металу в системах оборотного водопостачання успішно застосовується протягом багатьох років. Концентрації хроматів в окремих системах водопостачання коливалися від 200 мг/л до 500 мг/л залежно від вмісту у воді хлориду (як і при обробці води силікатом натрію); рекомендується підтримувати рН води 7,5–9,5. Рекомендується для прискореного утворення захисної плівки протягом

1–3 місяців підтримувати концентрацію хроматів у воді 500–1 000 мг/л, а потім поступово знижувати у 2–2,5 рази.

Хромати – найефективніші інгібітори корозії, що зводять до мінімуму втрати металу. Крім того, вони виконують роль стерилізаторів у боротьбі з біологічними обростаннями, і таким чином відпадає необхідність у додаткових заходах для боротьби з ними.

Разом з тим хромати мають і істотний недолік: захисна плівка, що утворюється, здатна пропускати через свої пори іон хлору, який викликає руйнування металу під цією плівкою; при недостатній кількості хромату стимулюється розвиток виразкової корозії. Застосування цього інгібітора в кожному конкретному випадку має бути надіслано лабораторним і виробничим дослідам.

Обробка води фосфатами. При введенні у воду гексаметафосфату натрію утворюються малорозчинні сполуки метафосфату кальцію $\text{Ca}[\text{Ca}_2(\text{PO}_3)_6]$ і метафосфату магнію $\text{Mg}[\text{Mg}_2(\text{PO}_3)_6]$, які і відкладаються на поверхні металу, що омивається водою, утворюючи плівку, ізолюючу метал від води. До утворення метафосфатної плівки поверхня металу, що захищається нею, повинна бути добре очищена від продуктів корозії.

Для швидкого створення захисної метафосфатної плівки при пуску системи оборотного водопостачання після побудови або ремонту (очищення) заповнюють її водою з концентрацією гексаметафосфату натрію (у перерахунку на P_2O_5) близько 100 мг/л протягом 2–3 діб підтримують циркуляцію цієї води. Надалі збереження захисної плівки забезпечується підтримкою гексаметафосфату натрію в оборотній воді практично у кількості 2–5 мг/л P_2O_5 .

На відміну від хроматів фосфати сприяють розвитку біологічних обростань, особливо водоростей. Уповільнення корозії поліфосфатами не так ефективне, як хроматами, тому останнім часом почали застосовувати ті й інші лише у комбінації. Недоліком поліфосфатних інгібіторів є їх схильність перетворюватися на ортофосфати, які в результаті взаємодії з кальцієм швидко виводяться з розчину, що призводить до зниження концентрації PO_4 та викликає утворення шламу або накипу, які стимулюють розвиток сильної корозії. Однак поліфосфати не мають недоліків, характерних для хроматів, – вони не токсичні, при введенні їх у воду в недостатній кількості не здатні стимулювати точкову та виразкову корозію.

У США запропоновано метод обробки охолоджуючої води, що запобігає утворенню накипу та корозії. У воду вводять поліфосфати у концентрації 5–80 мг/л, ортофосфати у концентрації 1–40 мг/л, органічний

комплексоутворюючий реагент у концентрації 10–25 мг/л. Концентрація реагентів, що додаються, залежить від лужності води: при збільшенні лужності концентрація комплексоутворюючого реагенту збільшується, ортофосфатів – зменшується, поліфосфатів – залишається незмінною. Як комплексоутворюючі реагенти можуть бути використані поліамінокарболові кислоти, їх солі, поліаміноспирти, наприклад етилендіамінтетраоцтова кислота та її солі. Можна також використовувати гідроксилкарбонові кислоти, молекули яких містять 4–7 атомів вуглецю, наприклад лимонну, глюконову тощо.

Обробка води органічними інгібіторами. Органічні інгібітори корозії в системах оборотного водопостачання широкого застосування не знаходять внаслідок їх високої вартості та низької ефективності. Найбільшу увагу з органічних інгібіторів корозії заслуговують глюкозати хрому, які вважаються особливо ефективними в системах з гарячою водою (80–95 °С) та зниженим вмістом кисню. У зарубіжній пресі зустрічаються згадки про сульфоглюкозат натрію, емульсовані масла, похідні гліцерину і відпрацьований сульфітний луг як про інгібітори, але описи лабораторних дослідів та застосування на практиці відсутні.

Обробка води іншими інгібіторами. Створення плівок на теплообмінній поверхні та стінках трубопроводів з метою захисту сталі від корозії можливе за допомогою інших інгібіторів, наприклад, кремнефтористого цинку, а також сумішей поліфосфатів і хроматів, динатрійфосфату та біхромату тощо. З огляду на відсутність дослідження цих та інших мінеральних та органічних інгібіторів корозії потрібно у кожному випадку проводити попередні дослідження на моделі щодо їх ефективності та умов застосування. У таких випадках у проектах систем оборотного водопостачання заходи, що застосовуються, потрібно вважати як експериментальні та дослідно-промислові.

5.7 Захисні покриття металу смолами, лаками, фарбами та емалями

Органічні та неорганічні покриття поверхні металу з метою захисту його від корозії знаходять все ширше застосування. Для цього намагаються використати великий асортимент смол, лаків, фарб та емалей.

Кожне із застосовуваних покриттів повинно відповідати таким вимогам: 1) створювати бар'єр проникності по відношенню до води, кисню та агресивних хлор-іонів; 2) гальмувати перебіг корозійного процесу; 3) забезпечувати тривалий термін служби.

Перелік можливих матеріалів для покриттів металу є у спеціальній літературі.

Смоли, лаки та фарби. Найбільшого поширення в системах оборотного водопостачання набуло покриття поверхні металу теплообмінних апаратів (з боку охолоджуючої води) бакелітовим лаком. Хоча воно зберігається лише певний проміжок часу, проте не вимагає великих експлуатаційних витрат. Покриття бакелітовим лаком проводиться на попередньо очищену від корозії поверхню і кілька шарів загальною товщиною 150–200 мк. Через кілька місяців експлуатації починається порушення еластичності та відшарування покриття, особливо при високих температурах продукту, що охолоджується; при цьому відновлення частково зруйнованого покриття є справою складною та практично неможливою. При покритті трубок та трубних решіток теплообмінних апаратів бакелітовим лаком (або іншим матеріалом) трубопроводи та арматура системи оборотного водопостачання залишаються незахищеними від корозії. Таке покриття може бути вдосконалено шляхом: а) застосування хімічного (ретельнішого) очищення поверхні металу від корозійних відкладень перед нанесенням захисного покриття лаком; б) фосфатної обробки поверхні металу для покращення адгезії (зчеплення) лакового покриття; в) введення в бакеліт добавок – алюмінієвого, магнієвого або цинкового пилу, окису цинку та інших, що надають еластичність лаку і збільшують термін його служби. Усі операції покриття лаком здійснюються на заводі або у спеціальному цеху, куди доставляються теплообмінні апарати для цієї мети. Нанесення смол та фарб на поверхню металу, який захищають від корозії, аналогічне.

5.8 Електрохімічний захист

Такий спосіб захисту металу від корозії (називається також катодним протекторним) заснований на тому, що у воді, яка омиває метал, що може піддаватися корозії, створюється електрична пара, у якій метал, що захищають, грає роль катода, а інший металевий електрод, поміщений у ту ж воду і з'єднаний з ним електрично, – роль анода, що розчиняється. Електрична пара може утворюватися як з допомогою природної різниці потенціалів, так і шляхом накладання постійного струму від стороннього джерела. У першому випадку другий метал повинен мати нижчий, ніж перший, потенціал розчинення (для захисту заліза можна застосовувати цинк та алюміній). У другому випадку для посилення ефекту захисту використовується джерело постійного струму, до негативного полюса якого приєднується метал, який захищають (що стає катодом).

Практика застосування простого протекторного захисту конденсаторних трубок не дала ефективних результатів. Найкращі результати були отримані при організації електрохімічного захисту, здійсненої багато років тому, яка успішно працює на заводі «Азовсталь» та інших заводах для боротьби з корозією шийок валків прокатних станів, що охолоджуються морською водою. Шийки валків приєднані тут до негативного полюса джерела постійного струму, а сталеві стержні, поміщені у воду, що омиває валки, – до позитивного полюса (рис. 5.12).

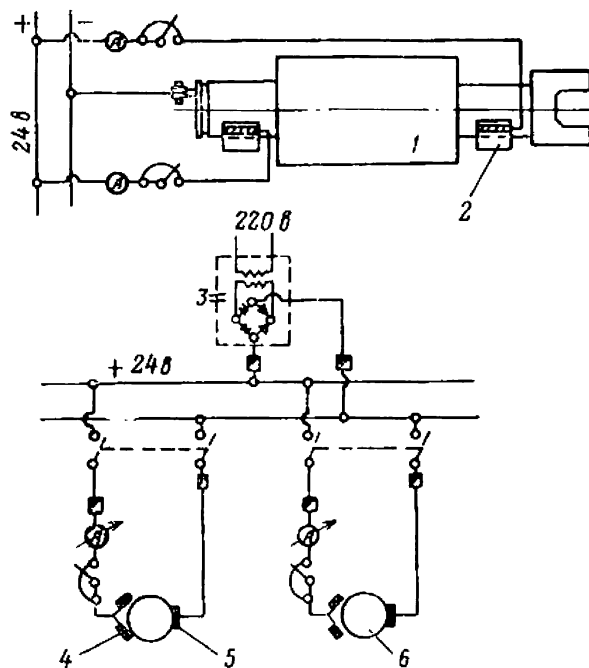


Рисунок 5.12 – Схема електрохімічного (катодного) захисту шийок валків прокатного стану від корозії, що викликається водою:

*1 – валок; 2 – вкладки підшипника; 3 – селеновий випрямляч ВСА-бн;
4 – електрод; 5 – щітка; 6 – шийка валка*

При цьому підшипники поміщаються як би в електричну ванну, де шийка валка утворює катод, який захищають, а сталеві стержні – руйнований анод. Щільність струму має бути досить великою, для того щоб «придушити» роботу корозійних мікрогальванічних елементів на поверхні шийок валків.

Як джерело постійного струму застосована селенова випрямна установка типу СВА-СМ, що дає напругу 24 В і силу струму до 25 А. Негативний полюс джерела струму з'єднаний з шийкою валка за допомогою контакту, виконаного у вигляді щітки (рис. 5.13).

Рисунок 5.13 – Деталі катодного протекторного захисту шийок валків прокатного стану від корозії, що спричиняється водою:

а – вкладки з електродами;

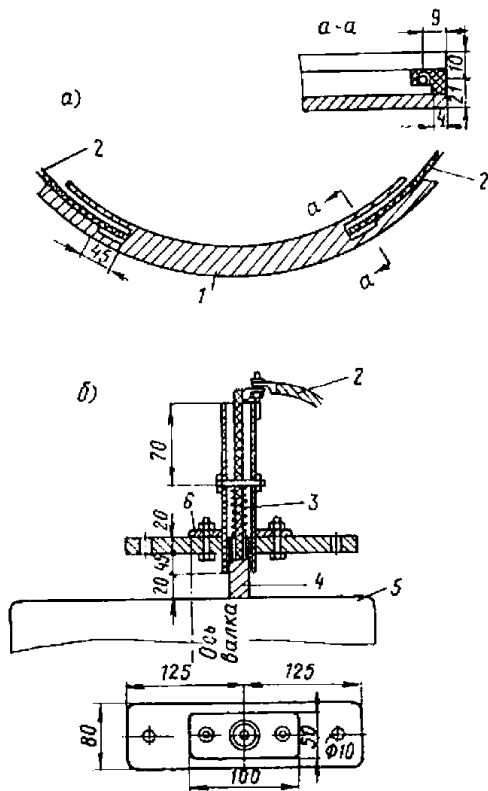
б – контактоутримувач;

1 – текстолітовий вкладкиш підшипника;

2 – провід $d = 2$ мм, припаяний до електрода;

3 – пружина; *4* – контактна щітка; *5* –

торець шийки валка



Така форма контакту створює можливість підведення струму до шийки незалежно від швидкості та напрямку її руху. Два сталевих електроди у вигляді стержнів з вуглецевої сталі, довжиною трохи меншою

за ширину текстолітового вкладкиша, поміщаються у спеціальних пазах текстолітових вкладкишів. На кожен текстолітовий вкладкиш підшипника поміщаються два електроди. Кожна пара цих електродів з'єднується між собою паралельно. Електроди не повинні торкатися корпусу подушки підшипника та шийки валка.

Вся установка електричного захисту шийок валків від корозії складається з джерела постійного струму, щита управління з регулятором навантаження контрольно-вимірювальними приладами, щіткових контактів для підведення струму до шийок валків та сталевих електродів.

Щільність струму на катоді рекомендується підтримувати до $0,05$ а/дц². У результаті організації електричного захисту шийок валків їхній стан не погіршується, вони набувають гладкої полірованої поверхні. При прокаті близько 100 000 т металу, наприклад на стані блумінгу, знос текстолітового вкладкиша досягає лише 1,5–2 мм замість 20 мм, як це було раніше.

5.9 Лабораторний контроль та оцінка ефективності обробки води та захисних покриттів

Проведення контролю за корозією металу та за його захистом тим чи іншим методом є справою не менш складною, ніж при запобіганні утворенню карбонатних відкладень та біологічних обростань у системах оборотного водопостачання. До того ж, усі вони взаємопов'язані. Контроль за корозією та ефектом захисту ведеться трьох видів: лабораторний, позалабораторний та експлуатаційний. Спільна оцінка всіх трьох видів контролю дозволяє зробити належні висновки та визначити необхідні заходи. Можуть виявитися необхідними дослідження корозії та методів її захисту на зразках у штучно створюваних умовах. Позалабораторний контроль за процесами корозії та діями захисту здійснюється з використанням металевих зразків (індикаторних пластинок), які випробовуються, в експлуатаційних умовах шляхом занурення їх на певні терміни в потік оборотної води в теплообмінному апараті, трубопроводі або в резервуарі градирні. Експлуатаційний контроль становить періодичний (краще систематичний) огляд теплообмінника апаратів, трубопроводів, арматури та іншого обладнання. Результати лабораторного та позалабораторного контролю фіксуються у журналах, експлуатаційні огляди мають бути оформлені актами. Узагальнення всіх видів контролю фіксується у технічних звітах.

Контрольні запитання

1. Що називають корозією металу?
2. На які типи поділяється корозія за механізмом її перебігу, за характером руйнування металів?
3. Що називається хімічною корозією? В яких середовищах вона відбувається?
4. Які чинники та як впливають на швидкість корозії? 5. У чому полягає сутність електрохімічної корозії?
5. Методи стабілізації води для попередження корозії й захисту трубопроводів.
6. У чому полягають методи дії на корозійне середовище?

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. ДержСанПіН 2.2.4-171-10 (ДСанПіН 2.2.4-400-10). Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. – Чинний від 12–05–2010. – Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 2010. – 25 с.
2. Орлов В. О. Водопостачання промислових підприємств : навч. посіб. / В. О. Орлов, Л. Л. Литвиненко, А. М. Орлова. – Київ : Знання, 2014. – 278 с.
3. Водне господарство промислових підприємств : навч. посіб. / Т. С. Айрапетян – Харків : ХНАМГ, 2010. – 280 с.
4. 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 : підручни / 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. Особенности промышленного водоснабжения / С. М. Андоньев, В. М. Жильцов, Г. М. Левин и др./ Под ред. С. М. Андоньева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Київ : Будівельник, 1981. – 246 с.
7. Тугай А. М. Водопостачання : підручник / А. М. Тугай, В. О. Орлов. – Київ : Знання. – 2009. – 735 с.
8. Запольський А. К. Фізико-хімічна теорія коагуляційного очищення води / А. К. Запольський ; Національний університет харчових технологій. – Київ : НУХТ, 2009. – 39 с.
9. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підручник / Запольський А. К.– Київ : Вища школа, 2005. – 671 с.
10. ДБН В.2.5 -74: 2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Чинний від 01–01–2014. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 172 с.
11. Орлов В. О. Водопідготовка : навч. посіб. / В. О. Орлов , Зошук А. М. – Рівне : НУВГП, 2004. – 215 с.
12. Айрапетян Т. С. Водопідготовка на підприємствах теплоенергетики з використанням Na-катіонітових фільтрів : монографія [Електрон. ресурс] / Т. С. Айрапетян, І. М. Чуб ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; перекл. з рос. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 151 с. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/65101/>, вільний (дата звернення: 16.05.2024). – Назва з екрана.

13. Правила будови і безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів (зі змінами та доповненнями) : ДНАОП 0.00-1.08-94 / Комітет по нагляду за охороною праці України. – Київ : Основи, 1999. – 592 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_all/cgiirbis_64.exe, вільний).

14. Гомеля М. Д. Сучасні методи кондиціонування та очистки води у промисловості : монографія / М. Д. Гомеля, В. М. Радовенчик, Т. О. Шаблій. – Київ : Графіка, 2007. – 168 с.

15. Іванченко Л. В. Хімія і технологія води : навч. посіб. / Л. В. Іванченко, В. Я. Кожухар, В. В. Брем. – Одеса : Екологія, 2017. – 208 с.

16. Кишневський В. А. Сучасні методи обробки води в енергетиці : [навч. посіб. для студентів спеціальностей «Теплоенергетика», «Атомна енергетика» та експлуатаційного персоналу ТЕС і АЕС] / В. А. Кишневський. – Одеса : ОГПУ, 1999. – 196 с.

17. Процеси та апарати хімічної технології : підручник : у 2 ч. / [Л. Л. Товажнянський, А. П. Гатлінська, В. О. Лещенко та ін.] ; за заг. ред. Л. Л. Товажнянського. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2007. – 540 с.

18. Степанов Д. В. Котельні установки промислових підприємств : навч. посіб. / Д. В. Степанов, Є. С. Корженко, Л. А. Боднар ; Вінницький національний технічний університет. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 120 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_all/cgiirbis_64.exe, вільний).

19. Чуб І. М. Масообмінні процеси водопідготовки : навч. посіб. / І. М. Чуб. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 161 с.

20. Ткачов В. О. Масопередача : конспект лекцій для студентів 3–4 курсів денної і заочної форм навчання напрямів 0926 – Водні ресурси, 6.060103 – Гідротехніка (Водні ресурси), спеціальності 6.092600 – Водопостачання та водовідведення / В. О. Ткачов, І. М. Чуб. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 83 с.

Електронне навчальне видання

АЙРАПЕТЯН Тамара Степанівна
ЛУКАШЕНКО Сергій Вікторович

«ПРОМИСЛОВА ВОДОПІДГОТОВКА»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

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

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*
Редактор *М. О. Гаман*
Комп'ютерне верстання *Т. С. Айрапетян*

План 2024, поз. 45Л

Підп. до друку 09.05.2024. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 10,7.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017