

**Міністерство освіти і науки України
Харківська національна академія міського господарства**

Т. С. АЙРАПЕТЯН

***ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ***

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

**Харків
ХНАМГ
2010**

УДК 628.1.037.2(075)
ББК 38.761я7
А36

Автор:

Айрапетян Т. С. канд. техн. наук, доцент кафедри Водопостачання, водовідведення та очищення вод Харківської національної академії міського господарства

Рецензенти:

А.Я. Найманов, д.т.н., професор, Директор Інституту Міського господарства та охорони навколишнього середовища Донбаської національної академії будівництва та архітектури;

П.Д. Хоружий, д.т.н., професор, Зав. лабораторією водопостачання та водовідведення Інституту гідротехніки і меліорації Національної академії аграрних наук України;

С.М. Епоян, д.т.н., професор, завідувач кафедри водопостачання, каналізації і гідравліки Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури.

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів
(лист № 1/11-6276 від 12.07.2010 р.)*

Айрапетян Т.С.

А36 Водне господарство промислових підприємств: навч. посібник /
Т. С. Айрапетян; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х: ХНАМГ, 2010.
– 280 с.
ISBN 978-966-695-162-8

У навчальному посібнику розглянуті питання, які стосуються промислового водопостачання і водовідведення на різних промислових підприємствах, особливостей проектування й експлуатації оборотних і замкнених систем водопостачання. Наведено сучасні конструкції апаратів і споруд з очистки виробничих стічних вод, методику розрахунку й основні технічні характеристики споруд. Детально розглянуті питання водного господарства підприємств теплоенергетики і чорної металургії.

УДК 628.1.037.2(075)
ББК 38.761я7

ISBN 978-966-695-162-8

© Т. С. Айрапетян, 2010
© ХНАМГ, 2010

ВСТУП

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

Для забезпечення водою промислово-господарського комплексу необхідно мати цілий ряд споруд для забору води, її підйому, очистки, накопичування, транспортування і розподілу. Набір цих споруд залежить від наявності й якісних показників водних джерел, вимог споживачів до води та кількості споживачів, складу самих споживачів, наявності обладнання, матеріалів тощо. В усіх країнах світу споживання води галузями народного господарства збільшується з року в рік, а це веде до зростання навантаження на природні водні джерела і на системи водопостачання та водовідведення.

Після використання у виробничих цілях вода забруднюється або нагрівається, змінює свої первинні властивості і стає непридатною для подальшого використання, тобто вона перетворюється у виробничні стічні води (промислові стоки). Промислові стоки відрізняються виключно великою різноманітністю в залежності від умов утворення, кількості й особливо видів окремих забруднень, їх сполучень і концентрацій.

Для своєчасного й організованого відведення промислових стоків, очистки та знешкоджування їх до необхідного ступеня з метою послідуного використання або випуску у водойми (міську каналізацію), а також для обробки й утилізації осадів на промислових підприємствах влаштовуються системи водовідведення.

Системи промислового водовідведення забезпечують нормальне та високо-ефективне функціонування промпідприємства; здійснюють очистку стічних вод до необхідного ступеня з метою їх послідуного 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.

До найбільш значних споживачів води в промисловості належать підприємства теплоенергетики, підприємства чорної та кольорової металургії. Незважаючи на те, що на цих підприємствах достатньо широко застосовують оборотне водопостачання, об'єм якого в Україні перевищив 80 %, кількість стічних вод, що скидають у водойми ще дуже велика. І хоча в останній час спостерігається деяке зниження загального промислового водоспоживання в країнах СНД та Росії, що пов'язане зі зменшенням об'єму виробництва і розоренням багатьох підприємств, але його слід розглядати як короткочасне.

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 відрізнятися від якості питної води. Технологія її підготовки в більшості випадків також істотно відрізняється від вживаної в комунальному водопостачанні. Це стосується в першу чергу глибокого зм'якшування і знесолювання води, видалення біогенних елементів, стабілізації і дегазації води, знезалізнення, знекремнення і т.п.

Водне господарство промислових підприємств України є на сьогоднішній день найбільш перспективним для наукових досліджень в області як захисту навколишнього середовища, так і в області 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. Отже захист водоймищ від забруднення стічними водами це в першу чергу правильне вирішення споживання води промисловістю і тому на сучасному етапі розвитку народного госпо-

дарства існуючий розподіл на водопостачання та водовідведення втрачає свій сенс і перетворюється в єдиний комплекс – водне господарство того чи іншого виду виробництва, де головне завдання – це створення систем замкнених систем оборотного водопостачання, наслідком яких є значне скорочення добору свіжої води з природних джерел.

Основою проектування, будівництва і експлуатації сучасного промислового водопостачання є науково обґрунтоване раціональне і комплексне використання водних ресурсів, розробка сучасних систем і технологічних схем промислового водопостачання, що забезпечать охорону водних джерел від виснаження і забруднення, що гарантує мінімальний екологічний збиток навколишньому природному середовищу. Ці основи закріплені в конституції країни, рішеннях уряду, основах водного законодавства, а також нормах будівельного проектування. В 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 області 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, що надає негативну дію на стан навколишнього природного середовища.

З вищевикладеного витікають основні завдання в області промислового водопостачання, пов'язані з раціональним використанням водних ресурсів, підвищенням ефективності функціонування систем водного господарства промислових підприємств і їх екологічної безпеки:

- впровадження безводних і маловодних технологічних схем;
- здійснення заміни водяного охолодження повітрям 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 і 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.

Великий внесок у розвиток систем промислового водопостачання, створення і дослідження сучасного водопровідного устаткування, в тому числі охолоджувачів оборотної води, вдосконалення технології водопідготовки, розробку засобів боротьби з відкладеннями, корозією металів і біобростаннями систем, будівництва замкнених оборотних систем промислових комплексів і районів, розробку відповідної нормативної бази для розрахунку і проектування, а також практичну реалізацію сучасних досягнень у цій області внесли вчені та спеціалісти ведучих науково-дослідницьких, проектних і проектно-конструкторських організацій: НДІ ВОДГЕО, УкрДНТЦ «Енергосталь», науково-дослідницькі інститути, Союзводоканалпроект, Теплопроект та інші проектні організації.

Розділ I

ОСОБЛИВОСТІ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. РОЛЬ ВОДИ В 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, залізобетонних конструкцій тощо), 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 період року. Потреби підприємств у воді складаються з технологічних і господарсько-питних. 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, що використовують тільки на охолодження металургійні підприємства, складає більше 5 млрд. м³ на рік, що в 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 являє собою комплекс споруд, устаткування і трубопроводів, що забезпечують забір води з природного джерела, очищення і її обробку, транспортування і подачу води споживачам необхідної кількості й якості.

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

На підприємствах у залежності від прийнятих технологій, виготовленої продукції, потужності, займаних площ може існувати декілька систем водопостачання. В цілому можна виділити такі системи водопостачання:

- 1) виробничі;
- 2) господарсько-питні;
- 3) 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 працюючі, а душем користуються не всі працівники, а якась їх частина. Кількість працюючих, які приймають душ, встановлюють залежно від типу виробництва. Якість води повинна відповідати вимогам “Вода питна”.

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 ряду 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 робочих під час перебування їх на виробництві, на поливання заводської території й зелених насаджень, на гасіння пожежі на підприємстві і в селищі. На промислових підприємствах у залежності від якості води, що воно використовує можна влаштовувати як об'єднані, так і окремі системи господарсько-питного, виробничного 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. В 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 в залежності 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 самі різноманітні цілі. З усього різноманіття функціонального використання водних ресурсів у промисловості найбільшу кількість води використовують у якості охолоджувача (50-70%), розчинника (15-20%), транспортуючого агента (15-25%).

У цілому 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. Так, у чорній і кольоровій металургії, в нафтопереробній промисловості на водяне охолодження використовують 95% води і тільки 5% на підсобні потреби, в 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). Так, наприклад, воду використовують для промивки, замочування та зволоження в целюлозно-паперовій, текстильній, шкіряній промисловості, на фабриках виробництва штучного во-

локна. 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 паросиловому обладнанні, використовують практично на всіх підприємствах для обігріву приміщень, підігріву різних матеріалів, прогріву продукції – скажемо 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, в 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.

У залежності від ролі, що виконує вода в системах виробничного 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, гідротранспортування). 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 та інше).

- *Воду IV категорії* використовують у якості розчинника реагентів, наприклад флотаційне збагачення руди, вугілля.

1.3. Джерела водопостачання

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

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

б) подавати воду такої якості, що 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 слід 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, різні 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} до 10^{-6} мм)
- істинно розчинені (розмір менше 10^{-6} мм, вони розподілені у воді у вигляді іонів, молекул, являють гомогенну фазу).

До першої групи входять домішки досить крупних часток (частки погано розчинних глин, пісок, карбонатні породи, нерозчинні гідроокисі металів), які не стійкі й легко розшаровуються і входять суспензії (наприклад суспензії глини у воді), емульсії, піни, що більш стійкі та важко розділяються у порівнянні з першими.

До другої групи входять колоїдні та високомолекулярні сполуки (мінеральні частки гумусових речовин, що надають воді окрас.

До третьої групи входять розчинені у воді гази й органічні сполуки біологічного походження (гумінові кислоти) й промислового походження (наприклад, феноли). Ці речовини надають воді присмак, запах. Деякі речовини можуть бути токсичні.

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

Усі води характеризують наступними показниками якості:

- фізичні (температура, вміст завислих речовин, розчинених газів, кольоровість, запах та ін.);
- хімічні (жорсткість, лужність, активна реакція, окисність, наявність хлоридів, сульфатів, сухий залишок та ін.);

- біологічні та бактеріологічні (загальна кількість бактерій, коли-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 жорсткість 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 він визначає наявність в її складі тих або інших споруд, а, отже, вартість будівництва й експлуатації.

1.4. Витрати води на промислових підприємствах

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

Вода використовується для конденсації й отримання пари, гідротранспортування, пиловловлювання і для багатьох інших потреб. Залежно від призначення води у виробництві до якості води пред'являються 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», що забирають з джерела водопостачання для поповнення втрат води на виробництві. Для підвищення ефективності роботи системи водного господарства промислових підприємств і захисту навколишнього природного середовища необхідно прагнути до зниження витрат свіжої води і зменшення об'ємів стічних вод, що скидають у водойми.

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 рядом 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 слід відмітити, що для одного і того ж виробництва норма водоспоживання може змінюватися в широких межах. Наприклад, при різній якості води норми водоспоживання можуть відрізнятися в 1-2 рази. Так, охолодження мартенівських печей у Донбасі жорсткою водою потребує 250-500 м³/год на піч при температурному перепаді 10°C, а для заводів Уралу 150-300 м³/год при температурному перепаді 20°C, оскільки якість води краща. Для охолодження конденсаторів турбін на 1 кВт потужності витрачається 300 л води при температурі 25°C, а при температурі 15°C – 200 л.

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

Орієнтовно для розрахунків споживання води на виробничі потреби норми водоспоживання приймають за справником «Укрупнені норми витрат води та відведення стічних вод на одиницю продукції для різних галузей промисловості» [13].

Для різних підприємств витрати води на одиницю продукції ($\text{м}^3/\text{т}$) 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 чавуна – 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.

| | | | | | |
|---------------------------------------|------|-------|-------|-------|--------|
| Потужність, тис. кВт | 25 | 50 | 100 | 200 | 1200 |
| Витрата води, $\text{м}^3/\text{год}$ | 5000 | 12000 | 20000 | 40000 | 200000 |

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.

1.5. 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 робочих і службовців промислових підприємств, для охолодження елементів технологічних агрегатів у теплоенергетиці й інших галузях народного господарства, підживлення парових котлів, технологічних потреб промисловості та ін.

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

Загальними є наступні 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 виробничного 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 вискоєфективної 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, збіль-

шаться 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 жорсткості при температурі 40-60°C, прийнято називати *термостабільними*. Карбонатна жорсткість цих вод не перевищує 4 мг-екв/л для прямоточного 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 жорсткість води, вміст завислих речовин, їх гранулометричний склад, вміст заліза, марганцю, органічних з'єднань для запобігання утворення накипу, засмічення відкладеннями суспензії або біообрастання 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 жорсткість, так і не карбонатна жорсткість. 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 становиться агресивною по відношенню до бетону.

Особливу роль в охолоджуючій воді грають розчинені гази та кисень, вуглекислота, сірководень, метан. Вуглекислота, кисень, сірководень при певних умовах надають воді корозійні властивості 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 в цілому вони нижчі за вимоги ГОСТ 2874-83 “Вода питна” і таку воду називають технічною. Однак для ряду виробництв за деякими показниками ці вимоги можуть бути значно вищі, оскільки для багатьох галузей промисловості виключно важливе значення має одержання вимог відносно змісту у воді різних речовин. Так, наприклад, лімітується жорсткість води при її використанні на підприємствах паперової і текстильної промисловості, виробництві штучних волокон. Вміст заліза і марганцю строго обмежено у воді, що використовують при виробництві пластмас, кіноплівки і фотопаперу. В харчовій і текстильній промисловості обмежена окисність води і вміст хлоридів. У воді, що використовують для приготування розчинів кислот, луг, барвників, мила жорсткість 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 ряду виробництв, у гірничодобувній промисловості при збагаченні корисних копалин, у воді для гідротранспорту, обмиванні і сортуванні сировини повинні бути відсутні грубодисперсні домішки.

Вимоги до якості охолоджуючої води при її комплексному використанні в якості середовища, поглинаючої і транспортуючої забруднення при безпосере-

дньому зіткненні з продуктом (пиловловлення й очистка газів, гасіння коксу та ін.) визначаються властивостями, видом, складом цього продукту, а також умовами використання води.

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

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

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

До води, яку використовують для живлення парових котлів, пред'являють завищені вимоги в порівнянні з водою, що використовують для охолодження. При використанні води для потреб паросилового господарства вона не повинна утворювати накипи, 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.

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 | |
|--|---|-------------------------------|---|---|---|
| | $\leq 80^{\circ}\text{C}$ | $80-400^{\circ}\text{C}^{*2}$ | $\geq 400^{\circ}\text{C}$ (з вогневим обігрівом) ^{*3} | без нагрівання (збагачення корисних копалин, гідрозоло-видалення та ін.). Вода II категорії | З нагріванням (уловлювання і очистка газів, гасіння коксу та ін.). Вода III категорії |
| <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 1000-10000, при флотації до 200 | 150-200 |
| масла і смолоутворюючі продукти (ефіророзчинні), мг/л | ≤ 20 | 10-20 | ≤ 10 | Не нормується | Не нормується |
| Запах, балли | ≤ 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 |
| Жорсткість загальна мг-екв/л | Не нормується | ≤ 7 | ≤ 5 | Не нормується | Не нормується |
| Жорсткість карбонатна, мг-екв/л в оборотній воді в підживлюючій воді | 2-3,5 $\geq 1,5$ та $\leq 2,5$ | 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 | ≤ 2000 | ≤ 1300 | ≤ 800 | Не нормується | Не нормується |

| 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 та ін.). Вода II категорії | З нагріванням (уловлювання і очистка газів, гасіння коксу та ін.). 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 |

Примітки: *1 – уточнюють у залежності від технологічного процесу за допустимою різницею температур

*2 – може бути водяне охолодження замінено повітряним

*3 – на металургійних печах застосовують випарне охолодження

*4 – уточнюють у залежності від швидкості руху охолоджуючої води в теплообмінних апаратах

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

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

Тому в теплоенергетиці вміст солей для цілого ряду процесів допускається не більше 10-15 мг/л, а вміст солей жорсткості в десятки і сотні разів менше, ніж для води, що використовують при охолоджуванні. Така вода, як правило, повинна піддаватися частковому або глибокому знесолюванню і зм'якшуванню. Для казанів високого тиску не допустима присутність кремнієвої кислоти, яка сприяє утворенню щільних відкладень накипу. Окисність води повинна бути у декілька разів нижче ніж для систем охолодження.

Не допустиме спінювання котлової води, що звичайно обумовлене присутністю фосфатів, лугів, нафтопродуктів, поверхнево-активних речовин і призводить до забруднення пари різними домішками і подальшого відкладення забруднень на лопатках турбін. 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 луги в межах 20 - 50 мг/л їдкого натру.

1.6. Раціональне використання води на промислових підприємствах

Для створення раціональних систем водокористування на промислових підприємствах застосовують безводні або маловодні технології, використовують системи з багаторазовим раціональним використанням води. При цьому створюють ефективні системи локального очищення стічних вод, внутрішньо-

технологічні системи оборотного водопостачання та використовують для поповнення безповоротних втрат очищені стічні води.

Різноманіття промислових виробництв зумовлює структуру водозберігаючих заходів (рис. 1.1), спрямованих на зменшення питомої витрати води і споживання свіжої води. Насамперед під час розроблені раціональних систем водозабезпечення промислових підприємств прагнуть застосовувати маловодні технології виробництва. Залежно від функціонального використання води розробляють водозберігаючі заходи.

Заміна водяного охолодження повітряним, застосування систем і споруд сухого очищення газів та повітря аспіраційних систем від пилу, випарного і флорисункового охолодження, протитечійно-каскадних систем промивання, пневматичних і пневмогідравлічних систем транспортування дають змогу зменшити питоме водоспоживання у середньому на 20 — 30 %. Застосування систем автоматичного керування і контролю процесами водоспоживання, укрупнення одиничних потужностей агрегатів, боротьба із втратами і витіканнями скорочують витрати води ще на 10-15 %.



Рис.1.1 – Структура водозберігаючих заходів

Зменшити споживання води із природних джерел можна також завдяки багаторазовому їх використанню в промисловості та утилізації стічних вод. У разі використання стічних вод вимоги до їх якості визначають потрібний ступінь очищення. Під час вирішення питання доцільності створення систем водопостачання промислових підприємств з багаторазовим використанням води в технологічних процесах велике значення має встановлення закономірностей формування її складу і властивостей. Можливість прогнозування складу дасть змогу визначити умови використання води та розробити комплекс керування системою багаторазового використання води в технологічних процесах.

Основою створення раціональної схеми водокористування підприємства є його водний баланс, складений на підставі обліку водоспоживання і водовідведення. Ретельний аналіз водного балансу дозволяє визначити місце і причини втрат води, скоротити загальне споживання й скид води у середньому на 30% тільки за рахунок проведення внутрішніх заходів і використання адміністративного ресурсу, не вдаючись до кардинальних мір та повної реконструкції системи.

Вдосконалення схем водокористування можна проводити у двох напрямках: покращення роботи водооборотних систем і вдосконалення схеми водокористування підприємства в цілому. Алгоритм створення раціональних схем водокористування підприємств наведено на рис.1.2.

Розглядання водного балансу, складеного на підставі фактичних показань приборів обліку води, дозволяє визначити можливість відокремлення деяких цехів або виробництв від загальної водооборотної системи підприємства і створення локальних водооборотних циклів охолодження технологічного обладнання з градирнями заводського виготовлення. В результаті скорочується довжина магістральних трубопроводів, частково розвантажуються основні градирні й насосні установки, підвищується надійність системи, створюються умови для реконструкції всієї системи в цілому, включаючи градирні, насосні станції і трубопроводи.

Критерії раціональності використання води на промислових підприємствах

Ефективність використання води у виробництві може бути оцінена наступними показниками.

1. Технічну досконалість системи водопостачання оцінюють долею води, що використовують в обороті, %

$$P_{об} = \frac{Q_{об}}{Q_{об} + Q_{дж} + Q_{сир}} \cdot 100\% . \quad (1.1)$$

2. Раціональність використання води, що забирають з природного водного джерела, оцінюють коефіцієнтом використання

$$K_{ВІК} = \frac{Q_{дж} + Q_{сир} - Q_{сکید}}{Q_{дж} + Q_{сир}} \leq 1 \quad (1.2)$$

3. Безповоротне споживання і втрати води

$$P_{СП} = \frac{Q_{дж} + Q_{сир} - Q_{сکید}}{Q_{дж} + Q_{сир} + Q_{посл} + Q_{об}} . \quad (1.3)$$

У цих формулах $Q_{дж}$. і $Q_{сир}$. – кількість води, що забирається з джерела і надходить у систему водопостачання з сировиною та іншими матеріалами; $Q_{сکید}$ – кількість стічних вод, що скидаються у водойму; $Q_{посл}$. та $Q_{об}$ – кількість води, що використовується послідовно та в обороті.

Оцінка систем водного господарства однотипних цехів і підприємств у цілому повинна проводитися шляхом порівняння питомої витрати води на одиницю продукції, питомої витрати реагентів і електроенергії на очистку стічних вод, кількості відходів, що утворюються, кількості отриманого зі стічних вод товарного продукту, економічних показників і річного економічного ефекту.

Контрольні запитання

1. Системи водопостачання промислових підприємств.
2. Види споживання води у виробництві та умови утворення промислових стічних вод.
3. Норми водопостачання та водовідведення.
4. Вимоги до якості води.

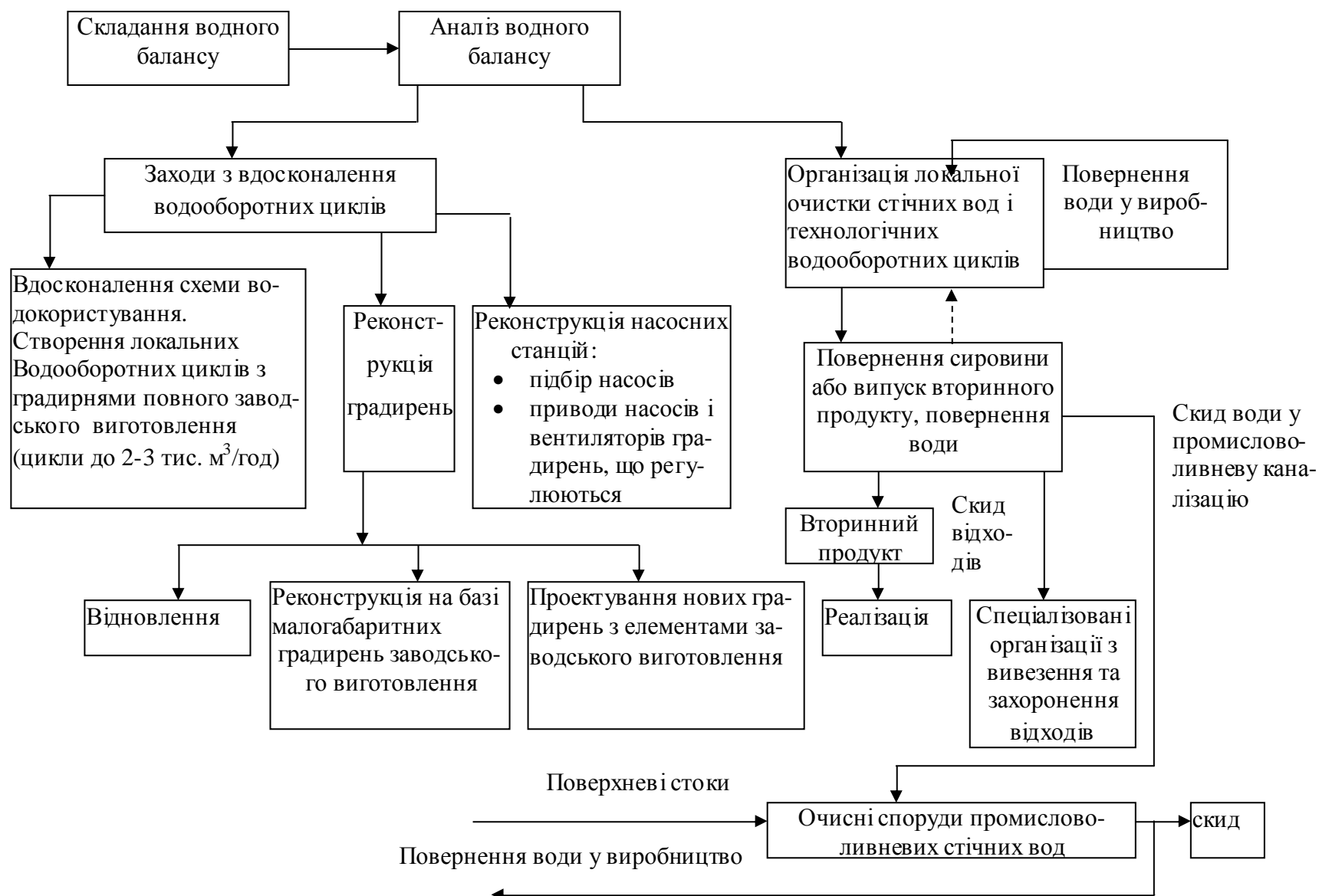


Рис. 1.2 – Алгоритм вдосконалення водного господарства підприємства

2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ З ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

2.1. Основні схеми виробничного водопостачання та водовідведення

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

Системи виробничного 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 розводящої 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 ПП і різноманітність місцевих природних умов (наявність джерела водопостачання, їх потужність, якість води, економічних і екологічних чинників) зумовлюють і різноманітність схем водопостачання, які можуть бути застосовані на підприємствах: від простих прямоточних 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 виробничні стічні води значно вигідніше спрямовувати на повторне використання в системах оборотного та послідовного водопостачання, ніж підвергати їх очистці, що задовольняє вимогам скиду.

Існують три основні схеми виробничого водопостачання:

- прямоточні;
- з повторнім використанням води;
- оборотні схеми з охолодженням води й оборотні схеми з очищенням води.

Вибір схеми виробничого водопостачання ведуть залежно від таких факторів:

- 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 джерела від промислового підприємства;
- характер забруднення води після її використання на підприємстві;
- місцеві природні умови.

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

При цьому навіть на одному підприємстві іноді використовують одну, або дві чи всі три перелічені системи, для різних цехів. Так, ряд цехів може мати оборотне водопостачання, а інші прямоточне або послідовне. В цьому випадку схема водопостачання ПП, фактично є змішаною або комбінованою.

Розглянемо перші дві схеми – прямоточну та схему з повторним використанням води.

При *прямоточній схемі* (рис.2.1, 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 в решті решт 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;

- особливі вимоги до температури води, що використовують для виробничих потреб. Так, наприклад, на теплоелектростанціях більш низька температура охолоджуючої води забезпечує підвищену виробітку електроенергії.

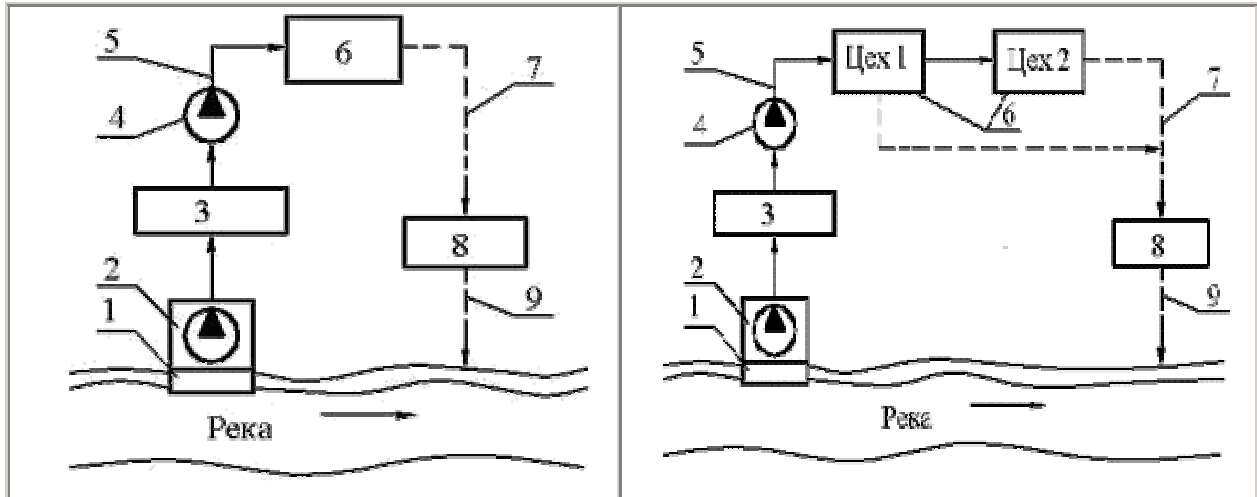


Рис. 2.1 — Системи виробничого водопостачання:

а — прямоточна; 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

Прямоточна система водопостачання невживана при хімічному забрудненні відпрацьованої нагрітої води, яку без спеціальної очистки неможна 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 в 60 разів, целюлозно-паперовій у 20-40 разів, синтетичного волокна-10-15 разів, азотна промисловість - 10 разів, виробництво синтетичного каучуку - 2000 раз. 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 рі-

зних домішок у виробництві, то в цьому випадку ще мають місце хімічні забруднення.

Схема з повторним використанням води (рис.2.1, б) відрізняється від попередньої тим, що забруднену в першому виробничому процесі повторно використовують в другому виробничому процесі. При цьому якість води після забруднення першим виробничим процесом має задовольняти 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 і 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 складає 5-10% кількості оборотної води (в залежності від характеру виробничого процесу). Звичайно воду, що повторного 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.2.2, а), а після використання охолоджують в градирнях, бризкальних басейнах, ставках. Потім її знову подають для охолодження обладнання. В процесі охолодження 2-3% води випаровується чи розбризкується. Крім цього із-за негерметичності теплообмінної або водопровідної мережі мають місце витікання води. Тому оборотні системи повинні постійно поповнюватись свіжою водою.

За рахунок випаровування в оборотному циклі зростають мінералізація та жорсткість 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.2.2, 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, в 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 кожну тонну продукції витрачають 2100 м^3 води, а при оборотній системі додавання свіжої води всього 165 м^3 на 1т каучуку.

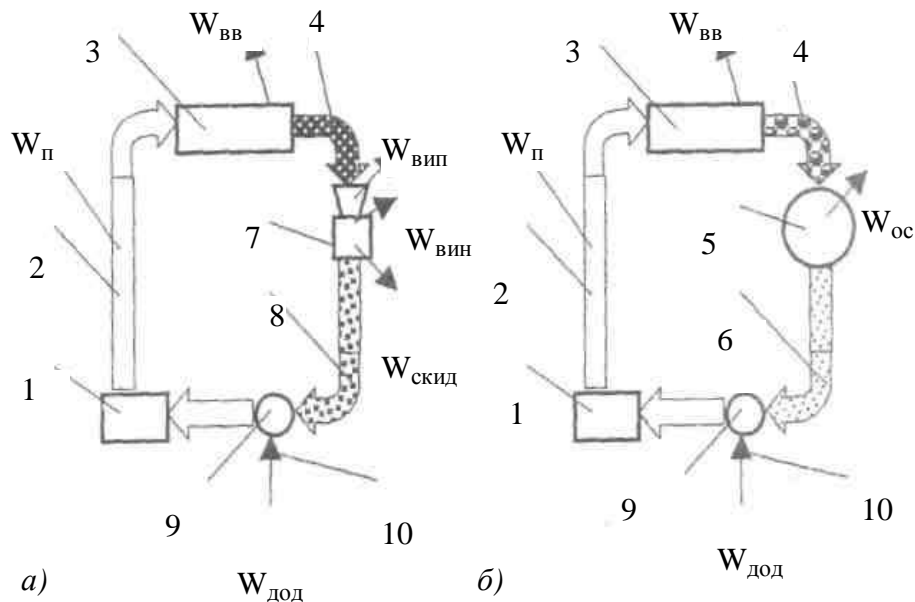


Рис. 2.2 — Оборотні схеми водопостачання
 а — оборотна з охолодженням; б — оборотна з очищенням води
 1 — насосна станція; 2 — подача чистої води;
 3 — підприємство; 4 — відведення відпрацьованої води;
 5 — очисні споруди; 6 — відведення очищеної води; 7 — охолоджувальний пристрій; 8 — подавання охолодженої води, 9 — підживлювальний колодязь;
 10 — подача підживлювальної води

де 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.

Оборотне водопостачання лише тоді вигідніше прямоточного, коли вартість додаткових споруд при його реалізації перекривається економією при будівництві головних споруд, водоводів і за рахунок зменшення витрат електроенергії на подачу свіжої води.

Переваги оборотної системи водопостачання в порівнянні 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, що використовують, технічних і місцевих умов (наприклад потужність джерела й 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 шагом 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 у обороті є утворення щільних сольових відкладень по тракту руху води – в одних випадках і 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, - це:

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

Системи оборотного водопостачання поділяють на відкриті й закриті.

Відкриті системи – це такі системи, в 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 в безпосередній контакт з повітрям і охолоджується в закритих теплообмінниках, тобто через стінку.

У відкритій системі втрати води складаються з 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. У теперішній час 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.

2.2. Вибір і техніко-економічне обґрунтування системи виробничого водопостачання

Вимоги промислових споживачів до великих витрат води, якості та високої надійності зумовлюють особливий підхід до вибору схем водопостачання та водовідведення промислових підприємств. На промисловому підприємстві можуть бути декілька схем водопостачання, що обслуговують споживачів з різними вимогами до якості води. Вибір цих схем звісно не однозначний і часто потребує проведення техніко-економічного порівняння варіантів.

При розробці схеми водопостачання, споживачів групують за вимогами до якості вихідної та відпрацьованої води, необхідним напорам і з урахуванням розташування цехів. При цьому розглядають варіанти використання місцевих установок з покращення якості води або зміни напору (підкачка).

Системи водопостачання можуть бути пов'язані одна з одною. Наприклад, свіжу воду з річки подають у цикл оборотного водопостачання, який потребує воду найкращої якості, воду після продувки цього циклу можна використовувати для підживлення циклів з більш низькими вимогами до якості.

При виборі системи і розробці схеми водовідведення промислових підприємств необхідно враховувати наступні основні фактори:

- кількість, склад і динаміку утворення різних промислових стоків від установок, цехів і всього промислового підприємства;
- можливість повторного використання промислових стоків без очистки або з частковою очисткою в оборотних циклах;
- можливість скорочення промислових стоків за рахунок застосування маловодних технологій;
- можливість сумісного або роздільного водовідведення різних категорій стічних вод;
- можливість скиду стічних вод у міську систему водовідведення;
- необхідні ступені очистки при повторному використанні або випуску промислових стоків;
- можливі системи і схеми очистки.

Отже, при обґрунтуванні вибору системи виробничого водопостачання промпідприємства необхідно враховувати:

1. Раціональність використання води й екологічні фактори, пов'язані з захистом водоймищ від виснаження і забруднення.
2. Технологічні вимоги до якості води й характеристики джерела водопостачання (потужність, віддаленість від промпідприємства, температуру і якість води).
3. Техніко-економічні фактори.

З точки зору раціональності використання водних ресурсів доцільно прагнути до мінімального споживання свіжої води, тобто застосуванню оборотних і замкнених систем промислового водопостачання, однак це не завжди економічно вигідно. Тому при проектуванні здійснюють техніко-економічне порівняння варіантів, на підставі якого обирають варіант з найменшими приведеними затратами.

При замкнених системах промислового водопостачання, в яких відсутній скид відпрацьованої води у водні об'єкти, як правило, зростають безповоротні втрати і витрата свіжої підживлюючої води, а також затрати на її попередню обробку, але з екологічної точки зору ці системи є найкращі.

2.3. Основні принципи створення замкнених систем водопостачання промислових підприємств

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

Створення замкнених систем водопостачання на промислових підприємствах є важким завданням. Складний хімічний склад стічних вод, різноманітність хімічних сполук, що містяться в них, роблять неможливою розробку універсальної безстічної технологічної схеми. Тому говорити можна тільки про загальні принципи створення і проектування таких систем.

У 1980–1990-х рр. здійснювались численні спроби перевести різні підприємства на замкнуту систему водопостачання. Але на жаль, наблизитися до вирішення даного завдання певною мірою змогли лише на окремих виробництвах, зокрема металургійних.

Вирішенням питань раціонального використання води, очистки і підготовки води до повторного використання впродовж багатьох років займається Український Державний науково-технічний центр «Енергосталь» (УкрДНТЦ «Енергосталь»).

При створенні оборотних циклів водопостачання і розробці технічних рішень щодо поліпшення роботи існуючих систем слід враховувати такі принципові питання, як:

- вивчення основ технологічного процесу, для здійснення якого створюється оборотний цикл або система очистки води;
- вивчення особливостей утворення й фізико-хімічного складу води, що підлягає очищенню або обробці;
- розрахунок водного і сольового балансів системи, прогнозування складу води і можливості утворення щільних солевих відкладень або появи корозії;
- мінімізація витрат підживлюючої води;
- раціональне поєднання локальних і оборотних циклів із загальною оборотною системою підприємства;
- застосування нових розробок ефективних очисних споруд і апаратів для очищення води;
- використання сучасних методів стабілізаційної обробки води;
- спеціальна підготовка води для підживлення оборотних систем.

Як вже відмічалось вище, перехід на замкнену систему водопостачання може бути здійснений тільки на підприємстві з достатньо розвиненим оборотним водопостачанням.

Максимальне залучення води в оборот досягається шляхом додаткових інженерних рішень:

- значним зниженням обсягів продувки оборотних систем за рахунок підготовки підживлюючої води і стабілізаційної обробки оборотної води;

- послідовно-повторним застосуванням води з використанням частини або всієї води з системи з високими вимогами до якості води в системі з нижчими вимогами;
- глибокою доочисткою забруднених стічних вод у кінці ланцюга для їх повторного застосування з поверненням у початок ланцюга;
- очищенням і використанням зливових і талих вод з території підприємства в його системі оборотного водопостачання.

Сучасний арсенал технологічних методів і систем очищення забезпечує отримання води високого ступеня очистки будь-яких стічних вод, тому створенню безстічних систем перешкоджають переважно причини техніко-економічного плану.

Тому науково-технічне завдання створення безстічних систем виробничого водопостачання може бути сформульоване як доведення підживлюючої, оборотної води і стічних вод до показників, що дозволяють використовувати їх багато разів, без скидання у водні об'єкти.

Необхідність і доцільність створення замкнених систем виробничого водопостачання обумовлена:

1. Дефіцитом води.
2. Вичерпанням розбавляючої і самоочищаючої здатності водних об'єктів, що приймають стічні води.
3. Економічними перевагами перед очищенням стічних вод до нормативів для водоймищ рибогосподарського водокористування.

Таким чином, за наявності технічних або економічних чинників перед підприємством постає питання про необхідність впровадження замкнутої системи водопостачання.

Оскільки в процесі роботи замкнених систем водопостачання спостерігається зростання солемісту у воді, істотного значення набуває кратність використання такої води в циркуляційній системі і технологічних процесах. При підвищенні солемісту у воді оборотного циклу збільшується небезпека виникнення сольових відкладень і корозії в трубопроводах.

Один з методів зниження ризику утворення сольових відкладень у комунікаціях і теплообмінниках – це перехід на підживлення зм'якшеною водою оборотних систем водопостачання.

Кондиціонування підживлюючої води натрій-катіонуванням дозволяє повністю виключити відкладення солей жорсткості в широкому діапазоні температур. При заповненні оборотної системи зм'якшеною водою з'являється можливість припинити скидання продувальних вод або зробити його періодичним залежно від прийнятого регламенту з загального солевмісту для даної оборотної системи.

Досвід експлуатації котлів-утилізаторів металургійних печей показує, що солевміст усередині котельної циркуляційної води може досягати 5 г/л без видимих слідів відкладень і корозії усередині котельної поверхні.

Перехід на використання води з підвищеним солевмістом в оборотній системі, за умови зм'якшування підживлюючої води, дозволяє різко скоротити скидання води від продувки оборотної системи і тим самим знизити навантаження на фінішні установки, що призначені для переробки сольових розчинів і відпрацьованих електролітів з ділянок травлення і гальваніки.

Як фінішні установки при організації замкнених систем водопостачання можуть бути використані багатокорпусні випарні апарати, установки зворотного осмосу або їх комбінації. Але в будь-якому випадку для надійної експлуатації фінішних установок необхідне попереднє глибоке очищення стічних вод від солей жорсткості, заліза й органічних речовин, що може забезпечити безнакипний режим експлуатації випарних установок і тривалу роботу осмотичних мембран за допомогою апаратів ультрафільтрації та зворотного осмосу.

Метод підготовки підживлюючої води, який передбачає попереднє зм'якшування стічних вод, що поступають на фінішні установки, дозволяє поліпшити економічні показники експлуатації замкнених систем водопостачання.

Для характеристики даних систем застосовують критерій кратності використання води:

$$n = \frac{Q_{\text{вик}}}{Q_{\text{заб}}}, \quad (2.1)$$

де n – критерій кратності;

$Q_{\text{вик}}$ – загальний обсяг води, що використовує підприємство ($\text{м}^3/\text{год}$);

$Q_{\text{заб}}$ – забір свіжої води ($\text{м}^3/\text{год}$).

На даний час наприклад, у російській чорній і кольоровій металургії критерій кратності складає 5,25 (для порівняння: у США середнє значення цього критерію дорівнює 7,5 і його планують довести до 22 протягом найближчих 5–8 років).

Отже, основні принципи створення замкнених систем можна сформулювати наступним чином:

1. Розглядати водопостачання та водовідведення ПП як єдину систему водного господарства промислового підприємства, єдиний комплекс, що включає водопостачання, водовідведення і очистку вод.

2. Наукове обґрунтування вимог до якості води для всіх технологічних процесів і операцій.

3. Використовувати для водопостачання замість свіжої води очищені виробничі та міські стічні води, а також поверхневий стік. Свіжу воду з джерела використовувати для особливих цілей і поповнення втрат води.

4. Забезпечувати очищення стічних вод і регенерацію відпрацьованих технологічних розчинів з метою їх повторного використання у виробництві.

5. Впровадження систем повітряного охолодження замість водяного. Необхідно оцінювати можливість і техніко-економічну доцільність використання повітряного охолодження, коли відсутні втрати води на випаровування та винос вітром, що характерні для водяного охолодження, а отже, зменшується загальне водоспоживання підприємства.

6. Для промислових агрегатів і конструкцій, що працюють у зонах високих температур застосовувати випарне охолодження, яке дозволяє забезпе-

чити отримання пари для енергетичних і технічних цілей при різкому зменшенні витрати води на охолодження.

7. Застосування високотехнологічного устаткування й ефективних реагентів для очищення води оборотних циклів від інгредієнтів забруднювачів.

8. Застосовувати для відновлення споживчих властивостей води, технологічних розчинів регенеративні методи очистки, які забезпечують одночасне вилучення цінних речовин при мінімальних затратах.

2.4. 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 жорсткості 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 знаходиться в обороті $Q_{об}$, м³/год, тоді

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

2.5. Водно-хімічний режим оборотних систем

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

Основними параметрами водно-хімічного режиму оборотного циклу є продувка, добавка свіжої води в систему і коефіцієнт випаровування або коефіцієнт концентрування добре розчинних солей.

Продувка системи ефективна тільки в тому випадку, якщо карбонатна жорсткість підживлюючої води значно нижче за карбонатну жорсткість води у системі. Інакше необхідна настільки велика витрата підживлюючої води, що додавання її буде просто неекономічним, тому вигідніше буде застосовувати хімічну обробку води.

Головна вимога до водно-хімічного режиму систем оборотного водопостачання полягає в тому, що в системі повинні бути відсутні карбонатні відкладення і корозія устаткування та трубопроводів.

У системах водяного охолодження теплонавантажених елементів утворюються переважно відкладення карбонату кальцію при втраті вільної вуглекислоти через нагрівання води. При цьому відбувається розкладання бікарбонатних іонів HCO_3^- з утворенням карбонатних CO_3^{2-} , які реагують з іонами Ca^{2+} і створюють малорозчинні з'єднання CaCO_3 , що осаджуються на стінках трубопроводів:



Якщо таке розкладання в системі відсутнє, то має місце співвідношення

$$L_{\text{ц}} = K_{\text{к}} \cdot L_{\text{д}}, \quad (2.2)$$

де $L_{\text{ц}}$, $L_{\text{д}}$ – лужність відповідно циркуляційної й підживлюючої води, мг-екв/л.

При співвідношенні $L_{\text{ц}} > K_{\text{к}} \cdot L_{\text{д}}$ в систему додаються або поступають лужні речовини. Співвідношення $L_{\text{ц}} < K_{\text{к}} \cdot L_{\text{д}}$ свідчить про те, що в системі відбуваються розпад $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ і утворення відкладень в кількості

$$\Delta L = K_{\text{к}} \cdot L_{\text{д}} - L_{\text{ц}}. \quad (2.3)$$

2.6. Баланси води і солей в оборотних циклах водопостачання

Дуже важливими показниками водно-хімічного режиму систем оборотного водопостачання є водний і сольовий (матеріальний) баланси.

Водний режим в оборотних системах характеризується зміною якісних показників води і впливом її на споруди. Так, у результаті випаровування в охолоджувачах частини води підвищується концентрація мінеральних солей, розчинених у циркуляційній воді систем оборотного водопостачання. При певних концентраціях солі тимчасової жорсткості (головним чином карбонат кальцію CaCO_3) можуть випадати з неї в теплообмінниках, що різко знижує коефіцієнт теплопередачі та погіршує експлуатаційні показники.

Для запобігання випадінню солей жорсткості здійснюють постійну *продувку* систем оборотного водопостачання, тобто видалення з неї частини циркуляційної води.

Втрати води на продувку, винос на випаровування повинні бути компенсовані додаванням у систему свіжої додаткової води.

Стабілізація сольового складу відбувається при умові, якщо кількість солей, що виводяться з системи за рахунок продувки та в результаті бризко-виносу води з охолоджувача буде дорівнювати кількості солей, що надходять з додатковою водою.

Солі, що надходять у систему водопостачання слід розподіляти на дві основні групи:

- 2 Солі, що добре розчиняються у воді (не випадають в осад ні при яких умовах роботи системи, це хлориди калію, натрію, кальцію і магнію).
- 3 Солі, що внаслідок недостатньої розчинності при порушенні вуглекислотної рівноваги випадають в осад.

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

При проектуванні систем промислового водопостачання складають водний баланс, де вказують витрати води для всіх категорій споживачів і втрати води. Споживачів води згруповують за районами їх розташування, на-

пором, якістю води. Потім складають схему використання води, де вказують витрати води, що надходять до споживачів та відводяться від них.

При проектуванні водний баланс необхідний для розрахунків споруд водопостачання, визначення потужності обладнання, розмірів основних споруд (насосних станцій, водоводів, охолоджуючих пристроїв, очисних споруд тощо).

При експлуатації реальний водний баланс відображається на економічному боці роботи підприємства й чинить вплив на реальну собівартість продукції.

Принципи складання водного балансу:

1. Кількість води в системі промислового водопостачання підтримується постійною. Втрати води в системі відшкодовуються за рахунок додавання свіжої води.

2. Встановлюються джерела надходження і втрати води.

3. Визначаються кількісні характеристики кожного джерела.

4. Аналізуються якісні характеристики води джерел, їх можливий вплив на склад і властивості оборотної води, ефективність роботи системи водопостачання.

5. Визначаються групи споживачів, що потребують воду однакової якості.

6. Для зменшення кількості свіжої води, що забирається з джерела, виявляється можливість послідовного використання відпрацьованої води однієї групи споживачів для водопостачання іншої.

Для дотримання водного балансу

$$\sum Q_{\text{НАДХ}} = \sum Q_{\text{ВТР}} \cdot \quad (2.4)$$

Окрім водного балансу систем водопостачання надзвичайно важливе значення має підтримання балансу за якістю, термостабільністю, корозійністю оборотних вод.

2.6.1. Поняття коефіцієнта концентрування добре розчинних солей. Визначення цього коефіцієнта на підставі водного балансу систем

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

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

$$K_K = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{P_2 + P_3 + P_4}, \quad (2.5)$$

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

P_2 – втрати води на краплинне винесення при охолодженні води;

P_3 – продувка системи;

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

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

Рівняння (2.5) можна представити в спрощеному вигляді:

$$K_K = 1 + \frac{P_1}{P_2 + P_3 + P_4}. \quad (2.6)$$

Таким чином, у системах оборотного водопостачання величина K_K завжди більше 1 і ця величина тим більше, чим менше величини P_2 , P_3 і P_4 .

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

На даний час, у промисловості величина K_K , як правило, не перевищує 2-4. У деяких випадках, наприклад, у хімічній промисловості, цей коефіцієнт досягає 8.

Якщо припустити, що продувка в системі відсутня, тобто $P_3=0$, тоді маємо:

$$K_K = 1 + \frac{P_1}{P_2} = 1 + \frac{1,5}{0,5} = 4.$$

2.6.2. Визначення коефіцієнта концентрування через сольовий баланс системи

Коефіцієнт концентрування добре розчинних солей необхідний для визначення концентрації добре розчинних солей в оборотній воді в залежності від вмісту цих солей у підживлюючій (свіжій) воді.

$$C_{об} = K_k \cdot C_n \quad (2.7)$$

$$K_k = \frac{C_{об}}{C_n}, \quad (2.8)$$

де $C_{об}$ - концентрація добре розчинних солей в оборотній воді

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

$$\frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{P_2 + P_3 + P_4} = \frac{C_{об}}{C_n}. \quad (2.9)$$

Співвідношення (2.9) характеризує зв'язок водного і сольового балансів системи оборотного водопостачання.

До добре розчинних солей відносять хлориди (розчинність 340 мг/л) та сульфати (розчинність не більше 2000 мг/л). Тому розрахунки сольового (матеріального) балансу систем оборотного водопостачання ведуть в основному за хлоридами.

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

$$C_{об} (P_2 + P_3) = C_n (P_1 + P_2 + P_3) \quad (2.10)$$

$$C_{об} = C_n \left[1 + \frac{P_1}{(P_2 + P_3)} \right]. \quad (2.11)$$

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

$$P_3 = \frac{C_n \cdot P_1}{C_{об} - C_n} - P_2, \quad (2.12)$$

де C_n – концентрація солей жорсткості в додатковій воді, мг-екв/дм³;

$C_{об}$ – максимально допустима концентрація солей жорсткості в циркуляційній (оборотній) воді, мг-екв/дм³;

P_1, P_2 і P_3 – врати води на випаровування, винос і продувку, м³/год;

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

Однак рівняння (2.11) неприйнятно для балансових розрахунків стосовно до системи оборотного водопостачання, в яких вода входить в контакт з продуктом, що охолоджується та очищається, наприклад, газоочисток металургійних агрегатів. Для цих випадків необхідно користуватися іншою залежністю, яка відрізняється від наведеної вище тим, що в ній введено новий член, що враховує технологічний приріст концентрації того або іншого компонента:

$$C_{об} = C_n \left[1 + \frac{P_1}{(P_2 + P_3)} \right] + \frac{Q \cdot \Delta C}{P_1 + P_3}, \quad (2.13)$$

де ΔC – приріст солей, наприклад у газоочистці, мг/л;

Q – загальна витрата води, що подається споживачу, наприклад на газоочистку металургійного агрегату, м³/год.

На даний час найбільш перспективними системами оборотного водопостачання є системи без продувки і закриті системи з охолодженням води у закритих теплообмінниках, що дозволяють суттєво скоротити забір свіжої води та надійно захистити водні об'єкти від забруднення. В зв'язку з цим дуже важливо зменшити кількість води, що втрачається на випаровування та крапельний винос на обладнанні для охолодження води, при цьому величина K_K суттєво зростає, в деяких випадках вона досягає 20 і навіть більше.

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

За відсутністю механічних втрат води в системі

$$\frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3} = \frac{C_{об}}{C_n}. \quad (2.13)$$

У закритих системах оборотного водопостачання втрати на випаровування води відсутні. В той же час невеличкі механічні втрати води є. Це пов'язано з нещільностями стикових з'єднань, з ексфільтраційними процесами.

У закритих системах створюються умови для корозійного зносу металу. Це недолік цих систем. У зв'язку з цим матеріал теплообмінників виготовляють з корозійностійких матеріалів, а в циркулюючу у системі воду додають інгібітори корозії (речовини, що захищають від корозії), тобто здійснюють стабілізаційну обробку води. В таких системах виникає дефіцит лужності води за рахунок розкладення тимчасової жорсткості (бікарбонатної лужності).

З іншого боку, циркулююча в системі вода містить інші компоненти сольового вмісту, наприклад, сульфати, хлориди. На фоні відсутності лужних компонентів, наявність хлоридів і сульфатів посилює або інтенсифікує процес корозійного зносу металу.

Контрольні запитання

1. Існуючі схеми водопостачання та водовідведення промислових підприємств.
2. Послідовно-оборотні системи водопостачання. Їх переваги перед прямоточними системами.
3. Ускладнення в роботі діючих систем водопостачання та водовідведення промислових підприємств.
4. Чим відрізняються замкнені системи водопостачання від оборотних?
5. Сформулюйте основні тенденції раціонального водокористування на сучасному етапі.
6. Поняття продувки та підживлення систем оборотного водопостачання.
7. Рівняння водно-сольового балансу.
8. Використання коефіцієнта концентрування добре розчинних солей для розрахунків водно-хімічного режиму роботи систем оборотного водопостачання.

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 від прогару і перегріву, при яких можлива втрата міцності елементів конструкцій, деталей обладнання металургійних агрегатів.

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

Гранична температура для різних матеріалів, наприклад для сталі 400°C , а температура при якій втрачається стійкість сталі 600°C , для чавуну відповідно 400°C і 500°C .

Нижче розглянуто основні види і системи охолодження, що застосовують.

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

Поверхня нагріву пластинчастих теплообмінників виготовляється з штампованих гофрованих металевих пластин товщиною 1 мм. Пластини зібрані на рамі і стислі стяжними болтами. В 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 охолоджуванім, з іншою — що нагрівається. Витрата охолоджуючої води визначається кількістю тепла, яке 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 менше, ніж кожухотрубних.

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

Системи охолодження теплообмінної температури існують наступні:

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

Водяні низькотемпературні системи охолодження. Температура охолоджувального продукту знижується незначно (на 20-40°C). 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 привести до відкладення солей жорсткості.

Водяне охолодження гарячою водою (без кип'ятіння). Температура охолоджувального продукту знижується від 120°C до 80-90°C. У цій схемі використовують хімічно очищену воду. Нагріта до 90-95°C 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.), яке широко застосовують у даний час в Росії та за кордоном.

В системах випарного охолодження холодну охолоджуючу воду замінено киплячою, коефіцієнт теплопередачі якої значно вище. Охолодження відбувається внаслідок відводу пари. Тепло, яке відбирається охолоджуючою водою витрачається на випаровування цієї води. Установка працює на хімічно очищеній воді. Таку систему застосовують у випадку, якщо температура води не впливає на технологічний процес, тобто для збільшення стійкості де-

талей при їх роботі в зоні високих температур (металургійні печі, печі будівельної індустрії тощо).

Системи охолодження з паротворенням усередині деталі. В таких системах випарного охолодження (рис. 3.1) охолоджувані деталі приєднані двома трубами до бака-сепаратора. По опускній трубі бака-сепаратора підводиться до деталі вода, а пароводяна суміш, що утворилася, по підйомній трубі 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. В системі з примусовою циркуляцією між баком-сепаратором і агрегатом встановлюють циркуляційний насос.

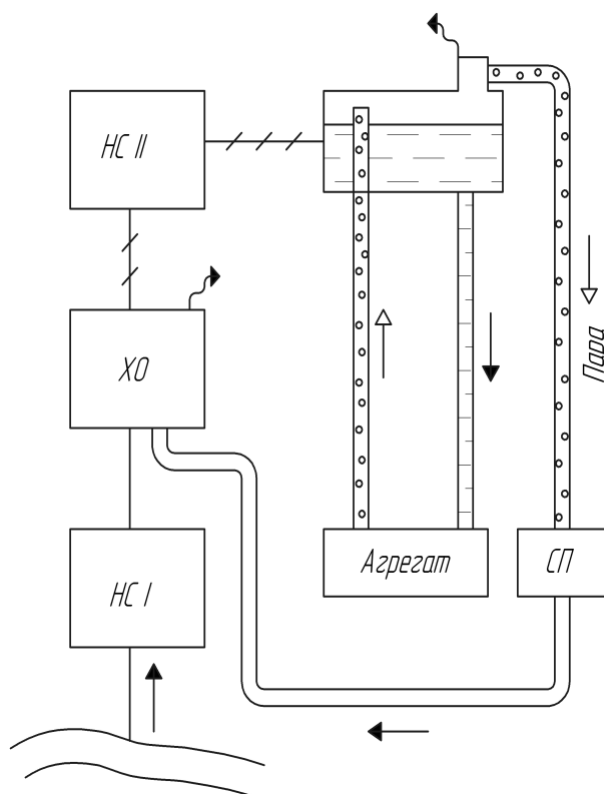


Рис. 3.1 – Схема випарного охолодження металургійних печей з природною циркуляцією:

ХО - станція хімічного очищення; 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 змісту пари в пароводяній суміші і зменшенню щіль-

ності 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 складають не більше 15% від звичайних втрат при водяному охолодженні.

Переваги випарного охолодження:

- збільшується термін служби охолоджуваних деталей, виключаються ремонти із-за прогару деталей, оскільки використовується хімічно очищена вода;
- відсутні охолоджувальні 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 перекладі 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 рис. 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 пар не утворюється, тому можна застосовувати конструкції звичайного водяного охолодження. Сутність замкненої системи водяного охолодження з винесеним випаровувачем полягає в тому, що тиск води в охоло-

джуваній деталі вище, ніж у баку-сепараторі, тому в деталі не утворюється пара, скипання відбувається в баку-сепараторі.

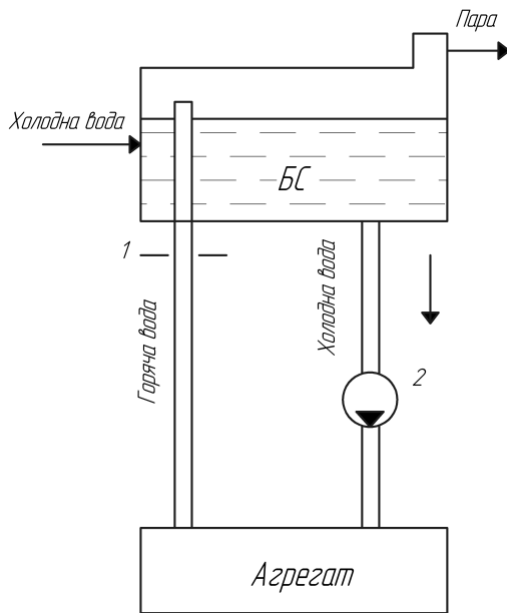


Рис. 3.2 – Схема випарного охолодження з паротворенням поза деталлю:

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). В якості 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.

Двоконтурна схема охолодження з застосуванням ВТ складається з контуру циркуляції агента для охолодження деталей печі і системи охолодження ВТ. Теплоносій, що нагріває деталі до 200 - 250°C, охолоджується водою в трубчастому теплообміннику, в якому при цій температурі виходить пара високого тиску.

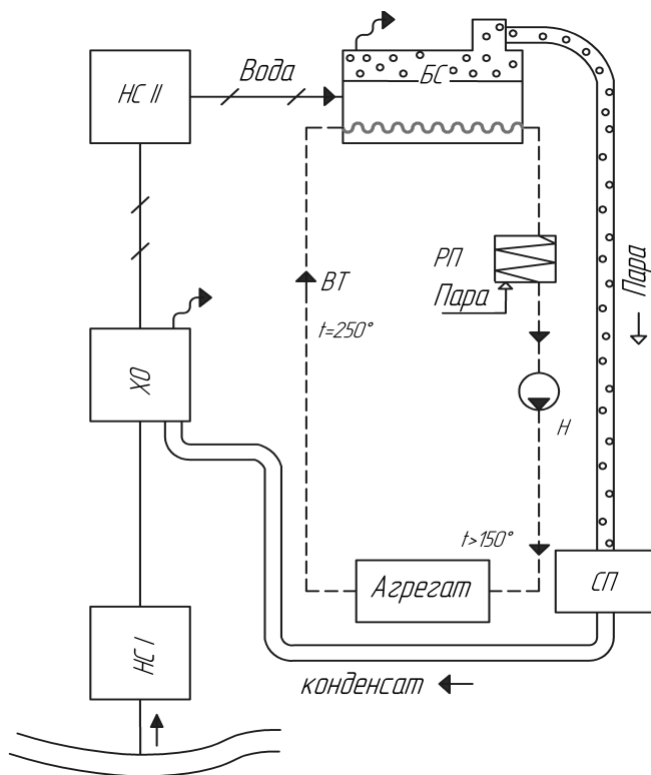


Рис. 3.3 – Система охолодження металургійних печей з висококиплячим теплоносієм (ВТ)

ХО – станція хімоводоочистки; СП – споживач пари; РП – резервний підігрівач; ВТ – висококиплячий теплоносій

Істотним недоліком систем випарного охолодження з 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°C.

3.2. Техніко-економічні показники систем охолодження

У промисловості застосовують системи водяного, випарного і повітряного охолодження. Не розглядаючи детально системи повітряного охолодження слід зазначити, що вони є дуже перспективними, оскільки застосування їх знижує забруднення навколишнього середовища і забезпечує значну економію водних ресурсів. Проте застосування повітряного охолодження в багатьох випадках не може забезпечити необхідного ступеня охолодження.

Системи охолодження повинні відповідати деяким загальним вимогам. Вони повинні бути сучасними, тобто відповідати сучасній технології виробничого процесу, надійними, тобто забезпечувати необхідну температуру охолодження продукту або агрегату й економічно вигідними. Система охолодження повинна забезпечувати: можливо триваліший термін служби, максимальну незалежність роботи агрегату від джерела живлення системи

охолодження, виходу пари, споживачів тепла, не повинна ускладнювати технологію основного процесу виробництва.

Основні техніко-економічні показники систем водяного й випарного охолодження наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні техніко-економічні показники систем водяного і випарного охолодження металургійних печей

| Найменування показників | Печі | | | |
|---|---------|--------------|-------------|-------------|
| | доменна | мартенівська | нагрівальна | феросплавна |
| Втрати тепла на 1т продукції, тис ккал/год | 120 | 240 | 150 | 350 |
| Ступінь використання тепла при випарному охолодженні | 80% | 90% | – | – |
| Витрата води на 1т продукції при водяному охолодженні | 25 | 12 | 10 | 25 |
| Витрата води на 1т продукції при випарному охолодженні | 0,25 | 0,4 | 0,25 | 0,6 |
| Втрати води від витрати при водяному оборотному водопостачанні | 3% | | 5% | |
| Втрати води від витрати при випарному охолодженні з використанням тепла | 0,3% | 0,3% | 0,3% | 0,3% |
| Те ж саме без використання тепла | 1,0% | 2,5% | – | 2,0% |

З таблиці видно, що випарне охолодження має незаперечні переваги перед водяним. При водяному охолодженні тепло нагрітої води через малу температуру її нагріву використовувати практично неможливо, витрати охолоджуючої води в 100-30 разів більше, ніж при випарному охолодженні, для охолодження води потрібно передбачати спеціальні охолоджувачі,

що вимагають відповідної експлуатації, зростають безповоротні втрати води і т.п. Недоліком випарного охолодження є їх висока складність пов'язана з необхідністю з'єднувати кожен елемент охолоджуваного агрегату двома трубами з баком-сепаратором, що істотно збільшує капітальні затрати. Тому такі системи застосовують для охолодження агрегатів з великим тепловим навантаженням (доменні, мартенівські, нагрівальні печі т.п.) і при обмеженості водних ресурсів.

Основні технологічні й економічні вимоги до систем охолодження можна сформулювати наступним чином:

1. Втрати тепла з охолоджуючою водою повинні бути мінімальними.
2. Витрати енергії на експлуатацію систем охолодження повинні бути мінімальними, а тепло, що відводиться від охолоджуваних деталей, повинне використовуватися за економічно вигідною схемою.
3. Капіталовкладення з комплексу охолоджуючої системи повинні бути мінімальними, а енергетичне господарство найбільш простим.

3.3. Споруди для охолодження води

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

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

За способом передачі тепла охолоджувачі поділяють на:

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

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

За способом підводу повітря охолоджувачі поділяють на:

- відкриті;
- баштові;
- вентиляторні.

До відкритих охолоджувачів відносяться водосховища-охолоджувачі, бризкальні басейни, відкриті градирні, в яких рух повітря забезпечується вітром або природною конвекцією. Баштові й вентиляторні охолоджувачі називаються градирнями. В баштових градирнях рух повітря забезпечується природною тягою, яка утворюється високою витяжною баштою. Вентиляторні градирні можуть бути обладнані нагнітальним чи всмоктувальним вентилятором, що забезпечує інтенсивний рух повітря.

За способом створення поверхні охолодження охолоджувачі поділяють на:

- бризкальні;
- краплинні;
- плівкові;
- комбіновані.

Необхідна площа контакту в бризкальних охолоджувачах створюється розбризкуванням води через спеціальні сопла або насадки. В 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 3.2 – Технічна характеристика водяних охолоджувачів

| Охолоджувачі | Максимальне питоме теплове навантаження, тис. ккал/(м ² ·год) | Рекомендований перепад температур води, °С | Мінімальна різниця тем- ператур 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 гра- дирні | 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 проектів 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.

3.3.1. 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 менше 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 відношення площі активної зони до площі дзеркала водосховища.

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

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 на :

- регульовальні 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 водотоку з підживлення водою з найближчої річки.

Найбільш поширені типи водосховищ-охолоджувачів показано на рис.3.4.

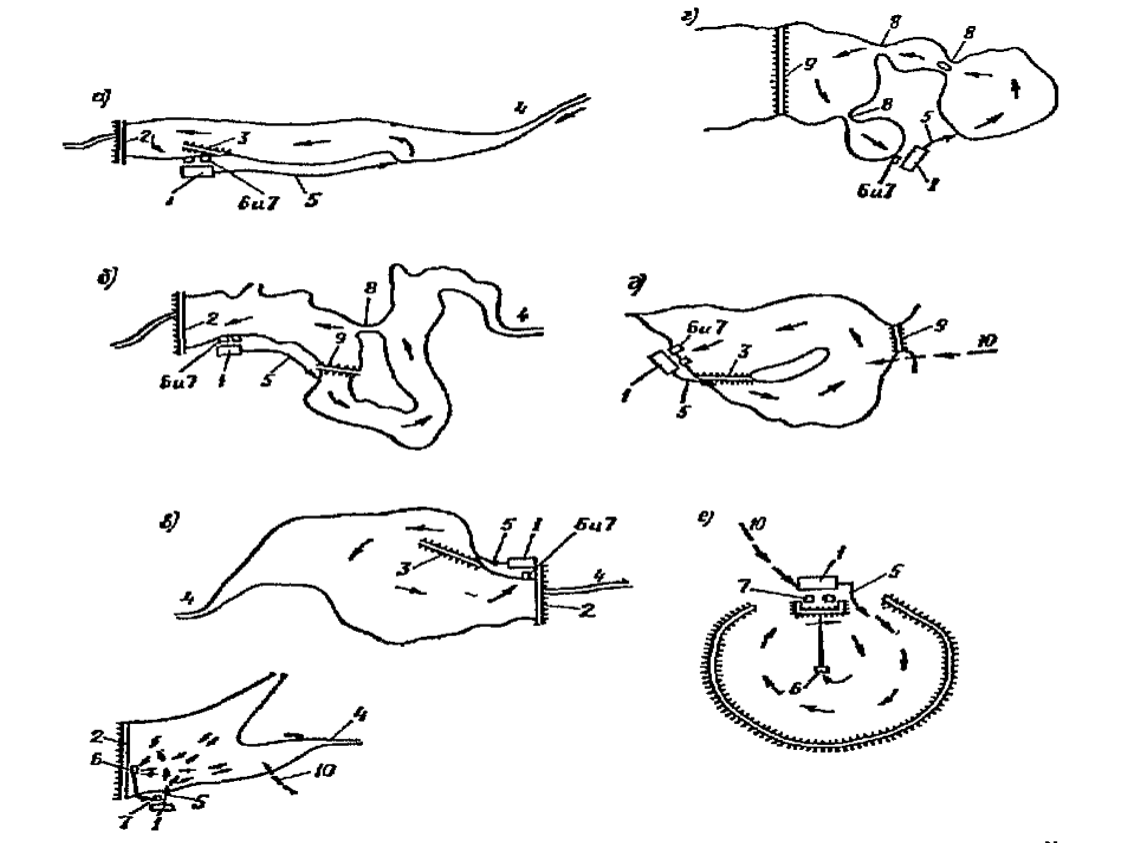


Рис. 3.4 – Основні схеми водосховищ-охолоджувачів

*1 – промислове підприємство; 2 – гребля; 3 – струмененапрямна дамба;
4 – річка; 5 – відвідний канал; 6 – водозабір; 7 – насосна станція;
8 – прорізь; 9 – перегороджуюча дамба; 10 – подача води з 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 не має 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 в меншій мірі;
- 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.

Розрахунок водосховищ-охолоджувачів складається з гідравлічного і теплового розрахунків.

Гідравлічний розрахунок полягає у визначенні плинності течії і розподілу температур за глибиною водосховища, обсягів транзитних коловоротних зон, ступеня їх участі в процесах теплообміну й визначенні коефіцієнта використання площі водосховища.

Тепловий розрахунок полягає у визначенні температури охолодженої води t_2 при відомій площі й конфігурації ставка або у визначенні необхідної активної площі водосховища, що забезпечує отримання заданої температури t_2 в місці водозабору.

Розрахунок здійснюють для найбільш несприятливої за метеорологічними умовами для охолодження води декади найбільш жаркого місяця.

Різниця між температурою охолодженої води в охолоджувачі t_2 і температурою за вологим термометром τ є висотою зони охолодження. Температуру за вологим термометром при проектуванні приймають як теоретичну межу охолодження води при заданому стані повітря, насиченого параметрами і визначають психрометром.

Для полегшення практичних розрахунків використовують номограму, що складена на підставі основних розрахунків і експериментальних даних. При цьому розраховують питому площу активної зони ω_{num} , що приходить на одиницю витрати охолоджуючої води, $m^2/(m^3 \cdot \text{добу})$. За номограмою визначають перегрів охолодженої у водосховищі циркуляційної води, що надходить до міста її забору, в порівнянні з природною температурою води $(t_2 - t_{nrip})$ залежно від величини нагріву води на електростанції (перепаду температур $\Delta t = t_1 - t_2$).

Номограму для теплового розрахунку водосховищ-охолоджувачів за методом Теплоелектропроекту наведено у додатку I (рис.1.1).

3.3.2. Бризкальні басейни

Бризкальні басейни являють собою відкриті резервуари, над поверхнею яких розбризкується вода. Резервуари можуть бути штучними або природними водоймами. Розбризкування води забезпечується системою розподільних труб для подачі води і сопел вода (рис.3.5). Відстань між розподільними трубами і між насадками (соплами), ширина коридорів повинні забезпечувати якнайкращі умови для розбризкування 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 колодезь і далі подається насосами в систему оборотного водопостачання.

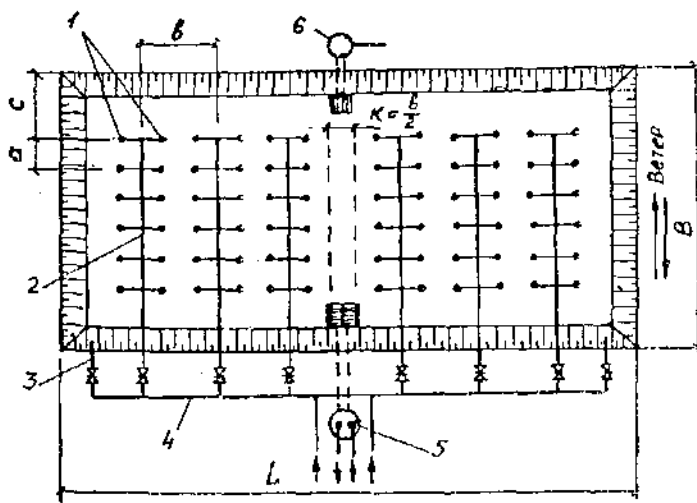


Рис. 3.5 – Схема бризкального басейну

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

6 - колодезь 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 розбрикування 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 складає 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. 3.6).

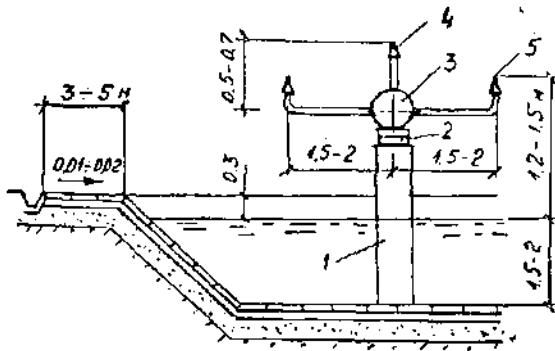


Рис.3.6 – Фрагмент брызкального басейну в розрізі

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 брызкального басейна повинна бути не більше 50 м.

Майданчик навколо басейну асфальтують на ширину 3 - 5 м з ухилом у бік басейнів. Брызкальні басейни виконують з бетону або залізобетонних плит з гідроізоляцією.

Для зменшення фільтрації води і запобігання розмиву стінок і дна басейну бічні укоси і дно басейну влаштовують залежно від місцевих умов різними способами.

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

Водоспускний колодязь обладнують горизонтальними ґратами. В нього також підключають переливну лінію. Дно басейну має ухил у бік випускного колодязя. Навколо басейнів повинна бути асфальтована площа шириною 3 - 5 м з ухилом у бік басейну.

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 брызкальних басейнів. Їх призначення полягає в рівномірному розподіленні води над басейном і створенні однакових за розміром дрібних краплин. Сопла повинні забезпечувати максимальне розбризкування води. Це за забезпечується

формою сопла та напором води перед ним. Чим більше напір перед соплом, тим менше діаметр краплин, що утворюються і більша поверхня охолодження. Однак при цьому зростають втрати води, пов'язані з винесенням води вітром. Тому звичайно вільний напір перед соплом складає 5-8 м. Вони повинні бути прості за конструкцією і в експлуатації, не засмічуватись, повинні легко прочищатися, мати невеликі втрати напору та прийнятну вартість.

Сопла утворюють факели бризок, які контактують із повітрям. Факели не повинні перекривати один одного, а між їх рядами повинні бути повітряні коридори (забезпечується це відстанню між розподільними трубами). Відстань між розподільними трубами дорівнює 8-12 м, а між окремими соплами – 1,2-4,5 м.

Конструкція сопла і величина напору воду перед ним визначають поверхню охолодження водяного факелу.

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

Розрахунок бризкальних басейнів

Розрахунок бризкальних басейнів полягає у визначенні геометричних розмірів, що забезпечують потрібну температуру охолоджуючої води t_2 . Оскільки теплові розрахунки складні, то їх здійснюють за спеціальними номограмами Н.Н. Терентьєва або Л.Д.Бермана.

На рис. 1.2 (дод. І) наведено номограму для теплового розрахунку, запропоновану Л.Д. Берманом. Вона складається з двох діаграм: основної A і допоміжної B і дозволяє визначати температуру охолодженої води t_2 залежно від величини напору в соплах H і температури повітря за змоченим термометром. За діаграмою, наведеною при напорі перед соплами $H = 5$ м і швидкості вітру 2 м/с, визначають температуру t_2' залежно від температури повітря за змоченим термометром і прийнятого значення Δt - ширини зони охолодження. Потім за допоміжним графіком B визначають поправку t_2'' , що враховує дійсний напір сопел, що віднімають з температури t_2' .

Температура охолодженої води

$$t_2 = t_2' - t_2''.$$

Недоліком цього способу є неможливість оцінити вплив вітру при його швидкості більше 2 м/с і відсутність параметра залежності охолоджуючого ефекту від гідравлічного навантаження.

Розрахунок за експериментальними графіками Н.Н. Терентьєва дозволяє визначити температуру охолодженої води залежно від величини напору в соплах Н, щільності зрошення (гідравлічного навантаження), перепаду температур (ширини зони охолодження) Δt і метеорологічних умов (температури повітря, відносної вологості повітря і швидкості вітру).

3.3.3. 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 до низу, 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), в яких поверхня охолодження створюється за рахунок розбризкування води високонапірними соплами, що встановлюють над водозбірним басейном, менш ефективні

ніж градирні з краплинними чи плівковим зрошувачем, оскільки площа поверхні контакту води з повітрям у них значно менше.

Водорозподільні й зрошувальні устрої градирень. Охолоджуюча вода розподіляється над зрошувачем градирні по системі дерев'яних або залізобетонних лотків, у дні яких маютьяся отвори, в які вставлені трубочки – гідравлічні насадки. Струмені води, що витікають з насадок, падають на розбризкуючі тарілки й утворюють фонтани бризок, які зрошують розташований нижче зрошувач. Гідравлічні насадки і тарілочки виготовляють з фарфору чи пластмаси. Їх розташовують над зрошувачем з таким розрахунком, щоб факели бризок, створюваних сусідніми тарілочками, перекривали один одного, досягається це при відстані між ними 1-1,25 м. Застосовують також напірний водорозподільний пристрій з нержавіючих труб, наприклад, азбестоцементних. У цьому випадку вода розбризкується над зрошувачем за допомогою спеціальних низьконапірних сопел.

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 визивають 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. В залежності від умов протікання води вони поділяються на краплинні, плівкові й комбіновані (рис. 3.7).

Краплинний зрошувач складається з великої кількості дерев'яних ріжок 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.

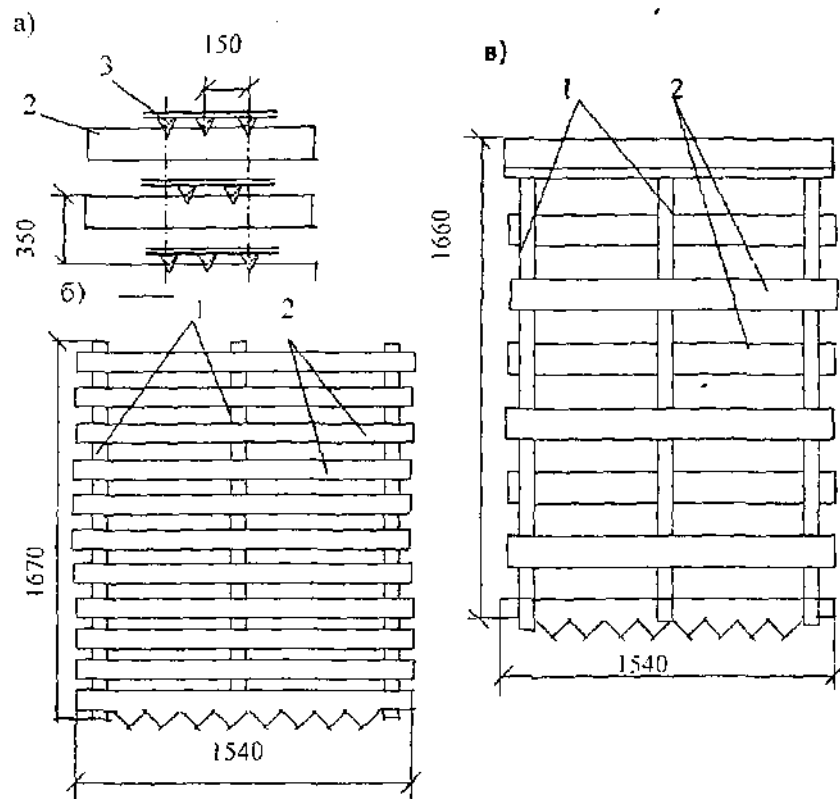


Рис. 3.7 – Типи зрошувачів

*а) – краплинний б) – плівковий в) – комбінований
1 – обрешітник 2 – горизонтальні дошки 3 – рейки трикутного перерізу*

Сучасні конструкції краплинних зрошувачів виготовляють з полімерних плоских ґрат або штампованих сітчастих (перфорованих) елементів з поліетилену. Термін служби зрошувачів та водоуловлювачів з полімерних матеріалів складає близько 20-25 років, у той самий час, як дерев'яні конструкції виходять з ладу за 10-15 років. Пластмасові зрошувачі компактні, прості у монтажу і легше азбестоцементних і дерев'яних.

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. Водоулов-

лювачі призначені для зниження виносу з охолоджуючим повітрям крапель вологи з градирень. Працююча градирня викидає в атмосферу повітря, насичене водяними парами з розмірами крапель води 100-500 мкм. При значних витратах охолоджуючої оборотної води і широкому застосуванні баштових і вентиляторних градирень у системах виробничого водопостачання ці втрати води складають істотну частину водного балансу підприємства. Крім того, на деяких підприємствах винесення вологи не допустиме або значно обмежується за санітарними обміркуваннями й екологічними вимогами. Встановлення водоуловлювачів над водорозподільниками градирень значно зменшує винос води до десятих, сотих і навіть тисячних часток відсотку від витрати оборотної води.

Найбільшого поширення в нашій країні, Росії 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.

Тривалий час основним типом водоуловлювачів, що використовувалися у вітчизняних градирнях, були дерев'яні жалюзійні. Останніми роками розробляють і освоюють водоуловлювачі з полімерних матеріалів. Пластмаси дозволяють значно удосконалити конструкцію водоуловлювачів і знизити їх масу.

При виборі водоуловлювача в конкретному випадку необхідно приймати до уваги, що кожен з них має свої переваги й недоліки. Вони відрізняються матеріалом, схемою збірки блоків, механічною міцністю, значенням аеродинамічного опору, проходувості повітря, ефективністю водоуловлювання.

За способом подачі повітря градирні поділяють на наступні три основних типи:

- 1) відкриті;

- 2) баштові;
- 3) вентиляторні.

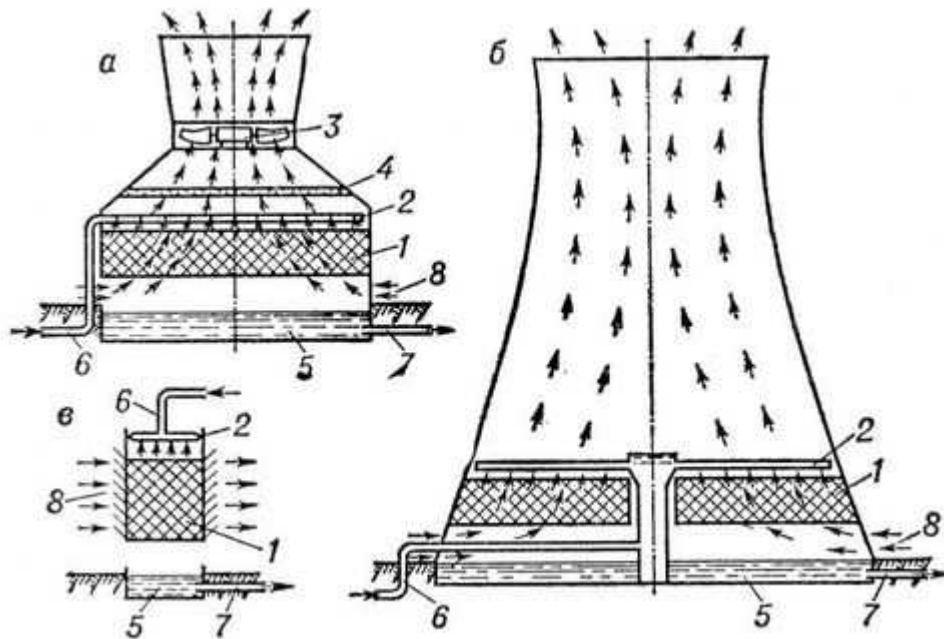


Рис. 3.8 – Градирні: а — вентиляторна; б — баштова; в — відкрита
 1 — зрошувач; 2 — водорозподільувач; 3 — вентилятор; 4 — водоуловлювач;
 5 — резервуар; 6 — підведення води; 7 — відведення води; 8 — вхід повітря

За напрямом руху повітря й охолодження води у зрошувачі розрізняють градирні:

1. протиточні (повітря рухається назустріч стікаючій воді);
2. поперечні (повітря і вода рухаються в зрошувачі взаємно перпендикулярно);
3. поперечнопротиточні (у центральній частині зрошувача градирні рух води і повітря протиточний, а в периферійній його частині він поперечний).

За конструкцією системи розподілення води по поверхні зрошувача градирні існують:

- 1) з трубчатими напірними розподільувачами;
- 2) з лотковими безнапірними розподільувачами.

За типом зрошувача, градирні поділяють на:

- 1) краплинні, в яких тепловіддача в основному відбувається з поверхні крапель води;
- 2) плівкові, в яких основна тепловіддача здійснюється з поверхні тонкої плівки, що утворюється на щитах зрошувача;
- 3) комбіновані, в яких тепловіддача здійснюється як з поверхні водяних крапель, так і з поверхні водяної плівки.

Особливим видом градирень є радіаторні градирні, в яких охолоджена вода віддає своє тепло повітрю, що проходить через охолоджувач шляхом тепловіддачі через стінку радіатора.

Слід відмітити, що незважаючи на різноманіття конструкцій градирень вони мають ряд загальних елементів: водорозподільні системи, зрошувальні пристрої, водоуловлювачі, а також водозбірні резервуари.

Відкриті градирні в порівнянні 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 являють собою невеликий витягнутий у плані бризкальний басейн, що з усіх боків огорожений жалюзійною решіткою (рис.3.8), що виконує роль водоуловлювачів та перешкоджає виносу бризг за межі градирні.

Вітер вільно продуває жалюзійну решітку й обдуває низхідні потоки води. Розбризкуючі сопла направлені вниз і знаходяться на висоті 4...5 м над поверхнею води в резервуарі. Вода окремими струменями проходить цей вільний простір, охолоджується і збирається в резервуарі. Щільність зрошення встановлюється в межах 1.5...3 м³/год на м². У крапельних градирнях цей вільний простір заповнений крапельним зрошувачем. Щільність зрошення приймається 2...4 м³/год на м².

Градирні мають ширину до 4 м в довжину 20-30 м. Їх розміщують довгою стороною за напрямом переважаючих вітрів у жаркий період.

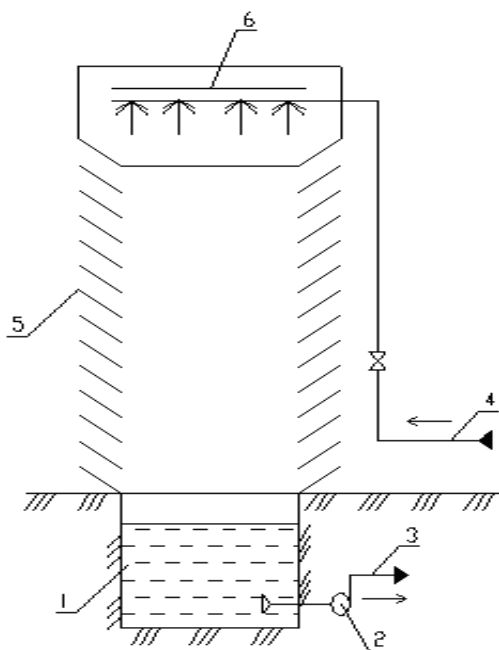


Рис. 3.8 – Відкрита бризкальна градирня

- 1 – резервуар градирні;
 2 – циркуляційний насос; 3 – подача охолодженої води споживачу;
 4 – подача води на охолодження;
 5 – дерев'яна решітка;
 6 – сопла

Вихідна вода подається у верхню її частину та рівномірно розбризкується по площі.

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...1500 м³/год і забезпеченні невисокого охолоджуючого ефекту. Ефект охолодження значно зменшується при відсутності вітру.

На практиці застосовують відкриті градирні з розбризкуванням води у двохрівнях: верхній розподілювач 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. 3.9).

Площа баштових градирень може бути від до 4000 м², а продуктивність - від 10 до 32000 м³/год. Щільність зрошення приймається 4...8 м³/год на м². Площа перерізу башти призначається 30...40% від площі зрошувача.

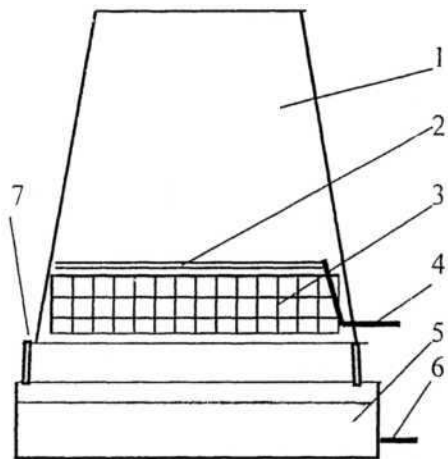


Рис. 3.9 – Баштова градирня:

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 припускають більшу інтенсивність зрошення, а тому і більш компактні, і можуть мати будь-яку продуктивність. Але вони мають високу будівельну вартість, а також складні при спорудженні.

Гідравлічне навантаження для баштових градирень вище, ніж для відкритих і складає звичайно $3-6 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$.

У баштових градирнях використовують протитоккові й поперечні зрошувачі. При використанні протитоккових зрошувачів башти розташовують над зрошувачем, а поперечних - зрошувач розташовують кільцем навколо башти.

До конструкції башти пред'являють підвищені вимоги за умовами стійкості внутрішньої аеродинаміки, застосованим матеріалам тому, що вони з внутрішньої сторони знаходяться під впливом вологого теплого повітря, а з зовнішньої – 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.

Воду на охолодження до розподільних пристроїв подають по стоякам центральним або боковим (для невеликих градирень). Зрошувачі встановлюють на дерев'яний або залізобетонний каркас.

У градирнях площею більшою за 1000 м^2 над водорозподільним пристроєм додатково влаштовують водоуловлювач. При збільшенні площі зрошувача башту проектують більш високою.

Інститутом «Теплоелектропроект» розроблено проекти баштових градирень з площею зрошування 324, 576, 900, 1200, 1520, 1600, 2100, 2600, 3200 і 4000 м^2 . Градирні площею 324, 576 і 900 м^2 у нижній частині, включаючи водозбірну чашу, мають у плані форму квадрата. На рівні 11,5 м витяжна башта їх переходить у форму правильної восьмикутної усіченої піраміди. Обшивають ці градирні або дерев'яними щитами або хвилястим азбоцементним листом.

Проекти градирень з площею зрошування 1200, 1600, 2100, 2200, 3200 і 4000 м^2 також передбачають сталевий каркас з обшивкою. Проте в плані вони мають форму багатокутника. Каркас градирень площею 1600, 3200 і 4000 м^2 може бути також і залізобетонним.

Градирні великої продуктивності виконують з баштами гіперболічної форми (рис. 3.10), які володіють хорошими аеродинамічними показниками і стійкістю. Висота таких градирень досягає 135 м, площа зрошувача до 6000 м^2 , а продуктивність до $50000 \text{ м}^3/\text{год}$.

Сумарна площа вхідних вікон дорівнює 35-45% площі градирні в плані. Для зменшення аеродинамічного опору над вхідними вікнами монтують повітрянапрямний козирок. Вікна обладнують поворотними щитами для зміни витрат.

Для розрахунку градирень побудовані експериментальні залежності, які дають можливість від температури та вологості повітря місцевості, необхідного температурного перепаду визначити щільність зрошення і відповідно площу зрошувача.

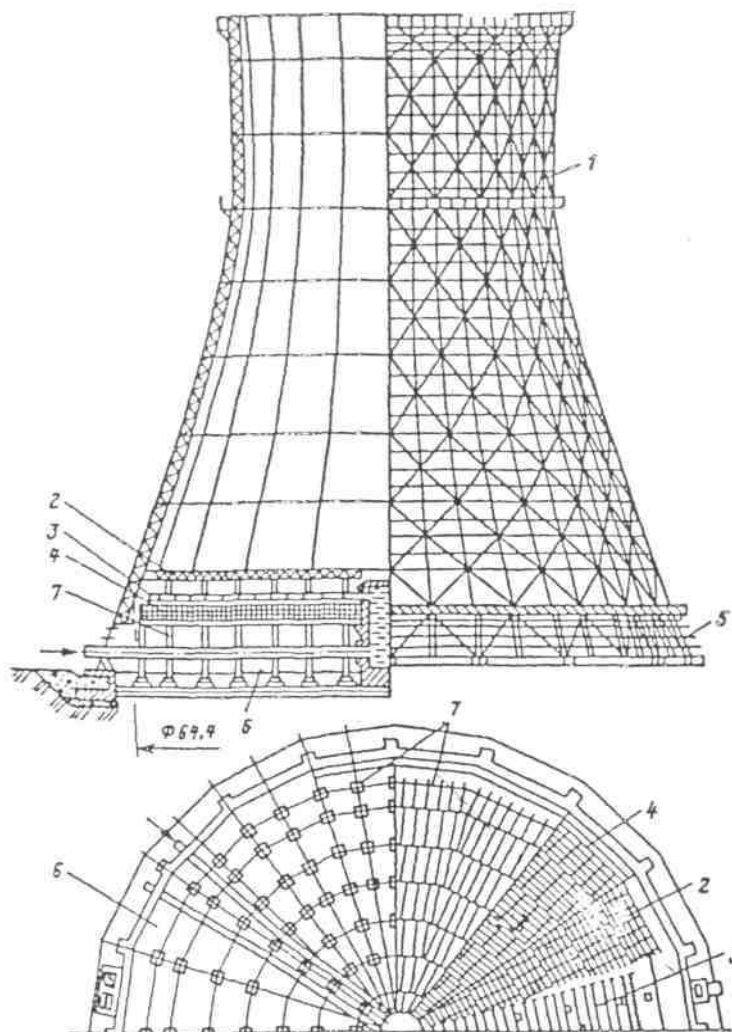


Рис. 3.10 – Баштова протиточна градирня

*1 – витяжна башта; 2 – водоуловлювач; 3 – водорозподільна система;
4 – зрошувач 5 – пристрій повітря регулюючий; 6 – водозбірний басейн;
7 – несучий опорний каркас*

Вентиляторні градирні - споруди для охолодження води в оборотних системах водопостачання з примусовою подачею повітря в зрошувальний простір за допомогою вентиляторів. У порівнянні 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 вентиляторах градирнях нижча, ніж в баштових, за однакових умов на 3-5°.

Вентиляторні градирні дозволяють підвищувати щільність зрошення до 10...14 м³/год на м². Вентиляторні градирні поділяють на баштові, що облад-

нані вентилятором великої продуктивності і секційні, які складаються із окремих секцій з 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 10000 м³/год), споруджують круглими, квадратними або прямокутними в плані.

Основні схеми вентиляторних градирень наведені на рис. 3.11. Вони можуть бути 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 менше. 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 простіше, ніж витяжних.

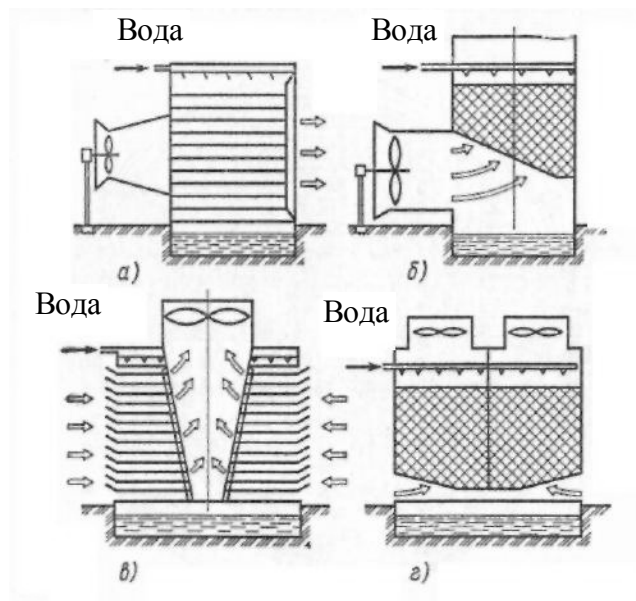


Рис. 3.11 – Схеми вентиляторних градирень

а), б) – з нагнітальними вентиляторами; в), г) – з витяжними вентиляторами;

а), в) – з поперечним рухом повітря, б), г) – з протиточним рухом повітря

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

Типові схеми (рис. 3.12) вентиляторних градирень розроблені інститутами «Союзводоканалпроект» і «Промстройпроект».

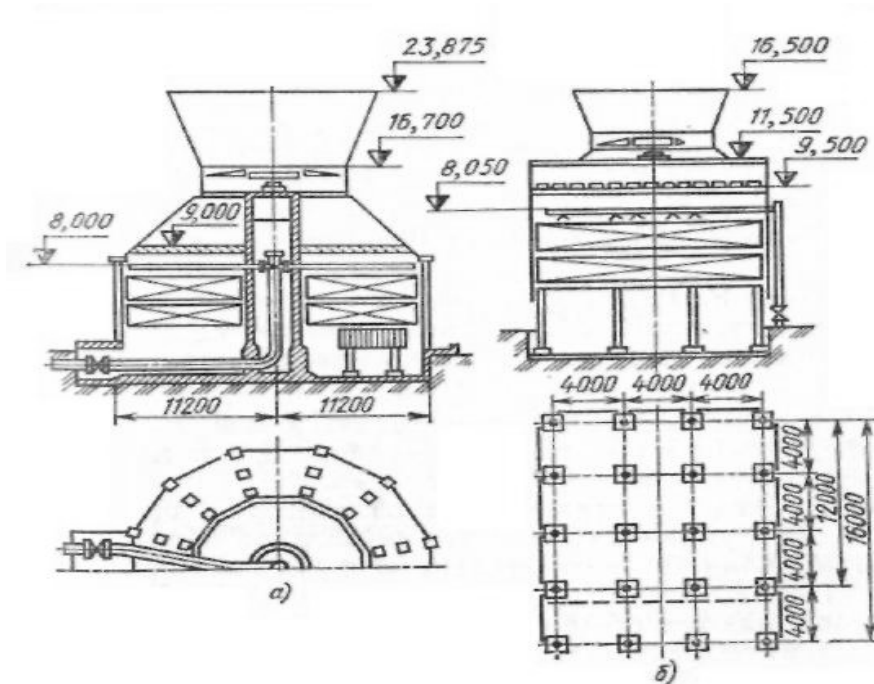


Рис. 3.12 – Типові схеми вентиляторних градирень
а) одновентиляторна б) секційна площею 144 або 192 м²

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'являтися туман над землею, який несприятливо впливає на технологічне обладнання. В 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.

У даний час В Росії і країнах СНД налагоджено виробництво *малогабаритних вентиляторних градирень*, що постачаються на підприємства в готовому вигляді. Конструкції їх дуже різноманітні. Вони відрізняються за ти-

пом і матеріалом зрошувачів і водоуловлювачів, системам розподілення води, підведення повітря, типом та розташуванням вентиляторів. Так, у градирнях типу «Одеса» застосовують зрошувач у вигляді завислих у висхідному потоці повітря шариків діаметром 38-40 мм зі спіненого пропілену з об'ємною масою 250 кг/м^3 . Опір такого зрошувача 500-600 Па. Для звичайних зрошувачів – до 160 Па, тому енергетичні затрати при подачі повітря в такі градирні більше приблизно в три рази. У більшості малогабаритних градирень застосовують традиційні розподілювачі, зрошувачі та водоуловлювачі сучасного типу з широким використанням полімерних матеріалів.

Широкий вибір моделей вентиляторних малогабаритних градирень типу Bora і можливість їх з'єднання дозволяють підібрати оптимальний тип малогабаритної градирні.

У малогабаритних градирнях Bora здійснюється більш інтенсивний теплообмін, ніж у градирнях зі стандартними вентиляторами ВГ-25, ВГ-50, ВГ-70, що побудовані за типовими проектами. В цих системах охолодження води здійснюється в основному за рахунок тепловіддачі при випаровуванні води і в меншому ступені за рахунок безпосереднього охолодження води повітряним потоком, що рухається назустріч через градирню. З екологічної й економічної точки зору, скорочення втрат води в цих градирнях, у порівнянні зі зрошувачами охолоджувачами відкритого типу, досягає 97%, а використання компактних електродвигунів та автоматизація процесів їх керування дозволяє досягти значного зниження енергоспоживання.

Використання таких градирень дозволяє уникнути великих інвестиційних вкладень, оскільки не потребує проведення масштабних будівельних робіт. Градирні постачаються готовими до монтажу і не потребують фундаментних робіт.

Переваги градирень типу Bora:

1. Градирні типу Bora можна встановлювати в будь-якому місці, оскільки їх комплектують склопластиковим піддоном. Мала вага градирень дозволяє монтувати їх на даху виробничих будівель. У випадку встановлення гради-

рень на існуючий басейн (чашу) замість старих градирень, можна виключити з комплектації піддон, що знизить їх вартість.

2. Малогабаритні градирні мають великий діапазон продуктивності однієї секції – від 1 до 500 м³/год. Установивши декілька секцій в одному оборотному циклі, можна досягти різної продуктивності системи охолодження.

3. Керування градирнями повністю автоматизовано. Система керування постійно стежить за температурою охолодженої води і миттєво реагує на її зміни. Як правило, градирні підбирають таким чином, щоб вони могли забезпечити необхідний ефект охолодження в саму жарку пору року. В інші періоди року електродвигуни вентиляторів градирні автоматично переводяться в економічний режим, що дозволяє більше ніж у 2 рази знизити споживання енергії.

4. Продумані конструкції сегментних стінок забезпечують легкий та швидкий демонтаж і монтаж градирень. Наявність піддонів дозволяє в разі необхідності, перемістити їх на нове місце без розбирання.

5. Висока корозійна стійкість. Сегменти стінок і дифузор виготовлені зі скло-пластика на основі поліефірних смол з нанесенням покриття, що попереджує корозію поверхні. Металоконструкції всередині блоків конструкції виготовлені з нержавіючої сталі. Опорна конструкція вентилятора виготовлена з оцинкованої сталі. Все це забезпечує довгий строк експлуатації без ремонту.

6. Можливість зниження шуму. Градирні можуть бути укомплектовані пристроями, що придушують шум вентилятора та шум води, що падає в піддон.

7. Швидкий демонтаж. Особливості конструкції градирні дозволяють провести її монтаж на підготовленому установочному майданчику в строк від одного дня до двох тижнів, в залежності від типу градирень і їх кількості.

Радіаторні градирні інколи ще називають сухими градирнями. В цих градирнях вода протікає через систему радіаторів з алюмінієвих ореблених труб та скомпонованих у декілька секцій (рис. 3.14). Діаметр трубок, зви-

чайно, приймається 15мм, а ребра - товщиною 0.3мм. Повітря продувається, як і у вентиляторних градирнях, відсмоктувальними вентиляторами.

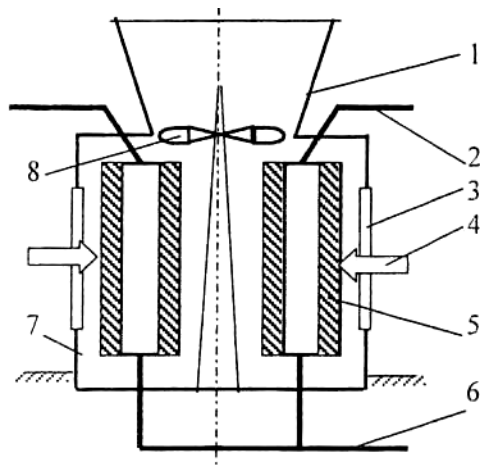


Рис. 3.14 - Радіаторна градирня

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. В той же час витрачається більше повітря, більші габарити градирні, в жарку погоду не забезпечується низька температура води, великі витрати метала і, відповідно, велика вартість. Використовують такі градирні в умовах, коли неможлива подача додаткової води або вартість її дуже висока.

3.3.4. Розміщення градирень на майданчику

При розміщенні градирень на майданчику промислового підприємства необхідно забезпечувати:

- безперешкодне надходження і відведення повітря;
- врахування напрямку пануючих вітрів у літній і зимовий періоди;
- мінімальний вплив на інші об'єкти (винесення крапель і утворення туману, обмерзання поблизу розташованих будівель, погіршення екологічної обстановки, вплив на роботу інших охолоджувачів);
- децентралізацію систем оборотного водопостачання з метою наближення градирень до споживачів води і зменшення діаметрів і протяжності трубопроводів і каналів.

Правильне розміщення градирень і вибір належної відстані між ними виключає попадання нагрітого повітря у вхідні вікна інших градирень, зміна мікроклімату під впливом теплоти і вологи забезпечує розрахункові параметри роботи охолоджувачів. Число градирень в оборотному циклі бажано

приймати мінімальним. Звичайно в одному вузлі розміщують від 2 до 12 секцій або окремо стоячих градирень. Градирні доцільно блокувати з циркуляційними насосними станціями, резервуарами-відстійниками, де має місце сильне заповнення повітря і необхідність відстоювання обороною води; розміщувати градирні невеликої продуктивності на покрівлі будівель.

Звичайно мінімальна відстань від відкритих градирень до інших охолоджувачів приймається 30 м, від баштових і одно вентиляторних - 20-40 м, від односекційних вентиляторних - залежно від площі зрошувача секції 10-40 м, до огорожі майданчика 10-20 м, до внутрізаводських доріг 15 - 20 м, до доріг загального користування 20-60 м. Мінімальні відстані між градирнями в одному ряду для відкритих і вентиляторних секційних - 3 м, баштових - половина діаметру, одновентиляторних – дві висоти вхідних вікон.

3.3.5. Розрахунок градирень

Відкриті градирні. Розрахунок відкритих краплинних градирень виконують за графіками, побудованими за експериментальними даними для певних стандартних умов. Конкретні умови враховуються введенням поправочних коефіцієнтів.

Номограма для розрахунку відкритих краплинних градирень (дод. І, рис.1.3 складається з двох видів графіків:

1. Основного (рис. 1.3, А), побудованого для градирні шириною 4 м, числом ярусів $n = 10$; при температурі повітря за змоченим термометром

$\tau = 20^{\circ}\text{C}$, швидкості вітру $w = 1,5 \text{ м/с}$ і $\frac{\tau}{T} > 0,9$, де T - температура повітря за сухим термометром.

2. Допоміжних графіків для визначення поправочних коефіцієнтів α_{τ} і

α_w (рис. 1.3, Б), α_n (рис. 1.3, В) і $\frac{\tau}{T}$ (рис. 1.3, Г), що відповідно враховують фактичну температуру τ , фактичну швидкість вітру w , фактичне

число ярусів n і фактичне відношення $\frac{\tau}{T}$.

Знаючи дійсне гідравлічне навантаження q_r , визначають приведені навантаження

$$q_{np} = \frac{q_r}{\alpha_\tau \cdot \alpha_\omega \cdot \alpha_n}$$

За приведеним гідравлічним навантаженням q_{np} , л/м²·с (за номограмою) і перепадом $\Delta t = t_1 - t_2$ за графіком (рис.1.3, А) визначають різницю температур $\Delta t' = t_2 - \tau$, де t_2 - температура охолодженої в градирні води.

Розрахункову температуру охолодженої води t_2 визначають з урахуванням поправки (рис.1.3, Г) за залежністю

$$t_2 = \tau + \Delta t' + \delta,$$

де δ - величина поправки °С.

Площа зрошувача градирні

$$F_{зр} = \frac{Q}{q_r},$$

де Q - витрата води, м³/год.

На рис.1.3 (дод.І) пунктирними лініями показано хід визначення температури охолодженої води t_2 у відкритій краплинній градирні висотою 11 м при гідравлічному навантаженні 3,7 м /м²·год, $\Delta t = 14^\circ\text{C}$, $T = 27,5^\circ\text{C}$, $\tau = 22^\circ\text{C}$, $w = 1,3\text{ м/с}$.

Аналогічні номограми використовують для теплового розрахунку відкритих бризкальних градирень.

Баштові градирні. Розрахунок баштових градирень складається з аеродинамічного і теплового розрахунків.

У баштових градирнях тяга створюється за рахунок висоти башти. Охолоджуючий ефект залежить від конструкції зрошувача та швидкості руху повітря в зрошувачі.

У результаті аеродинамічного розрахунку визначають необхідну висоту башти, що забезпечить потрібну середню швидкість руху повітря у зрошувачі.

Розрахунки баштових градирень достатньо громіздкі і виконуються за спеціальними алгоритмами програм з використанням ЕОМ. Для спрощування теплового розрахунку баштових градирень використовують емпіричні графіки (дод. І, рис.1.4).

За графіком А при заданій щільності зрошення (гідравлічному навантаженні) і перепаду температур Δt , визначають температуру охолодженої води t_2 при стандартних умовах: температурі повітря 25°C , відносній вологості $\phi=54\%$. Поправку на інші значення температури і вологості визначають за графіком Б.

Тепловий розрахунок градирень проводять для середньодобових температур атмосферного повітря за літній період для забезпеченості від 1 до 10%.

При реконструкції баштових градирень з заміною зрошувача, модернізацією водорозподільної системи, встановленням водоуловлювача до графіку охолодження води слід вводити корегуючі коефіцієнти, що може бути здійснено при натурних випробуваннях градирень після реконструкції. Однією з основних складових робіт, пов'язаних з реконструкцією градирень є заміна дерев'яних і азбестоцементних зрошувачів на пластмасові з виконанням відповідних технологічних розрахунків (з визначення коефіцієнтів опору зрошувача, коефіцієнтів масовіддачі, сили тяжіння, теплових розрахунків і т. п.) для визначення температури охолодженої води та швидкості повітря в баштовій градирні.

Вентиляторні градирні. Аеродинамічний розрахунок вентиляторних градирень полягає перш за все у визначенні аеродинамічного опору градирні в залежності від витрати повітря, що в неї подається. У вентиляторних градирнях тяга повітря створюється вентиляторами. Швидкість руху повітря у зрошувачі залежить від конструкції градирні, її гідродинамічного опору і продуктивності підібраного вентилятора. Середня швидкість руху повітря у зрошувачі вентиляторних градирень дорівнює 1,7-2,5 м/с.

Підбирають підходящий вентилятор і визначають параметри роботи, напір, продуктивність, коефіцієнт корисної дії.

Подальший розрахунок здійснюється з врахуванням прийнятої середньої швидкості руху повітря в зрошувачі.

Розрахунок градирень полягає у визначенні площі зрошувального пристрою і кількості градирень або їх секцій (якщо градирні секційні), що забезпечують охолодження заданих витрат води від температури на вході t_1 до температури на виході з градирні t_2 при заданих параметрах атмосферного повітря за сухим термометром θ , вологості повітря φ і температури за вологим термометром τ .

Параметри атмосферного повітря змінюються як протягом доби, так і в межах року. Розрахунок градирень здійснюють на найменш сприятливий літній період за середньодобовими температурами повітря за сухим і вологим термометрами за багаторічними спостереженнями при забезпеченості 1-10 %. Значення параметрів атмосферного повітря (температур θ і τ і вологості φ) для деяких міст наведені в табл.3 (дод. 1).

Розрахунок площі зрошування і кількості вентиляторів градирень виконують за допомогою графіків і таблиць, складених за дослідно-виробничими даними і теоретичними залежностями.

Площу зрошування вентиляторних градирень зі зрошувачем бризкального типу або краплинним зрошувачем визначають за формулою

$$F_{zp} = \frac{Q \cdot (t_1 - t_2) \cdot \sqrt{t_1 - t_2} \cdot 10^3}{K(V_e \cdot \rho)^{0,625} \cdot (t_1 - \tau)^{1,95}}, \quad (3.1)$$

де Q – витрата охолоджуваної води, м³/год;

$t_1 - t_2$ - температура відповідно охолоджуваної і охолодженої води °С;

K – коефіцієнт, що залежить від типу зрошувача, температури повітря за вологим термометром, ширини зони охолодження і натиску води перед соплами, визначається за табл. 4 дод. 1;

V_e - швидкість руху повітря через зрошувач, м/с;

ρ - щільність зовнішнього повітря залежно від його температури за сухим термометром і його відносною вологістю, кг/м^3 ;

τ - температура повітря за вологим термометром $^{\circ}\text{C}$, приймається за табл.3 (дод. 1).

Вказану формулу можна використовувати при ширині зони охолодження $t_1 - t_2 = 3-20^{\circ}\text{C}$, висоті зони охолодження $t_2 - \tau = 3-4^{\circ}\text{C}$, температурі повітря за вологим термометром $\tau = 15-22^{\circ}\text{C}$, відносній вологості $\varphi = 30-70\%$.

3.4. Втрати води в охолоджувачах

Втрати води в охолоджувачах залежать від типу охолоджувача, кліматичних умов, температур води на вході й виході з цеху і категорії водоспоживача.

У процесі охолодження втрати води складаються з втрат на випаровування і краплинне винесення вітром.

Втрати на фільтрацію враховуються тільки у водосховищах-охолоджувачах і накопичувачах при водопроникнутих ґрунтах та огорожуючих дамб. Втрати води на фільтрацію в бризкальних басейнах і з водозбірних резервуарів градирень не враховуються.

Втрати води на випаровування враховуються у випарних охолоджувачах (бризкальних басейнах, відкритих градирнях). В радіаторних охолоджувачах ці втрати відсутні.

Втрати води на випаровування в градирнях:

$$Q_{\text{вип}} = K_{\text{вип}} \Delta t \cdot Q, \quad (3.2)$$

де $K_{\text{вип}}$ - коефіцієнт, що враховує долю тепловіддачі випаровуванням у загальній тепловіддачі, залежить від температури повітря за сухим термометром та визначається за [10];

$\Delta t = t_1 - t_2$ - перепад температур води, що надходить на охолоджувач і охолодженої води, $^{\circ}\text{C}$;

Q - витрата оборотної води, $\text{м}^3/\text{год}$.

Для бризкальних басейнів і градирень залежно від температури повітря за сухим термометром τ значення коефіцієнта K складають:

| | | | | | |
|------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| $\tau, ^\circ\text{C}$ | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| K | 0,001 | 0,0012 | 0,0014 | 0,0015 | 0,0016 |

Для водосховищ-охолоджувачів K приймається залежно від природної температури води водоймища

| | | | | | |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $t, ^\circ\text{C}$ | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| K | 0,0007 | 0,0009 | 0,0011 | 0,0015 | 0,0015 |

Втрати води на краплинне винесення вітром враховуються у випарних охолоджувачах, бризкальних басейнах, відкритих градирнях і теплообмінних апаратах зрошувального типу. В радіаторних охолоджувачах ці втрати відсутні.

Втрати води внаслідок винесення вітром залежать від типу охолоджувача, продуктивності і наявності спеціальних водоуловлювачів для зниження винесення краплинної вологи (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 - Втрати води з краплинним винесенням вітром у процесі охолодження

| Тип охолоджуючих пристроїв | $P_2, \%$ |
|--|-----------|
| Бризкальні басейни з площею зрошування | |
| $< 400 \text{ м}^2$ | 1,5-3,5 |
| $\geq 400 \text{ м}^2$ | 1,0-2,5 |
| Відкриті градирні | 1-3 |
| Баштові градирні з площею зрошування, м^2 | |
| до 150 | 0,5-1,0 |
| більше 150 | 0,5 |
| більше 150 (з водоуловлювачами) | 0,05 |
| Вентилятори градирні, обладнані водоуловлювачами | 0,2-0,5 |

3.5. Вибір типу охолоджувача

Вибір типу охолоджувача здійснюють на підставі техніко-економічного порівняння варіантів. Тип охолоджувача приймають з урахуванням розрахунко-

вої витрати води, режиму роботи охолоджувача, умов розміщення на промисловому майданчику, розрахункової температури охолодженої води, перепаду температур води в системі, глибини охолодження, технологічних вимог до стабільного ефекту охолодження, особливостей експлуатації, хімічного складу води і її втрат на випаровування і винос вітром. При виборі охолоджувача крім того, слід враховувати вимоги природоохоронних органів до роботи охолоджувача, як можливого джерела негативного впливу на стан навколишнього середовища (винос краплинної вологи, викид шкідливих речовин, шум).

Рекомендована область застосування (табл. 2, дод. 2) різних типів охолоджувачів води визначається їх якісними і кількісними характеристиками: гідралічним навантаженням, тепловим навантаженням, шириною охолодження (перепадом температур) і глибиною охолодження (різницею температури охолодженої води і температури повітря за змоченим периметром), а також іншими факторами.

Водосховища-охолоджувачі протягом більшої частини року забезпечують мінімальну температуру води, але потребують великих площ для розміщення, тому застосування їх обґрунтовано при наявності вільних малоцінних земель, природних водоймищ або штучних водосховищ, при невисоких вимогах до ефекту охолодження води, а також у тих випадках, коли потрібно забезпечити мінімальну середньорічну температуру охолодженої води.

Бризкальні басейни. Через порівняно низьку вартість і простоту в експлуатації широко застосовуються для охолодження води при невисоких вимогах до ефекту охолодження води, коли не потрібна низька постійна температура води й при наявності придатних майданчиків для їх розміщення з відкритим доступом повітря. Вони володіють дуже низькою охолоджуючою здатністю, особливо в районах зі слабкими вітрами і довготривалими штилями в літній період. Втрати води в них більші, ніж у градирнях.

Відкриті градирні застосовують при витратах води до 300 м³/год, вони близькі за параметрами до бризкальних басейнів, можуть розташовуватися на покрівлях будівель. Їх недолік – низький охолоджуючий ефект і залежність

від атмосферних факторів. Відкриті краплинні градирні володіють більш високим охолоджуючим ефектом і застосовуються при витратах до 1000 м³/год при охолодженні води для компресорних і дизельних установок, не вимогливих до температури охолоджуючої води.

Баштові градирні застосовують при будь-яких витратах. Вони мають невелике віднесення води вітром. Завдяки тязі повітря, що створюється баштою, забезпечують більш високий і стійкіший ефект охолодження, ніж бризкальні басейни і відкриті градирні. Вони можуть бути компактно розташовані на майданчику підприємства на невеликих відстанях від виробничих будівель і споруд. Недоліком баштових градирень є складність спорудження і висока будівельна вартість.

Вентиляторні градирні. Вони забезпечують найвищий найстійкіший ефект охолодження води. В літній час можуть давати температуру нижче, ніж у водосховищах-охолоджувачах. Температуру охолоджуючої води можна регулювати шляхом зміни частоти обертів вентиляторів або відключенням окремих вентиляторів. Будівельна вартість їх значно нижче, а спорудження простіше, ніж баштових градирень, але робота вентиляторів вимагає великої витрати електричної енергії і складної експлуатації. Вентиляторні градирні застосовують при будь-яких витратах там, де технологічні процеси підприємства вимагають низької і стабільної температури охолоджуючої води, а також у районах з жарким і вологим кліматом.

Радіаторні градирні. Це високоефективні з точки зору економії водних ресурсів споруди, що забезпечують можливість максимального скорочення втрат води на промисловому підприємстві, оскільки втрати води в них на випаровування і віднесення відсутні. Якість охолоджуваної води не змінюється, як у випарних градирнях, де разом з мінералізацією вода забруднюється пилом і газами що містяться в повітрі.

Недоліками радіаторних градирень є висока металоємність і значно велика вартість у порівнянні з випарними градирнями. Вони вимагають у декі-

лька разів більшої витрати повітря і за інших рівних умов мають розміри, що перевищують розміри випарних градирень.

У літній період радіаторні охолоджувачі не можуть охолодити воду до таких низьких температур як випарні охолоджувачі, оскільки теоретичною межею охолодження води в них є температура повітря за сухим термометром. Застосування їх виправдане там, де подача додаткової води обходиться дорого або є дефіцит води. З санітарно-гігієнічної точки зору застосування радіаторних градирень доцільно, наприклад, при використанні очищених міських стічних вод або можливого забрудненні оборотної води токсичними продуктами виробництва, оскільки при своїй роботі вони не створюють навколо себе аерозолів. У зв'язку з цим радіаторні градирні можуть розташовуватися в безпосередній близькості від інших промислових будівель і споруд.

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. Типи градирень.
5. Кількісні та якісні характеристики охолоджувачів.
6. Водорозподільні системи й зрошувальні устрої градирень.
7. Типи зрошувачів.
8. Як здійснюється охолодження води в градирнях відкритого типу?
9. Баштові градирні. Конструкція, умови використання.
10. Вентиляторні градирні. Конструкція, умови використання.
11. Малогабаритні градирні для охолодження води.

4. ОБРОБКА ВОДИ ДЛЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ КОРОЗІЇ ТА ЗАРАСТАННЯ ТРУБОПРОВІДІВ І ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

4.1. Причини та види заростання труб і обладнання. Поняття стабільності води

Основними проблемами в оборотному водопостачанні є порушення водно-хімічного режиму роботи діючих систем водопостачання та водовідведення промислових підприємств через:

1) утворення щільних сольових відкладень у технологічному обладнанні, насосах, комунікаціях, очисному й охолоджуючому воду устаткуванні, що призводять до заростання перерізу труб, зниження пропускної здатності та підвищенню гідравлічного опору, що веде до нераціональних витрат енергії на транспортування води та може порушити нормальні умови експлуатації технологічного обладнання;

2) утворення корозійного зносу металу, руйнування бетону та залізобетону, обладнання і трубопроводів.

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 в якості теплоносія (охолоджувача)

Співвідношення між різними формами вуглекислоти залежить при даній температурі води від активності іонів водню (рН розчину) (рис. 4.1).

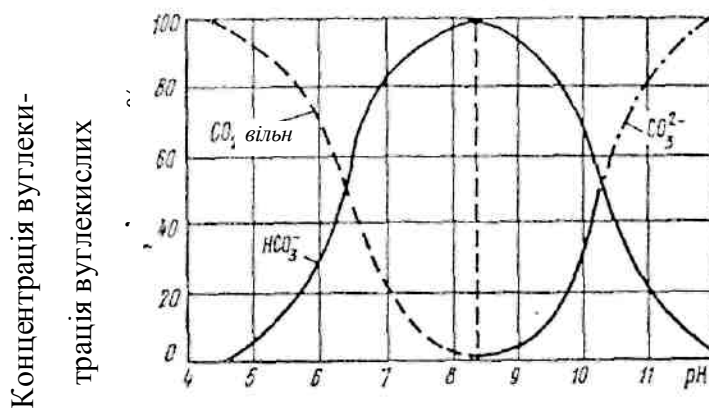


Рис. 4.1. – Співвідношення різних форм вуглекислоти і рН води при температурі 25°C

У природних водах вуглекислота може знаходитись у наступних формах:

- у вигляді вільної вуглекислоти CO_2 вільн., що знаходиться у вигляді розчиненого у воді газу;

- недисоційованих молекул H_2CO_3 ;
- бікарбонатних іонів HCO_3^- ;
- карбонатних іонів CO_3^{2-} .

Як видно з рис. 4.1, при $\text{pH} \leq 4$ уся вуглекислота, що міститься у воді знаходиться в формі вільної CO_2 . При збільшенні pH до 8,3 вміст вільної вуглекислоти зменшується почти до нуля, тоді як вміст бікарбонатних іонів зростає від нуля до максимуму. В діапазоні $\text{pH}=8,3-8,4$ вміст іонів HCO_3^- досягає 98% загальної кількості з'єднань вугільної кислоти, тоді як на долю останніх компонентів приходить десь 2%. При подальшому підвищенні pH вміст іонів CO_3^{2-} у воді збільшується за рахунок зменшення вмісту іонів HCO_3^- . При $\text{pH} \geq 8,4$ вільна вуглекислота практично відсутня.

Заростання трубопроводів і обладнання різними відкладеннями, особливо карбонатом кальцію, а також інтенсивність їх корозії, в значній мірі 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 жорсткість оборотної вод не є більшою за 2,5-3 мг-екв/л, відкладення карбоната 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:

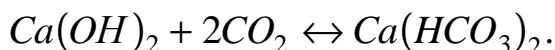
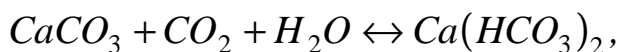
- підвищення у воді концентрації іонів магнію, хлоридів і сульфатів, а також присутність різних органічних добавок збільшує величину рівноважної лужності;
- присутність у воді іонів кальцію знижує її значення.

Стабільність є одним з основних показників якості води.

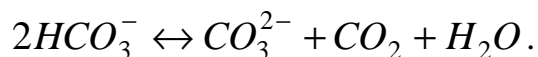
У практиці водопідготовки *стабільною* прийнято називати воду, що при визначеній температурі не здатна виділяти нерозчинні сполуки карбонату кальцію та не є агресивною, тобто не руйнує конструкційні матеріали. В якості основної умови такої стабільності є співвідношення між розчиненою у воді вільною вуглекислою й 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 ривняннями:



Води, що містить надлишок (над рівноважним вмістом) гідрокарбонатів, тобто підвищена 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 $(MgOH)_2CO_3$.

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 основним методом 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 со-

левміст води $f_4(P)$. Значення функцій від заданих величин визначають за номограмами, наведеними на рис. 3.1 (дод.3). 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 відносно до бетону і металу, спричинює їхню корозію.

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

Але слід також відмітити, що при вказаному вище процесі утворення відкладень є інші шляхи визначення стабільності води. Деякі автори (Кученко, 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 жорсткості, сульфатів та хлоридів. На підставі дослідів, проведених в інституті «ВНДПчерметенергоочистка» і узагальнення експериментальних даних було встановлено вплив компонентів соляного 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. Кількіс-

на оцінка величини рівноважної лужності забезпечує правильний вибір методу стабілізаційної обробки води.

4.2. Існуючі методи запобігання сольових 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 жорсткості й запобігання корозії в газоочисних апаратах, водоохолоджуючих елементах і трубопроводах.

Особливо актуальна проблема запобігання карбонатним відкладенням при роботі газоочисток киснево-конвертерних цехів (ККЦ). Слід також відмітити, 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. В системах водопостачання газоочисток конверторів і аглофабрик «зарастання» 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 вловлюється 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 відомі методи запобігання щільним сольовим відкладенням, що застосовують в практиці водопостачання (підкислення, карбонізація) неприємливі в системах водопостачання газоочисток конверторних цехів унаслідок низької ефективності і великих витрат реагентів.

Більш ефективнішим для подібних систем оборотного водопостачання є метод обмеження розчинення вапна, що потрапляє у воду і зниження гідратної лужності стічних вод. УкрДНТЦ «Енергосталь» запропоновано два типи реагентів для здійснення цього методу — силікатний реагент (рідке скло) і фосфорвміщуючий 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 більше 5 мг-екв/л і температурі оборотної води нижче 35⁰С 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 за-

побігання відкладенням і обмеженню розчинення вапна в системах водопостачання газоочисток з високим винесенням вапняного пилю.

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.

Рідке скло, як реагент, що обмежує розчинення вапна, випробуване в системі водопостачання газоочисток киснево-конверторного цеху №1 Новоліпецького металургійного заводу. 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 наступних умов:

- температура води, що потрапляє на газоочистку, не повинна перевищувати 35°C;
- неприпустиме надходження лужних вод з апаратів для згущування шламової пульпи й 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 змістом 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 жорсткості. 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 в даному 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.

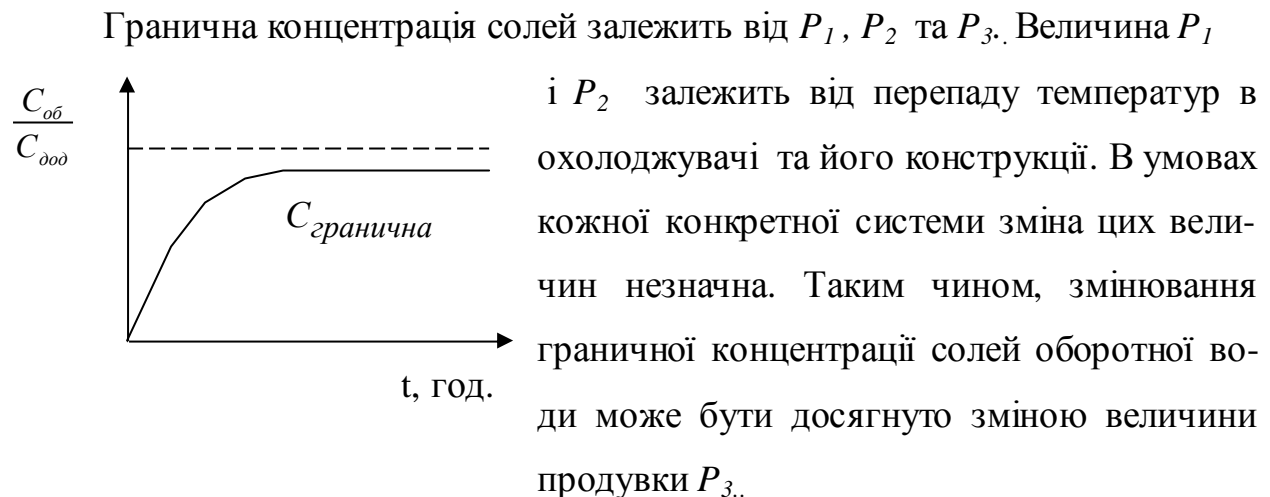
При невеликій лужності підживлюючої води безнакипна робота теплообмінної апаратури може бути забезпечена шляхом продувки оборотного водопостачання. В цих випадках величина продувки у відсотках від витрати оборотної вод буде дорівнювати:

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

де $Ж_{доо}$ - карбонатна жорсткість додаткової води, мг-екв/л;

$Ж_{об}$ - гранична жорсткість 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 бризкоуносу та продувки, але у той самий час з додатковою водою в систему постійно надходить однакова кількість солей. Таким чином, процес зростання концентрації солей сповільнюється.



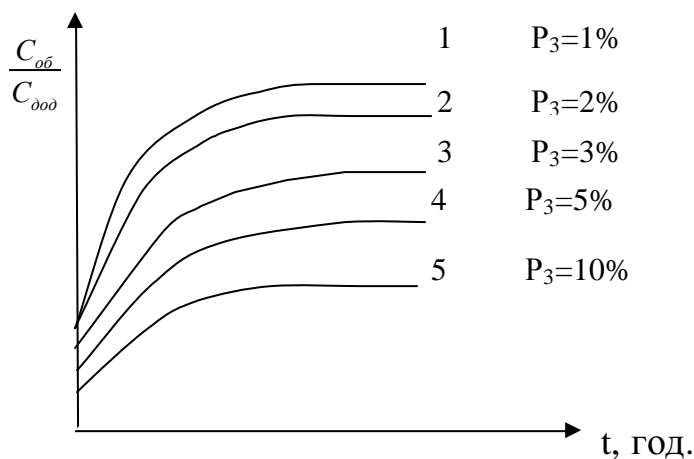


Рис. 4.2 – Криві зміни концентрації солей, що не випадають в осад при різних значеннях продувки

З аналізу кривих зміни концентрації солей, що не випадають в осад при різних значеннях продувки (рис. 4.2) видно, що гранична концентрація солей жорсткості при режимі, що 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 винос вітром, %;

P_3 – величина продувки, %.

Продувка системи ефективна тільки в тому випадку, якщо карбонатна жорсткість доданої води значно нижче за карбонатну жорсткість 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 їх стан.

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

У ряді випадків для обробки виробничних 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. В результаті такої обробки (рекарбонізації) в газоочисних апаратах, трубопроводах, насосах і градирнях інтенсивних карбонатних відкладень не спостерігається.

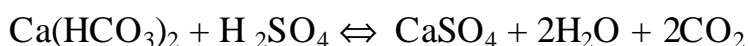
У даний час розроблено велику кількість методів протинакипної обробки води. Це обумовлено різноманітністю умов експлуатації оборотних систем водопостачання. Умовно всі методи можна поділити на *реагентні* (ті, що ґрунтуються на додаванні в оборотну або підживлюючу воду реагентів) і *безреагентні* (фізичні).

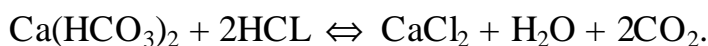
До першої групи слід віднести регулювання продувки, підкислення, рекарбонізацію, реагентне і катіонітне пом'якшення, знесолювання. До другої групи – фосфатування, додавання комплексонів, фізичні методи. Кислотно-фосфатна обробка води є комбінованим методом запобігання випадінню щільних сольових відкладень.

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 вод тощо).

4.2.1. Підкислення води

Підкислення води є одним з традиційних методів і розповсюджених методів обробки води. У виробництві з цією метою звичайно використовують сірчану і соляну кислоту. Підкислення полягає у зниженні лужності води шляхом переводу бікарбонатів у добре розчинні солі не карбонатної жорсткості згідно з реакціями:





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

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

Загальна лужність підживлюючої води,

$$L_{\Pi} = L_{\text{залишок}} + \Delta L_{\Pi} \quad (4.8)$$

де ΔL_{Π} – величина, на яку знижується лужність підживлюючої води за рахунок руйнування іона HCO_3^-

Тоді $K_{\text{вип}} \cdot L_{\text{залишок}} = L'_{\Pi}$, звідки $L_{\text{залишок}} = \frac{L'_{\Pi}}{K_{\text{вип}}}$.

$$\Delta L_{\Pi} = L_{\Pi} - \frac{L'_{\Pi}}{K_{\text{вип}}}, \quad (4.9)$$

де L'_{Π} – гранична лужність оборотної (циркуляційної) води.

$$L'_{\Pi} = \frac{A[(100 - P_d)(\text{CO}_2)_{\Pi} + P_{\Pi} \cdot ((\text{CO}_2)_d + 44L_{\Pi})] + 100b}{100 + 44P_3A}, \quad (4.10)$$

де A, b – коефіцієнти, які приймаються за табл.5.1

$(\text{CO}_2)_{\Pi}$ та $(\text{CO}_2)_{\Pi}$ – концентрації CO_2 відповідно в оборотній воді і воді, що додається (підживлюючій воді), мг/л.

Таблиця 4.1 – коефіцієнти A і b

| Температура оборотної води, К | А | b | | | |
|-------------------------------|------|--|-----|-----|-----|
| | | Окисність води, що додається мг/л O_2 | | | |
| | | 5 | 10 | 20 | 30 |
| 303 | 0,26 | 3,2 | 3,8 | 4,3 | 4,6 |
| 313 | 0,17 | 2,5 | 3,0 | 3,4 | 3,8 |
| 323 | 0,10 | 2,1 | 2,6 | 3,0 | 3,2 |

При підкисленні води дозу кислоти з розрахунку на підживлюючу воду визначають за формулою

$$D_k = e \left(L_{\text{доо}} - \frac{L_{\text{об}}}{K_k} \right) \frac{100}{C_k} \quad (4.11)$$

де е- еквівалентна маса кислоти;

C_k – вміст сірчаної або соляної кислоти %. Технічна сірчана кислота містить від 75 до 93% H_2SO_4 , технічна соляна кислота містить більше 28% HCl .

Підкислення здійснюють розбавленими розчинами кислот.

$$\text{Лужність оборотної води, мг-екв/л} \quad (4.12)$$

$$L_{\text{об}} = 0,1N \sqrt{4,84N^2 (P - P_1) + (100 - P)(CO_2)_{\text{охол}} + P(CO_2)_{\text{доо}} + 44PL_{\text{доо}}} - 0,22N^2 (P - P_1)$$

де $P = P_1 + P_2 + P_3$

$$N = \frac{\psi}{\sqrt{K_k (Ca^{2+})_{\text{об}}}} \quad (4.13)$$

$$(Ca^{2+})_{\text{об}} = \frac{P}{P - P_1} (Ca^{2+})_{\text{д}} \quad (4.14)$$

ψ - коефіцієнт, що визначається залежно від загального солевмісту оборотної води (табл. 3.2, дод. 3)

$(CO_2)_{\text{охол}}$ – концентрація вуглекислоти в оборотній воді після охолоджувача, мг/л, що визначається залежно від L_d і K_k .

Загальний солевміст оборотної води

$$S_{\text{об}} = S_{\text{доо}} K_k \quad (4.15)$$

Сульфат кальцію не випадає в системі оборотного водопостачання, якщо добуток активних концентрацій іонів Ca^{2+} і SO_4^{2-} в оборотній воді не перевищує добутку розчинності сульфату кальцію

$$f^2 \cdot Ca \cdot SO_4 \cdot K_y \leq PP_{CaSO_4} \quad (4.16)$$

f - коефіцієнт активності двохвалентних іонів (табл. 4.2), що визначається залежно від іонної сили розчину для оборотної води.

Таблиця 4.2 - Коефіцієнт активності двохвалентних іонів

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

Добуток розчинності сульфату кальцію при температурі 25-60°C приймають $2,4 \cdot 10^{-5}$.

При підкисленні сірчаною кислотою

$$C'_{SO_4} = C_{SO_4 \text{ дод}} + \frac{D_k \cdot C_k}{98000 \cdot 100} \quad C'_{Cl} = C_{Cl \text{ дод}} \quad (4.17)$$

При підкисленні соляною кислотою

$$C'_{SO_4} = C_{SO_4 \text{ дод}} \quad C'_{Cl} = C_{Cl \text{ дод}} + \frac{D_k \cdot C_k}{36500 \cdot 100} \quad (4.18)$$

Іонна сила розчину оборотної води, г-іон/кг

$$\mu = \frac{K_y}{2} [(C'_{Cl^-} + C_{HCO_3^-} + C_{Na^+}) + 4(C_{Ca^{2+}} + C_{Mg^{2+}} + C'_{SO_4^{2-}})], \quad (4.19)$$

де $C_{HCO_3^-}$, C_{Na^+} , $C_{Ca^{2+}}$, $C_{Mg^{2+}}$ - концентрації іонів у підживлюючій воді, г-іон/кг.

Таблиця 4.3 – Концентрація $(CO_2)_{\text{охол}}$ в оборотній воді, охолодженої в градирнях при підкисленні

| Лужність підживлюючої води $L_{\text{д}}$, мг-екв/кг | Концентрація $(CO_2)_{\text{охол}}$, мг/кг, при коефіцієнті випаровування | | | | |
|---|--|-----|-----|-----|-----|
| | 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 |

Витрату кислоти, необхідну для обробки води визначають за формулою

$$q_k = \frac{Q \cdot D_k}{1000} \quad (4.20)$$

Тут Q – загальна кількість води, що додається в систему

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \text{ м}^3/\text{год}$$

D_k – доза кислоти, г/м³.

4.2.2. Фосфатування

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 то, що фосфати не володіють агресивними властивостями і до точності їх дозування не пред'являють високих вимог.

В якості реагентів фосфатної обробки застосовують головним чином гексаметафосфат натрію ($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$) і триполіфосфат натрію $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, іноді тринатрійфосфат $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ і суперфосфат $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, в яких зміст P_2O_5 складає 50-52%.

У присутності невеличких концентрацій поліфосфатів на поверхні мікрокристалів карбонату кальцію (CaCO_3) утворюється адсорбційно-хімічне сполучення, 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.

Фосфатування успішно застосовується, якщо лужність додаткової води не перевищує 3,5-4 мг-екв/л. Інакше слід принадити комбінований спосіб обробки – фосфатування разом з підкисленням.

При обробці води фосфатами для попередження утворення щільних солевих відкладень передбачають продувку P_3 , %, яку визначають за формулою

$$P_3 = \frac{P_1}{K_{\text{ВМП}}^{\text{ДОП}} - 1} - P_2 \quad (4.21)$$

де $K_{\text{ВМП}}^{\text{ДОП}}$ – допустимий коефіцієнт випаровування води, що визначається за формулою

$$K_{\text{ВМП}}^{\text{ДОП}} = (2 - 0,15 \cdot L_{\text{д}})(1,4 - 0,01 \cdot t_1)(1,1 - 0,01 J_{\text{д}}) \quad (4.22)$$

де $L_{\text{д}}$, $J_{\text{д}}$ – відповідно лужність та жорсткість води, що додається, мг-екв/л;
 t_1 – температура оборотної води пере охолоджувачем, °С.

Дозу технічного продукту (тринатрійфосфату або суперфосфату) для обробки добавочної води у системі можна розрахувати за формулою

$$D_{\phi} = (3 + 0,2 \frac{E}{q_{\text{доб}}}) \frac{100}{C} \quad (4.23)$$

де E – об'єм води у системі (в резервуарах градирні, трубопроводах, лотках і газоочисних апаратах), м³;

$q_{\text{доб}}$ – 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

$$G_{\phi} = \frac{D_{\phi} \cdot q_{\text{доб}}}{1000} \quad (4.24)$$

4.2.3. Метод комбінованої фосфатно-кислотної обробки води

Фосфатно-кислотну обробку застосовують при підвищеній лужності додаткової води (більше 5 мг-екв/л) з метою зменшення продукції оборотних систем і зниження корозії охолоджуючої апаратури. Зниження продукції досягається переводом частин карбонатних солей у розчинні сполучення 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

$$D_k = e_k (L_d - L_d^{ГРАН}) \frac{100}{C_k}, \quad (4.25)$$

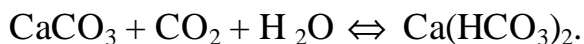
де $L_d^{ГРАН}$ – гранична величина лужності води, що додається, мг-екв/л, при якій запобігання утворенню карбонатних відкладень при заданих умовах (t_1 , $K_{ВИП}$, $Ж_d$) досягається фосфатуванням.

$$L_d^{ГРАН} = 16 - \frac{K_{ВИП}}{0,125(1,4 - 0,01t_1)(1,1 - 0,01Ж_d)} \quad (4.26)$$

Дозу фосфатного реагенту (триполіфосфату або гексаметафосфату) приймають 3-5 мг/л за товарним продуктом в розрахунку на підживлюючу воду й уточнюють в процесі експлуатації.

4.2.4. Рекарбонізація оборотної води

Для боротьби з перенасиченістю карбонатом кальцію застосовують також обробку вод димовими газами, що містять вуглекислоту – *метод рекарбонізації*. Суть цього методу полягає в насиченні води вуглекислим газом з метою підтримки вуглекислотної рівноваги і запобігання випадінню карбонатних відкладень шляхом попередження розпаду бікарбонатів:



Незважаючи на високу ефективність, даний метод має недоліки: необхідність строгого дозування димових газів щоб уникнути корозії в системі, небезпечність для обслуговуючого персоналу в зв'язку з наявністю в газах окисі вуглецю та великих капітальних затрат на спорудження установки.

Рекарбонізацію димовими газами застосовують при лужності води, що додають до 3,5мг-екв/л і коефіцієнтах концентрування, що не перевищують 1,5.

4.3. Стабілізаційна обробка води для попередження корозії

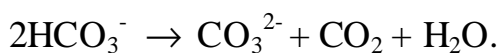
При створенні повністю замкнених систем оборотного водопостачання важливе значення поряд із запобіганням щільних сольових відкладень має запобігання корозійного зносу устаткування трубопроводів. Зокрема це від-

носиться 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 знаходилась 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. В якості неорганічних інгібіторів 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 система 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 та ін.), застосування катодного захисту;
- введення інгібіторів;
- введення фосфатів, що утворюють захисні плівки на катодних і анодних ділянках поверхні метала 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 з введенням лужних реагентів передбачається дозування гексаметофосфата або триполіфосфату натрію у кількості 0,5-1,5 мг/л (за P_2O_5).

Схему фосфатування оборотної води показано на рис. 4.3.

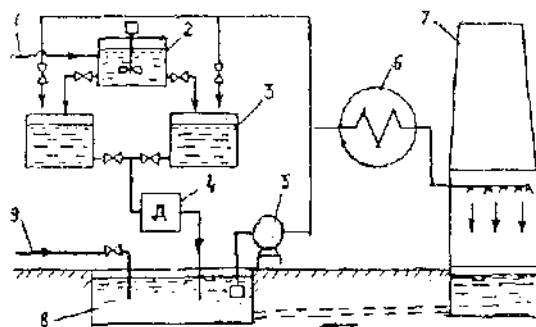


Рис. 4.3 – Схему фосфатування оборотної води

*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*

Стабілізації води при негативному індексі насичення можна досягти видаленням з неї надлишкової вуглекислоти дегазацією з застосуванням різних типів дегазаторів.

Контрольні запитання

1. Основні причини порушення водно-хімічного режиму роботи діючих систем водопостачання та водовідведення ПП.
2. Визначення стабільності води.
3. Заходи при позитивному й негативному індексі стабільності.
4. Назвіть основні методи запобігання щільним сольовим відкладенням в оборотних системах водопостачання.
5. Які методи застосовують в системах водопостачання газоочисток конверторних цехів?
6. Методи стабілізації води для попередження корозії й захисту трубопроводів.

5. ОЧИСТКА ВИРОБНИЧИХ СТИЧНИХ ВОД

5.1. Класифікація стічних вод, що відводяться від промислових підприємств

Стічні води, що відводяться з території промислових підприємств (ПП), за складом розділяють на три види:

- виробничі, які утворюються в процесі виробництва різних виробів, продуктів, матеріалів (технологічні розчини, що відпрацювали, промислові води, води від охолодження; шахтні і кар'єрні води; води хімоводоочистки; води від миття устаткування й виробничих приміщень, води від збагачувальних фабрик, а також від очистки та охолодження газоподібних відходів, очистки твердих відходів і їх транспортування);
- атмосферні води - дощові води та води від танення снігу;
- побутові – стічні води від санітарних вузлів виробничих корпусів і будинків, а також від душових установок, наявних на території ПП.

Відповідно до цього розподілу на ПП існують 3 колектори для відводу:

- виробничо-технологічних стічних вод, тобто використаних у технологічному процесі або що утворюються при видобутку корисних копалин (вугілля, руди, нафти), технологічних процесах їх переробки на металургійних підприємствах і одержанні готового продукту;
- побутових стічних вод;

- поверхневого стоку з території ПП, що утворюється з дощових і талих вод;

Побутова каналізація ПП підключається до загальноміської. Таким чином, водовідведення ПП розглядається в основному відносно до виробничих стічних вод і поверхневого стоку з території ПП.

5.2. Склад і властивості виробничих стічних вод.

Режим водовідведення

Виробничі стічні води діляться на 2 основні категорії: забруднені і незабруднені (умовно чисті). Незабруднені води надходять від холодильних, компресорних, теплообмінних апаратів. Вони утворюються при охолодженні виробничого устаткування, готової продукції. Ці води тільки нагріваються і після охолодження використовуються повторно.

Отже, до промислових стічних вод відносяться:

- умовно чисті (від охолодження агрегатів);
- хімічно забруднені стічні води;
- поверхневі стічні води, що стікають з території ПП.

Хімічно забруднені стічні води, в свою чергу, підрозділяють на:

- органічно забруднені (підприємства м'ясної, харчової, целюлозно-паперової, хімічної промисловості, заводи з виробництва пластмас, каучуку);
- забруднені переважно мінеральними домішками (підприємства металургійної, машинобудівної, рудо- і вуглевидобувної промисловості, заводи з виробництва мінеральних добрив, кислот, будівельних матеріалів);
- забруднені мінеральними і органічними домішками (підприємства нафтовидобувної, нафтопереробної, нафтохімічної, текстильної, легкої, фармацевтичної промисловості; заводи з виробництва консервів);
- води, що мають специфічні забруднення.

Речовини, що забруднюють виробничі стічні води, різноманітні і залежать від технології та виду виробництва.

За вмістом забруднюючих речовин виробничі стічні води (слабоконцентровані та висококонцентровані) розділяються на чотири групи: 1-500, 500-5000, 5000-30000 і більше 30 000 мг/л.

Виробничі стічні води можуть розрізнятися за фізичними властивостями забруднюючих їх органічних продуктів (наприклад, за температурою кипіння): менше 120°C, 120—250°C та вище 250°C.

За ступенем агресивності стічні води розділяють на:

- слабоагресивні (слабокислі із $\text{pH} = 6-6,5$ і слабколужні із $\text{pH} = 8-9$);
- сильноагресивні (сильнокислі із $\text{pH} < 6$ і сильнолужні із $\text{pH} > 9$);
- неагресивні (з $\text{pH}=6, 5-8$).

Фізико-хімічні показники виробничих стічних вод окремих підприємств свідчать про широкий діапазон коливань складу цих вод, що викликає необхідність ретельного обґрунтування вибору оптимального методу очистки для кожного виду виробничих стічних вод.

Виробничі стічні води різних галузей промисловості істотно відрізняються як за складом забруднюючих речовин, так і за їх концентраціями. Так, наприклад, у стічних водах заводів чорної металургії в окремих цехах затримуються: завислих неорганічних речовин 0,2-5 г/л, окалини 0, 3-2 г/л, фенолів 0, 7-1 г/л, смол і мастил 0,2-1,8 г/л. У стічних водах целюлозно-паперових заводів завислих речовин затримуються 400-2000 мг/л - це переважно волокно і целюлоза. У стічних водах текстильних підприємств утримуються завислих речовин 250-400 мг/л, миючих речовин 50-120 мг/л. У стічних водах підприємств важкої індустрії затримуються в основному забруднення мінерального походження, а харчової й легкої промисловості - забруднення органічного походження.

Виробничі стічні води протягом зміни можуть надходити рівномірно або нерівномірно, що пов'язано з безперервною або періодичною роботою технологічних установок. На багатьох виробництвах хімічної, легкої, текстильної, фармацевтичної, харчової та інших галузей промисловості відбуваються залпові надходження висококонцентрованих і високотоксичних стоків.

При цьому періодичність скидання може бути один раз на зміну, на добу, на тиждень. Режим скидання виробничих стоків цілком визначається регламентом технологічного процесу виробництва окремих цехів і промислового підприємства в цілому.

Для промислових підприємств, окрім режиму водовідведення стічних вод за годинами, протягом доби слід враховувати графіки добового коливання складу стічних вод за основними фізико-хімічними показниками, а також за специфічними забруднюючими компонентами (поверхнево-активними, токсичними і радіоактивними речовинами).

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

При аналізі стічних вод повинні визначатися: вміст компонентів, специфічних для даного виду виробництва (фенолів, нафтопродуктів, поверхнево-активних, радіоактивних, вибухонебезпечних речовин), загальна кількість органічних речовин, що виражається величинами БПК_{повн} і ХПК; активна реакція; інтенсивність забарвлення; ступінь мінералізації. Необхідно встановити такі параметри, як кінетика осідання або спливання механічних домішок, коагулюємість стоку та ін. Ці дані дозволяють вибрати найбільш доцільний і економічно обґрунтований метод очистки стічних вод для певного підприємства.

5.3. Характеристика та умови утворення виробничих стічних вод

Виробничі стічні води утворюються на промислових підприємствах в результаті використання води в технологічних процесах і при промивках обладнання. Переважна більшість виробничих стічних вод мають більш високу мінералізацію, ніж господарчо-побутові, і відрізняються характерним для кожного виробництва вмістом мінеральних і органічних сполук. Склад виро-

бничих стічних вод і концентрація в них забруднень обумовлюються галузями промисловості, видом сировини, режимом технологічних процесів, питомою витратою води на одиницю продукції та іншими факторами.

Виробничі стічні води очищуються разом з господарчо-побутовими на очисних спорудах міста або окремо на позамайданчикових очисних спорудах промислових підприємств, після чого скидаються у водойму або повторно використовуються. Позамайданчикові очисні споруди відносяться до системи каналізації промислового підприємства, але на відміну від локальних установок очистки стічних вод розташовані за територією промислового майданчика.

Відповідно до [40, 41] спуск у міську каналізаційну мережу стічних вод, що містять шкідливі речовини, дозволяється за умови, якщо після змішування з основною масою стоків концентрації в них шкідливих речовин не перевищують встановлених норм. У міську каналізацію не приймають без попередньої очистки виробничі стічні води, що містять жири, масла, смоли, бензин, нафтопродукти й інші речовини в концентраціях, що перешкоджають процесу біологічної очистки і скиду у водойми.

Забороняється скидати у систему каналізації населених пунктів виробничі стічні води промислових підприємств, що містять:

- речовини, які здатні засмічувати труби, колодязі, ґрати або відкладатися на стінках труб, колодязів, ґрат (окалина, вапно, пісок, гіпс, металева стружка, та т.п.);
- речовини, що мають руйнівну дію на матеріали труб і елементи споруд каналізації;
- шкідливі речовини в концентраціях, що перешкоджають біологічному очищенню стічних вод;
- небезпечні бактеріальні забруднюючі речовини;
- нерозчинні мастила, смоли й мазут;
- завислі й спливаючі речовини в концентраціях, що перевищують 500 мг/л;

- речовини, для яких не встановлені гранично припустимі концентрації (ГПК) у воді водних об'єктів господарсько-питного, культурно-побутового й рибогосподарського водокористування.

Скидання виробничих стічних вод у системи каналізації населених пунктів повинно здійснюватися самостійними випусками з обов'язковим устроєм контрольного колодязя, розташованого за межами підприємства. Випуски промислових підприємств повинні бути обладнані пристосуваннями (автоматичними пробовідбірниками, витратомірами і якщо буде потреба автоматичними запірними пристроями, які опломбовуються) для постійного контролю за витратою і якістю стічних вод.

Якщо кількість і состав виробничих і інших стічних вод істотно змінюються протягом доби, на промислових підприємствах встановлюють спеціальні ємкості - усереднювачі, які забезпечують протягом доби відносно рівномірний режим скидання виробничих стічних вод.

Промислові підприємства зобов'язані постійно контролювати кількість та склад виробничих стічних вод, що скидаються в систему каналізації населеного пункту. Контроль здійснюється шляхом аналізу складу стічних вод до і після комплексу локальних споруд з очищення виробничих стічних вод, у контрольних колодязях (у тому числі при відсутності локальних очисних споруд), а також виміру кількості стічних вод, що скидаються у контрольних колодязях.

Радикальним рішенням у питанні запобігання забруднення водоймищ стічними водами є створення замкнених систем водного господарства промислових підприємств.

Підвищення ступеню очистки виробничих стічних вод і зменшення їх скидів у міську каналізацію особливо актуальні для таких водоемких галузей промисловості, як теплоенергетика, чорна й кольорова металургія, хімічна, нафтохімічна і нафтопереробна, целюлозно-паперова.

5.4. Методи очистки виробничих стічних вод

Очистка виробничих стічних вод організується з метою використання їх в системах оборотного, послідовного чи замкненого водопостачання, забезпечення умов прийому у міські системи водовідведення або скиду у водні об'єкти.

Використання очищених стічних вод у системах оборотного водопостачання є центральним питанням загальної проблеми переведення підприємств на режим без скиду стічних вод.

Для очистки стічних вод промислових підприємств застосовуються головним чином:

- механічні методи (проціджування, відстоювання у відстійниках, піскоуловлювачах, нафтовловлювачах; гідроциклонах, осаджувальних центрифугах та фільтрування води);
- хімічні методи (нейтралізація, коагуляція, флокуляція);
- фізико – хімічні методи (флотація, сорбція, екстракція, евапорація) ;
- електрохімічні методи, що пов'язані з накладанням електричного поля - електрокоагуляція, електрофлотація;
- комбіновані методи.

Основним фактором при виборі методу обробки води є фазовий стан речовини.

Вибір методу очистки води, типи і розміри очисних споруд залежать від складу, властивостей і витрат промстоків, площі території підприємства та інших факторів, а також вимог до якості очищеної води.

На різних ПП *механічна очистка* є єдиним і достатнім способом очистки стічних вод від механічних домішок і для підготовки їх до повторного використання в системах оборотного водопостачання, наприклад, залізорудні й вуглезбагачувальні фабрики. На деяких ПП, наприклад, на металургійних заводах, передбачається охолодження механічно очищеної стічної води на градирнях.

5.5. Відстійники для очистки виробничих стічних вод

Найбільш простий засіб видалення зі стічних вод грубодисперсних нерозчинених домішок – відстоювання, в процесі якого завислі речовини осідають на дно, плаваючі домішки спливають на поверхню відстійників.

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

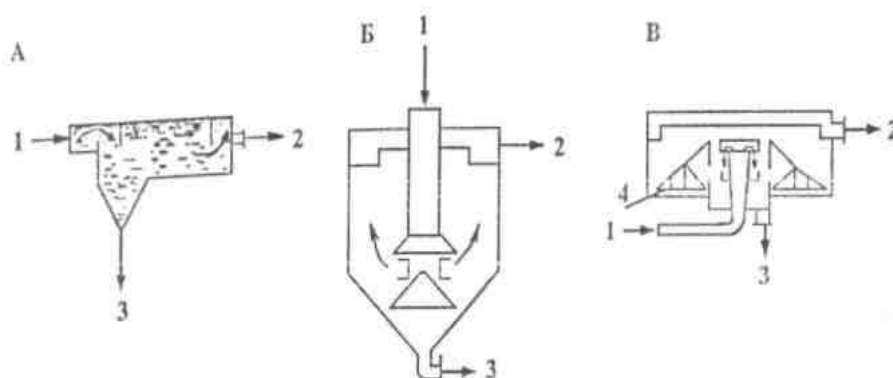


Рис. 5.1 – Відстійники

*A – горизонтальний; Б – вертикальний; В – радіальний
1 — забруднена вода; 2 — очищена вода; 3 — осад (шлам); 4 — скребковий механізм*

Горизонтальні відстійники є найпоширенішими спорудами для очистки як природних, так і стічних вод, незважаючи на наявність істотних недоліків. При цьому є істотні розходження при застосуванні таких відстійників для очистки питної води і для очистки стічних вод ПП. Ці розходження в першу чергу стосуються питань, пов'язаних з видаленням осаду (шламу). При очищенні промислових стічних вод, завислі речовини яких відрізняються високою щільністю, осад (шлам) видаляють за допомогою спеціальних механізмів, наприклад, за допомогою грейферного крана. При цьому осад видаляється з відстійників періодично.

Горизонтальні відстійники являють собою прямокутні проточні ємкості, в яких відбувається осадження забруднень під дією сил ваги. Рух води здійснюється у відстійнику вздовж довгої сторони від однієї торцевої стінки до другої. Підведення та відведення води здійснюється по лотках. Після підвідного лотка передбачено водорозподільний щит, перед відвідним лотком, у разі необхідності, передбачається масло утримуючий щит. За висотою у відстійнику виділяють дві частини: верхню, яку називають робочою частиною, де відбувається осідання завислих речовин (зона осідання) та нижню, де накопичується й ущільнюється осад, що випадає.

Тривалість відстоювання залежить від дисперсності часток, їх форми, тобто величини гідралічної крупності (швидкість осадження часток у нерухливій воді, мм/с).

При роботі горизонтальних відстійників найбільш крупні частки випадають на початку відстійника в бункер для осаду (шламу). Більш дрібні частки випадають далі по довжині відстійника за ходом руху води.

При виборі типу відстійників необхідно мати на увазі їх деякі експлуатаційні особливості. При значних витратах води горизонтальні відстійники доводиться влаштовувати багатосекційними, бо звичайно ширина однієї секції приймається 5-6 м (продуктивність – десь 100-120 м³/год). Загальним недоліком секційних відстійників є важкість правильного розподілення води за секціями, в результаті чого окремі секції виявляються перевантаженими і як наслідок, у них погіршується очистка. Крім цього, ефект очистки залежить від своєчасного видалення осадів з відстійників.

Вертикальні відстійники. Разделение твердой и жидкой фаз в вертикальных отстойниках происходит за счет уменьшения скорости потока и изменения его направления на 180°. Вертикальные отстойники более компактны, однако их эффективность на 10—20% ниже, чем у горизонтальных.

В конструкції *радіального* відстійника реалізовано принцип дії вертикального й горизонтального відстійників. Радіальний відстійник – звичайно круглий в плані резервуар, вода в якому в процесі очистки рухається за раді-

усом від центра до периферії. В міру віддалення води від центру швидкість зменшується. Це сприяє випадінню завислих речовин на дно відстійника та спливанню речовин, щільність яких менше 1. Стічна вода через центральний розподільчий пристрій надходить у відстійник, а освітлена вода збирається в круговий периферійний жолоб.

Осад, що випадає на дно відстійника згрібається за допомогою скребкової ферми у центральний приямок, звідки видаляється за допомогою шламових насосів. Эффективность осветления в радиальных отстойниках достигает 60%. Глубина колеблется от 1,5 до 5 м,

Глибина проточної частини складає 1,5-5 м, діаметр — от 15 до 60 м. Тривалість перебування стічної води у відстійнику 1,5-2 год.

Радіальні відстійники звичайних конструкцій діаметром 26-30 м впродовж багатьох років використовують для очищення стічних вод газоочисток доменних печей і інших металургійних агрегатів при питомому гідравлічному навантаженні $0,4-2 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{год}$.

Залежно від виду плаваючих домішок, що видаляються, відстійники можуть називатися нафтауловлювачами, жируловлювачами. Ефективність видалення з води плаваючих домішок складає 95-96 %. Домішки, що спливли видаляють з поверхні спеціальними пристосуваннями і направляють на утилізацію.

Розрахунок відстійників полягає у визначенні його довжини, ширини і глибини при заданій витраті й мінімальній крупності частинок, що необхідно осадити. Іноді замість мінімальної крупності частинок задається необхідний час відстоювання.

Площу відстійника приблизно можна визначати за витратою води, що очищається, якщо відоме гідравлічне навантаження на відстійник, $\text{м}^3 / \text{год}$ на 1 м^2 , що одержують на підставі досвіду експлуатації відстійників для аналогічних забруднених вод.

Якщо горизонтальний відстійник використовують одночасно для уловлювання як осідаючих, так і спливаючих речовин, то розрахункову довжину

відстійника приймають найбільшою з одержаних при розрахунку для першого або другого випадку. Виловлений шлам з горизонтальних відстійників видаляється періодично або безперервно. Для періодичного видалення шламу застосовують ковші грейферів, якими обладнуються відстійники або пересувні крани на авто- або залізничному ході, що обслуговують усі відстійники підприємства, або мостові крани, обслуговуючі тільки одну групу відстійників. Безперервне видалення шламу здійснюють насосами або ерліфтами, застосовують також скреперні лебідки або механізми типу скребкового конвеєра.

Уловлене масло й інші нафтопродукти системою лотків відводяться в ємкість, з якої перекачують в цистерни для відвезення у відвал або на утилізацію. Для запобігання забиванню маслопроводів маслом, що загусло, в холодну пору року весь тракт руху масла підігрівають системою паропроводів. Для згання масла, що спливає на поверхню відстійника до місця його видалення застосовують спеціальні маслосгінні пристрої, що звичайно працюють періодично. У відстійниках, призначених для уловлювання як масла, так і осідаючих речовин, маслосгінний пристрій звичайно обладнують пристосуванням для згрібання шламу, що осів.

Горизонтальні відстійники найбільш часто застосовують для очистки стічних вод підприємств чорної металургії, зокрема, для первинного і вторинного очищення стічних вод станів гарячої прокатки металу. Задовільний ступінь очищення стічних вод у вторинних горизонтальних відстійниках може бути досягнутий при питомих навантаженнях менших $0,8 - 1,1 \text{ м}^3/\text{м}^2 \times \text{год}$, а в умовах роботи замкнених систем оборотного водопостачання $0,4 - 0,8 \text{ м}^3/\text{м}^2 \times \text{год}$, що вимагає значних виробничих площ для розміщення очисних споруд.

Для розрахунку горизонтальних відстійників необхідні наступні дані:

- кількість стічних вод, $\text{м}^3/\text{год}$, за максимальним припливом;
- концентрація завислих речовин, важких механічних домішок, легких механічних домішок (масел й нафтопродуктів), мг/л ;

- припустимий вміст завислих речовин у проясненій воді, мг/л;
- гідравлічна крупність часток U_0 , які необхідно видалити для забезпечення необхідного ступеня очистки $E, \%$.

Розрахункову величину гідравлічної крупності визначають за кривими кінетики осадження завислих речовин $E = f(t)$, що отримані експериментально, відстоюванням стічної води в статичних умовах у шарі висотою h , як правило такому, що відрізняється від дійсної висоти відстоювання в обраному типі відстійника. Для приведення отриманих результатів до натурної величини (висоти шару проточної частини відстійника) слід робити перерахунки U_0 за формулою

$$U_0 = \frac{1000 \cdot H_{set} \cdot K_{set}}{t_{set} \cdot \left(\frac{K_{set} \cdot H_{set}}{h_1} \right)^{n_2}}, \quad (5.1)$$

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

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

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

n_2 - показник степені, що залежить від агрегації зависі в процесі осадження.

За цією формулою можна також визначити гідравлічну крупність спливаючих домішок забруднюючих речовин, що легше води.

Величина K_{set} для горизонтальних відстійників дорівнює 0,5, для радіальних - 0,45.

Розрахунок радіальних відстійників здійснюють за питомим гідравлічним навантаженням, $\text{м}^3/\text{год}$ на 1 м^2 площі відстійника, що визначається на основі лабораторних досліджень, або експлуатаційних даних. За одержаною в результаті цього розрахунку загальною необхідною площею відстійників визначають кількість відстійників стандартного діаметру.

Розміри відстійників слід визначати за формулами:

- для горизонтальних відстійників

$$L = \frac{v \cdot H}{k \cdot U_0}; \quad (5.2)$$

- для радіальних відстійників

$$R = \sqrt{\frac{Q}{3.6\pi \cdot k \cdot U_0}}, \quad (5.3)$$

іє L – довжина горизонтального відстійника, м;

R – радіус радіального відстійника, м;

V – середня розрахункова швидкість руху води в проточній частині відстійника, мм/с (приймається 5-10 мм/с для радіальних і горизонтальних відстійників);

H – глибина проточної частини (для горизонтальних відстійників $H = 1,5 - 3$ м, для радіальних $H = 1,5 - 5$ м);

k – об’ємний коефіцієнт (для горизонтальних відстійників $k = 0,5$; для радіальних $k = 0,45$);

Q – розрахункова витрата стічних вод, м³/год;

U_0 – гідравлічна крупність часток зависі, мм/с.

Для визначення величини гідравлічної крупності забруднень при визначенні розмірів відстійників дуже часто застосовують технологічне модулювання процесу очистки стічних вод від механічних домішок. У результаті проведення експериментів з технологічного моделювання процесу відстоювання будують криву кінетики процесу відстоювання стічних вод.

При дослідженні кінетики осадження дуже важливо вивчити флокуляційні властивості зависі, тобто схильність до укрупнення при повільному перемішуванні води без додавання коагулянтів. Помітними природними флокуляційними властивостями володіють не всі види завислих речовин. Флокулюємість залежить від хімічного складу завислих речовин, вихідної концентрації твердої фази в стічних водах тощо.

Так, наприклад, вивчення флокулюємісті завислих речовин зі стічних вод газоочистки конвертору для виплавки сталі показало, що при відстою-

ванні проби води в циліндрі кількість часток, що випали за 15 хвил. складає 69,1%, а при тих самих умовах, але з повільним перемішування протягом 1 хвил. кількість їх зростає до 81,3%.

Флокуляційні властивості завислих речовин краще всього проявляються в повільно висхідному потоці води.

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

- низька продуктивність (питомі гідравлічні навантаження знаходяться в межах $1-2 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$,
- непристосованість для роботи з коагуляцією і флокуляцією,
- недосконалість конструкції (коефіцієнт використання обсягу дорівнює 0,5, що свідчить про їх гідравлічну недосконалість, періодичне відведення осаду та ін.).

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

Нижче розглядаються конструкції сучасних апаратів і споруд для очищення стічних вод, розроблених УкрДНТЦ «Енергосталь», в яких найкращим чином реалізовані флокуляційні властивості завислих речовин. Рахування флокуляційних властивостей завислих речовин дозволяє значно збільшити продуктивність споруд та апаратів, що призначені для прояснення води.

УкрДНТЦ «Енергосталь» – одна з головних й найбільш значних науково-дослідних і проектно-конструкторських організацій України в області промислової екології, використання вторинних ресурсів, енергозбереження, розробки і впровадження нових технологій в металургії і машинобудуванні.

Для очистки значних витрат стічних вод доцільно застосовувати *відстійники з вбудованою камерою флокуляції гідроциклонного типу* (рис.5.2). Діаметр відстійника – 30 м. Камера пластівцеутворення має циліндричну форму діаметром 10 м.

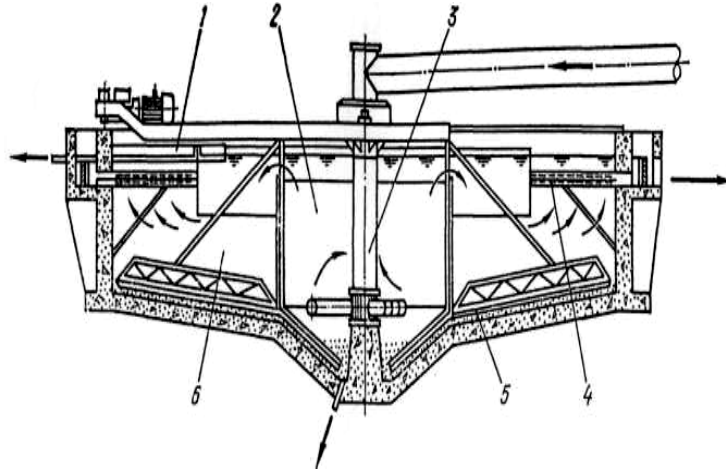


Рис. 5.2 – Відстійник з камерою пластівцеутворення гідроциклонного типу:

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

Цей відстійник можна застосовувати також для очистки стічних вод, які містять окрім завислих речовин, масло (наприклад, для очистки стічних вод цехів гарячої прокатки сталі, що містять окалину та масло), а також для освітлення стічних вод від газоочисток доменних і конверторних цехів металургійних комбінатів.

Радіальні відстійники діаметром 30 м із вбудованими камерами пластівцеутворення побудовані й експлуатуються в системах оборотного водопостачання станів гарячого прокату «2000» Череповецького металургійного заводу та багатьох інших.

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

Для інтенсифікації процесу очищення стічних вод застосовують різні коагулянти і флокулянти. Як коагулянти найчастіше використовують хлорне

і сірчанокиисле залізо, сірчанокислий алюміній, вапно й ін., як флокулянти - різні високомолекулярні органічні сполуки, наприклад, поліакриламід (ПАА), активована кремнекислота й ін.

Для виділення з виробничих стічних вод специфічних забруднюючих речовин застосовують *спеціальні відстійники*. Створення спеціальних конструкцій відстійників для очистки виробничих стічних вод обумовлено різноманіттям нерозчинних речовин, які доцільно видаляти відстоюванням. Це можуть бути і важкі домішки (окалина, пісок, інші мінеральні речовини, важкі смоли), і досить легкі, що спливають (нафта, масла, жири, легкі смоли та ін.).

Легкі домішки, що спливають, утримуються в стічних водах різних галузей промисловості: машинобудівної, металургійної, хімічної, нафтової та інших. Ці речовини можуть бути присутні в стічних водах самотійно або в сполученні з іншими нерозчинними домішками, в тому числі й важкими. В цьому випадку у всіх спеціальних відстійниках передбачаються спеціальні пристрої для збору й відділення легких і важких домішок. Одними з таких споруд є тонкошарові відстійники, нафтовловлювачі з тонкошаровими блоками, маслосмолоуловлювачі та ін.

Для очистки стічних вод коксохімічних заводів (фенольних стічних вод, забруднених переважно смолою й маслами) застосовують радіальні й прямокутні *відстійники - смолоуловлювачі*.

За нормативними даними «Гіпрококсу» тривалість відстоювання у відстійниках - смолоуловлювачах – 6 год., а ефективність осадження смоли - 70-80%.

Однак смоломаслоуловлювачі не повністю затримують дрібнодисперсні забруднення, внаслідок чого їхній залишковий вміст після відстоювання на протязі 4-6 год. не знижується менше 200-300 мг/л. Тому споруди такого типу служать для попередньої очистки стічних вод.

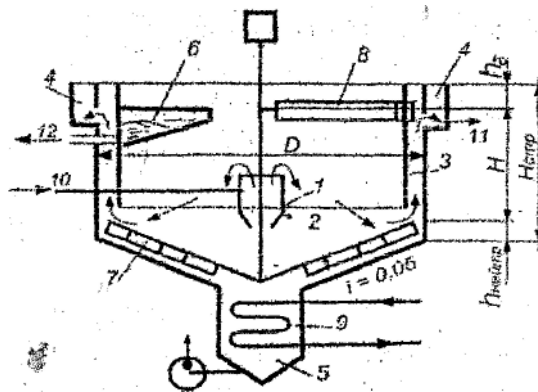


Рис. 5.3 – Схема радіального смоломаслоуловлювача:

- 1 - відкритий гідроциклон (водорозподільник); 2 - відстійна зона;
 3 - перегородка підвісна кільцева; 4 - кільцевий лоток очищеної води;
 5 - збірник для смол; 6 - радіальний лоток для масел і легких смол;
 7 - донний шкребок; 8 - верхній шкребок; 9 - обігрівач; 10, 11 - вихідна і очи-
 щена вода; 12 - масла й легкі смоли

Радіальний відстійник - смоломаслоуловлювач складається з металевого корпусу, розташованого над поверхнею землі, оснащеного нижніми скребковими пристроями для переміщення смоли, яка осаджується в центральний зумпф і верхніми пристроями для видалення спливаючих забруднень. Стічна вода подається в смоловідстійник по трубопроводу в центр і потім через центральну трубу надходить в осадову частину, відстоюється, рухаючись радіально від центра до периферії. Потім прояснена вода через заглибну перегородку і кільцевий водозлив надходить у лоток проясненої води, з якого вона відводиться за межі відстійника. Смола, що осаджується на дні відстійника, періодично видаляється скребковим пристроєм у центральний приямок, з якого відкачується насосом у збірник смоли. Для зменшення в'язкості смоли перед відкачуванням підігрівають парою до температури 55-60°C. Спливаючі забруднення (масла) перетікають у радіальний лоток, з якого відводяться у спеціальну ємкість.

Середню глибину робочого шару води у відстійниках – смоломаслоуловлювачах приймають 1,5 м, швидкість руху води 1-2 мм/с, тривалість відстоювання 3-4 год, ефект освітлення 80-90%

5.6. Відкриті гідроциклони, флокулятори

У відкритих гідроциклонах використовуються переваги відстійних апаратів і напірних гідроциклонів.

Відкриті гідроциклони доцільно застосовувати для освітлення порівняно невеликих кількостей стічних вод ($100-200 \text{ м}^3/\text{год}$), що володіють значною концентрацією суспензії та високими флокуляційними властивостями (природними або тими, що виникли внаслідок застосування реагентів).

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

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

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

Відкритий гідроциклон (рис. 5.4) складається з трубопроводу подачі стічних вод, що очищаються, тангенціального до циліндричної частини апарата та циліндричного корпусу з витягнутим вниз конічним днищем. Вода рухається в апараті обертаючись уверх, проходить через отвір у конічній діафрагмі, збирається в кільцевий водозбірний лоток та відводиться з апарату. Осад випадає в конічну частину апарата.

Швидкості руху води у відкритих гідроциклонах значно менше, ніж у напірних гідроциклонах, тому вони забезпечують не відкидання часток до стінок апарата, а їхнє укрупнення в процесі повільного обертально-поступального руху. У нижній частині відкритого гідроциклону відбувається швидке укрупнення часток за рахунок кінетичної і градієнтної коагуляції.

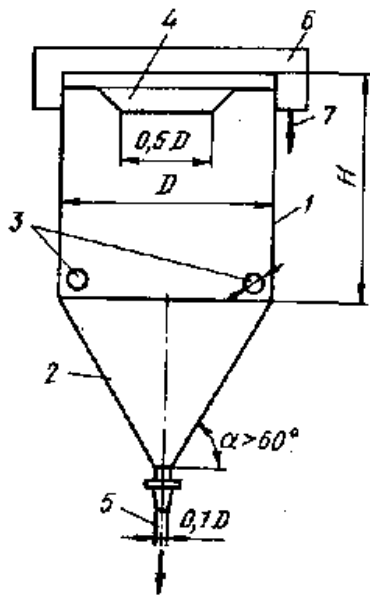


Рис. 5.4 – Відкритий гідроциклон:

- 1 – корпус; 2 – конічне днище; 3 – патрубки підведення забрудненої води;
4 – діафрагма; 5 – відведення шламової пульпи; 6 – кільцевий лоток;
7 – відведення проясненої води

Завдяки тангенціальному підведенню води в апараті створюється обертально-поступальний рух, що сприяє укрупненню, флокуляції завислих часток. Це укрупнення відбувається завдяки градієнтній коагуляції. Укрупненню часток сприяє також та обставина, що вода, яка очищується і домішки, що осаджуються, перебувають у зустрічному русі. Така гідродинаміка апарата дозволяє домогтися істотної інтенсифікації процесу очистки в порівнянні з вертикальними відстійниками й освітлювачами зі зваженим шаром осаду.

Гідроциклони у порівнянні з іншими спорудами для механічної очистки вод відрізняються високою продуктивністю, компактністю, економічності у виготовленні та експлуатації.

Відкриті гідроциклони виготовляють діаметром 2,5 - 8 м.

Для підвищення ефективності конструкція гідроциклону доповнюється циліндричною перегородкою.

Відкриті гідроциклони застосовують наступних типів: без внутрішніх устроїв, з діафрагмою, з діафрагмою і циліндричною перегородкою та багатоярусні. Наявність діафрагми сприяє розширенню потоку води та відділенню завислих речовин, зменшенню обсягу застійних зон і як наслідок цього збільшенню коефіцієнта використання обсягу апарата. Цей коефіцієнт (α) для відкритих гідроциклонів дорівнює 0,8. При відсутності конічної діафрагми $\alpha = 0,5-0,6$.

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

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

$$q = 3,6 \cdot U_0 \cdot K, \quad (5.4)$$

де U_0 - гідравлічна крупність часток, мм/с ;

K - коефіцієнт пропорційності, що залежить від конструкції гідроциклона (для простих гідроциклонів $K=0,61$).

Апарат працює як без коагуляції й флокуляції за допомогою реагентів, так і особливо ефективно за допомогою цих речовин.

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

Головним недоліком відкритих гідроциклонів є небезпека забивання шламових отворів, що істотно ускладнює експлуатацію. Як можливі шляхи виключення цього явища можна відзначити: 1) устрій скребкового пристрою, що приводиться в дію за допомогою електропривода; 2) видалення осаду з гідроциклону за допомогою шламових насосів. Ці рішення дозволяють не тільки виключити забивання шламових отворів, але й зменшити кількість шламової пульпи, що видаляється з апарата і відповідно дозволяє збільшити концентрацію твердої речовини.

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

Відкриті гідроциклони діаметром 6 м знаходяться в експлуатації на багатьох об'єктах, наприклад, системи оборотного водопостачання газоочисток мартенівського цеху комбінату "Запоріжсталь", електросталеплавильних це-

хів заводу "Дніпроспецсталь" та ін. Застосування відкритих гідроциклонів особливо доцільно на заводах зі стиснутою площадкою.

Багатоярусний гідроциклон з периферійним відбором проясненої води являє собою апарат, в якому застосована комбінована схема руху води та осаду у кожній робочій парі ярусів. Як показав досвід експлуатації подібних багатоярусних гідроциклонів на стічній воді станів гарячої прокатки, при гідравлічному навантаженні $2,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ відбувається уловлювання часток окалини з крупністю до 0,3 мм, залишковий вміст у проясненій воді завислих речовин складає у середньому 60 мг/л, а масел 25 мг/л при вихідній концентрації завислих речовин 100-200 мг/л і масел 10-50 мг/л.

Флокулятор – апарат, в якому суміщені конструктивні елементи відкритого гідроциклону та радіального відстійника. Діаметр флокулятора і висота 12 м. При очищенні стічних вод газоочисток питомі гідравлічні навантаження на апарат складають $7-8 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$, концентрація суспензії в очищеній воді - до 100 мг/л при вихідній 3-4 г/л; концентрація масел в очищеній воді не перевищує 40 мг/л при вихідній 100 мг/л.

На даний час зазначені апарати працюють у системі оборотного водопостачання газоочисток комплексу киснево-конверторного цеху заводу "Азовсталь" і систем водопостачання машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) цього ж заводу.

Відмінною особливістю флокулятора є відсутність високої конусної частини, днище виготовляють з невеликим ухилом до розташованого в центрі зумпфу. Передбачено тангенціальний підвід води, за рахунок чого в апараті створюється обертальний рух води, а також розосереджений збір і відведення очищеної води. Шлам видаляється за допомогою скребкової ферми з центральним приводом.

Флокулятор призначений для очистки стічних вод як із застосуванням реагентів для коагуляції і флокуляції, так і без них. У якості коагуляції, можуть бути використані наступні електроліти: хлорне й сірчаноокисле залізо,

сірчаноокислий алюміній та ін., в якості флокулянта – поліелектроліти: поліакриламід (ПАА), поліетиленімін та ін.

Встановлено, що в флокуляторі з плоскою діафрагмою і розосередженим випуском води вміст завислих речовин у проясненій воді 150 мг/л досягається при навантаженні до $15 \text{ м}^3/\text{м}^2 \times \text{ч}$. Найкращі результати прояснення (освітлення) води виходять при навантаженні $10\text{-}11 \text{ м}^3/\text{м}^2 \times \text{ч}$. Флокулятори такої конструкції встановлені і тривалий час знаходяться в експлуатації в системі оборотного водопостачання газоочистки киснево-конверторного цеху «Азовсталь».

На рис. 5.5-а наведено флокулятор з розподільною камерою. Підведення води до нього передбачено тангенційними патрубками в розподільну камеру, що утворюється між корпусом і перфорованою перегородкою. Вона є також і камерою флокуляції. В умовах повільного обертального руху, що має місце в камері флокуляції, при оптимальних параметрах відбувається укрупнення завислих речовин і зростає швидкість їх осадження.

Завислі частинки осідають на дно флокулятора і потім видаляються за допомогою скребкової ферми в приямок апарата, звідки осад видаляється шламовими насосами на подальшу обробку. У верхній частині флокулятора, аналогічно гідроциклонам, встановлено конічну діафрагму. Також передбачено циліндричний водозлив, збірний лоток і відвідний трубопровід.

Ярусний флокулятор (рис. 5.5, б) також обладнано перфорованою перегородкою, що створює камеру флокуляції. В ньому також передбачені проміжні діафрагми, які створюють додаткові яруси, що збільшує площу відстоювання. Проміжні діафрагми обладнані додатковими фермами для видалення з них осаду.

Модифікацією флокулятора з розподільною камерою є апарат з пристроєм для коректування швидкості (рис. 5.5, в), що розташований у корпусі на вході тангенційних патрубків.

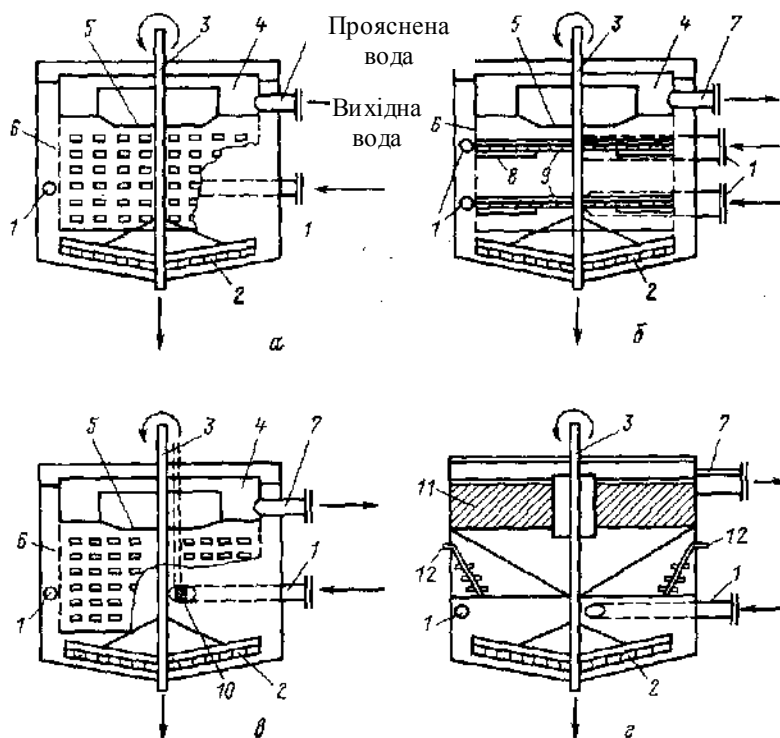


Рис. 5.5 – Принципові схеми флокуляторів:

а – флокулятор з розподільною камерою; б – ярусний флокулятор; в – флокулятор з пристроєм для корегування швидкості; г – тонкошаровий флокулятор; 1 – тангенціальний патрубков; 2 – ферма; 3 – вал; 4 – лоток; 5 – діафрагма; 6 – перфорована перегородка; 7 – відвідний патрубков; 8 – проміжні діафрагми; 9 – додаткові ферми; 10 – пристрій для корегування швидкості потоку; 11 – тонкошарові модулі; 12 – труби з соплами для змивання осаду

На базі вищезгаданих очисних апаратів розроблено також тонкошаровий флокулятор (рис. 5.5, г). У цьому апараті суміщено безперервне механізоване збирання шлам за допомогою обертаючої скребкової ферми з максимальним ступенем заповнення поперечного перерізу апарата пластинчатими тонкошаровими модулями.

Видозміною гідроциклону є гідроциклон-флокулятор із плоским дном. З цього апарату шлам видаляють механічним шляхом за допомогою скребка з приводним механізмом через шламовий отвір у днищі (рис. 5.6)

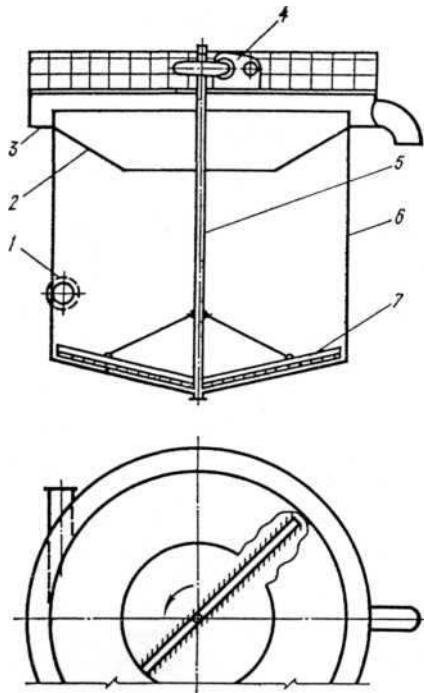


Рис. 5.6 – Гідроциклон-флокулятор:
 1 – тангенціальний патрубков; 2 – конічна діафрагма; 3 – лоток проясненої води; 4 – електропровід; 5 – робочий вал; 6 – корпус; 7 – ферма для згрібання осаду

Гідроциклони та флокулятори, що володіють завищеною продуктивністю в порівнянні зі звичайними відстійними спорудами, полегшують створення локальних систем оборотного водопостачання, оскільки завдяки невеликим габаритам можуть бути компактно розміщені поблизу цехів навіть в умовах діючих підприємств.

Апарати й споруди, розроблені на базі використання інтенсифікуючого впливу флокуляційного перемішування знайшли широке впровадження для очищення стічних вод практично на всіх об'єктах, що реконструюються й нових об'єктах підприємств чорної металургії України і Росії.

Споруди для очищення стічних вод, розроблені УкрДНТЦ «Енергосталь» (відкриті гідроциклони, радіальні відстійники з камерою флокуляції, флокулятори, тонкошарові флокулятори, горизонтальні відстійники – флотатори) можна використовувати як окремо, так і в системах водопостачання. Технічні характеристики вказаних споруд наведено в дод. 4.

Розрахунок очисних споруд полягає у визначенні розмірів і кількості споруд залежно від витрати води в оборотному циклі з урахуванням втрат води і кількості підживлюючої води.

5.7. Сучасні споруди для очистки промислових стічних вод

Для поліпшення роботи відстійників застосовують коагулянти і флокулянти, збільшують рівномірність подачі води, влаштовують усереднювачі. При використанні реагентів показник продуктивності збільшується в 3-4 ра-

зи. Проте слід зазначити і недоліки реагентного освітлення. Введення коагулянту в стічну воду, що очищають, призводить до зміни характеру осаду (він стає менш щільним) і до збільшення його кількості за обсягом. Відстійники, що експлуатуються, не призначені для роботи в таких умовах, потрібне їх устаткування новими системами видалення осаду.

З урахуванням викладеного вище НВФ «Еко –Проект» розробила нову конструкцію *відстійника-флокулятора* для очищення стічних вод від завислих речовин і нафтопродуктів. Апарат відрізняється високою питомою продуктивністю, що в 2,5-3,5 рази вище, ніж у звичайного вертикального відстійника.

Особливостями відстійника-флокулятора є:

- невеликі габаритні розміри унаслідок високих питомих гідравлічних навантажень - до $10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$, що наближається по цьому показнику до флотаційних апаратів, але при значно менших енерговитратах. Так, апарат з технологічним діаметром 10 м являє собою звичайний радіальний відстійник діаметром 30м, що дозволяє знизити вартість відстійних споруд порівняно з аналогами в 2-2,5 рази навіть при розміщенні відстійника-флокулятора в будівлі. Останнє принципово покращує умови експлуатації і ремонту, а також надійність роботи;
- можливість застосування як в реагентних, так і в безреагентних схемах очищення води;
- проведення процесів коагуляції, флокуляції та осадження домішок води в гідродинамічних режимах, близьких до оптимальних, що забезпечує високу ефективність очищення води;
- висока стійкість процесу очищення при змінах витрати, концентрації домішок і температурі води;
- можливість оперативного ручного, а при необхідності - автоматизованого корегування гідродинамічного режиму роботи апарату при зміні умов очищення води;
- процеси постійного або періодичного відкачування осаду і видалення

спливаючих нафтопродуктів механізовані і здійснюються в автоматичному режимі;

- апарати виготовляють з металу і поставляють транспортними вузлами, що дозволяє змонтувати їх на майданчику і запустити в роботу за 2-3 місяці.

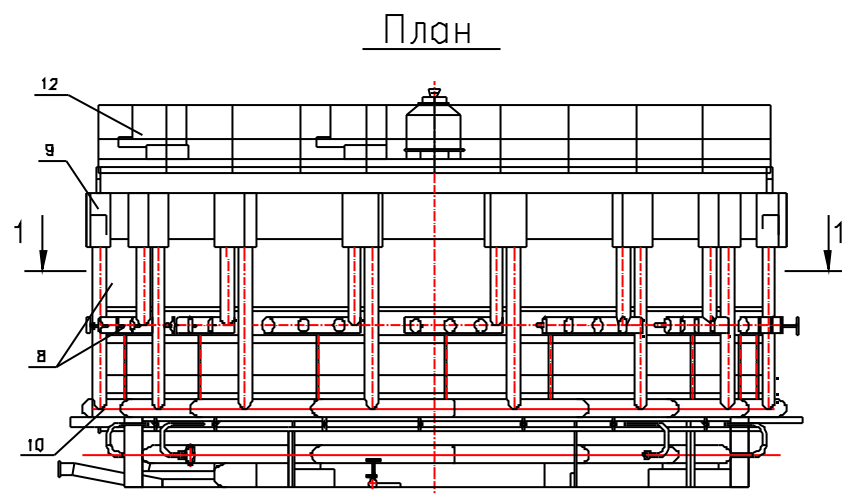
Відстійник-флокулятор має зони флокуляції (утворення пластівців), відстоювання і накопичення осаду. Зона флокуляції є камерою, в якій за рахунок енергії струменя води, що подається через сопла, здійснюється регульоване перемішування, сприяюче укрупненню частинок завислих речовин. Зона відстоювання складається з однієї камери, заповненої тонкошаровими елементами (для уловлювання осідаючих або спливаючих речовин), або з двох камер (для виділення одночасно присутніх осідаючих і спливаючих речовин). Зона накопичення осаду розташована в нижній частині корпусу і передбачає первинне гравітаційне згущування осаду.

Відстійник-флокулятор обладнаний скребковим механізмом для згрібання і видалення осаду і пристроєм для видалення спливаючих речовин.

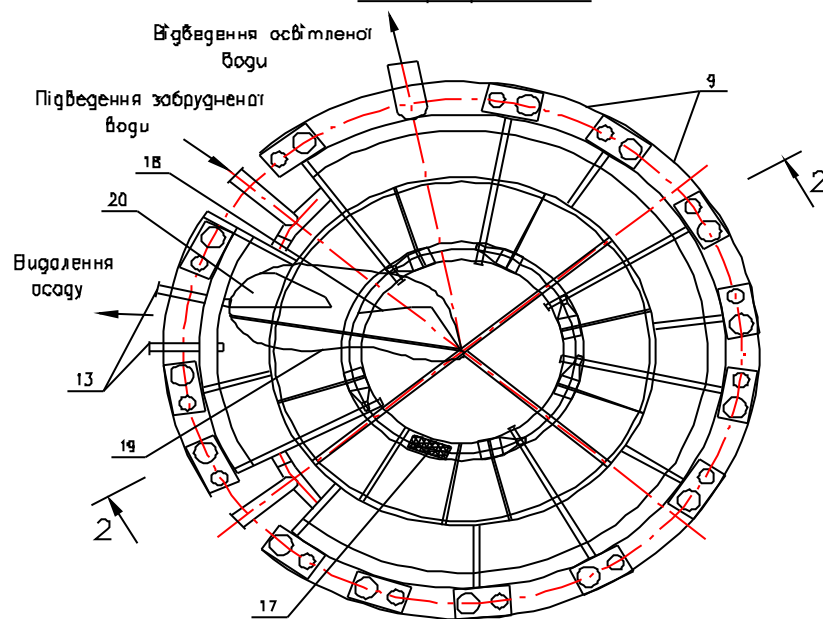
Видалення зі стічної води суспензії і нафтопродуктів складає 80-85%.

Основними технологічними параметрами відстійників-флокуляторів, що визначають їх ефективність і розміри, є: продуктивність; гідравлічна крупність осідаючих і спливаючих домішок; тривалість флокуляції утворення пластівців); середній градієнт перемішування при флокуляції (утворенні пластівців).

В усіх апаратах передбачено можливість регулювання середнього градієнта швидкості перемішування при флокуляції в межах $20-70 \text{ с}^{-1}$ за рахунок зміни числа сопел, що подають воду.



Переріз 1-1



Переріз 2-2

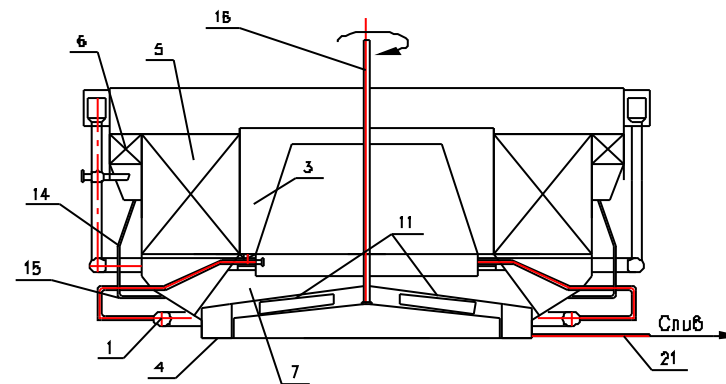


Рис. 5.7 – Відстійник-флокулятор

1 – підвідний колектор; 2 – сопла; 3 – камера флокуляції; 4 – кільцевий лоток; 5 – протиточний сепаратор; 6 – прямоточний сепаратор; 7 – осадова частина; 8 – патрубки відвідного колектору; 9 – приймальний карман проясненої води; 10 – відвідний колектор; 11 – скребковий механізм; 12 – масло збірний пристрій; 13 – патрубки видалення осаду; 14 – трубопроводи видалення осаду; 15 – колектор збору осаду; 16 – вал скребкового механізму; 17 – перепускний клапан; 18 – нерухомий екран; 19 – скребок; 20 – піддон; 21 – зливний пат-

Відстійники-флокулятори можуть бути додатково обладнані системою контролю й управління, що забезпечує стабільність технологічного режиму роботи, вимірювання і сигналізацію основних режимних параметрів, автоматичне блокування при виникненні аварійних ситуацій.

На даний час на підприємствах Росії і країнах СНД працюють 49 відстійників-флокуляторів. Невелика енергоємність, компактність, простота експлуатації, повна автоматизація процесу очищення води в схемах з використанням відстійників-флокуляторів забезпечують високі техніко-економічні показники в порівнянні з фільтруванням, флотацією та іншими процесами водопідготовки.

Для глибокого очищення води перед відстійниками-флокуляторами вводять реагенти. При дозуванні катіонного флокулянта Praestol перед відстійниками-флокуляторами системи оборотного водопостачання виробництва гарячого плющення вміст суспензії нафтопродуктів у очищеній воді складає відповідно 20 і 5 мг/л, а при обробці двома реагентами Екозоль-401 і Praestol залишкова концентрація суспензії і нафтопродуктів знижується до 10 і 5 мг/л. При подальшому фільтруванні освітленої води через механічні фільтри з піщаним завантаженням концентрація даних компонентів може бути понижена до величин менше 1,0 і 0,1 мг/л.

Приведені приклади показують можливість створення компактних очисних споруд на базі відстійників-флокуляторів для систем оборотного водопостачання, що забезпечують практично будь-яку якість води, що подають споживачам.

5.8. Фільтрування води

При підвищених вимогах технології до якості води та наявності в стічних водах великої кількості дрібнодисперсних часток відстоювання може виявитися недостатнім для очистки оборотної води, особливо, якщо його здійснюють без застосування коагулянтів. У таких випадках виникає необхідність у додатковій стадії очистки всієї або частини оборотної води.

Фільтрування води полягає у пропусканні її через шар зернистого чи пористого матеріалу, що володіє здатністю затримувати на своїй поверхні під дією сил приставання або у свої товщі частки забруднень, що містяться у воді.

Існує велике різноманіття фільтрів, що розрізняються: видом фільтруючого матеріалу, швидкістю фільтрування, механізмом затримання завислих речовин і конструктивним оформленням.

За величиною швидкості фільтрування фільтри, що застосовують для прояснення стічної і оборотної води є швидкі, що працюють зі швидкістю 6-10 м/год, і надшвидкі, що працюють зі швидкістю від 20 до 80 м/год.

Найбільш широко застосовують такі фільтруючі матеріали, як кварцовий пісок, подрібнений антрацит, мармур, керамічна крихта, доломіт, магнетит та ін. Останніми роками широкого поширення отримали керамзит, пористі матеріали (полістирол, поліуретан). Окрім зернистих матеріалів фільтрувати воду можна через різні металеві сітки, перегородки.

Фракційний склад зерен фільтруючого завантаження визначає продуктивність фільтрів. Використання дуже крупного фільтруючого матеріалу призводить до збільшення пропускної здатності фільтра та зниження якості фільтрату.

За крупністю фільтруючого матеріалу розрізняють дрібнозернисті (розміром часток верхнього шару завантаження 0,4 мм), середньозернисті (0,4-0,8 мм) і крупнозернисті (більше 0,8 мм) завантаження.

За числом фільтруючих шарів застосовують одношарові, багатошарові та каркасно-засипні фільтри (рис. 5.8), які є різновидом багатошарових фільтрів з завантаженням у вигляді каркасу з гравію або щебеню і засипки дрібнозернистого матеріалу у поруватому просторі каркасу, приблизно, на половину його висоти. Завантаження багатошарових фільтрів складається з комбінації декількох (від 2 до 4) шарів різних фільтруючих матеріалів, укладених зі зменшенням щільності та розміру зерен знизу вгору.

При погіршенні якості фільтрату або значному збільшенні гідравлічного опору фільтра здійснюють промивку фільтруючого завантаження.

Режим фільтрування, в якому працюють всі фільтри, називають *нормальним*. Під час ремонту одного чи кількох фільтрів навантаження на фільтри, що працюють, зростає, збільшується і швидкість фільтрування. Цю швидкість називають *форсованою*.

Одним з найбільш важливих елементів будь-якого фільтра є нижня розподільна система, яка повинна в першу чергу рівномірно розподіляти промивну воду по площі фільтра. В практиці водоочистки використовуються в основному системи великого опору, наприклад трубчаста система.

Відмовитися від підтримуючих шарів дозволяють трубчасті системи із щілинами, ковпачкові дренажі та дренажі з полімербетону.

Регенерація зернистого фільтруючого завантаження здійснюється найчастіше зворотним струмом води певною інтенсивністю. Синтетичні матеріали, що використовують для очистки стічних вод від нафтопродуктів, регенерують звичайно шляхом їх віджимання. Регенерацію загрузки більшості конструкцій швидких фільтрів здійснюють періодично.

У практиці промислового водопостачання знайшли застосування фільтри безнапірні (одно- та багат шарові з відбором води з товщі завантаження) і напірні.

Нижче розглянуто конструктивні й технологічні особливості і основні розрахункові залежності для найбільш роз поширених швидких фільтрів.

Швидкі безнапірні фільтри. Застосовують одношарові, багат шарові й каркасно-засипні фільтри (рис. 5.8), які є різновидом багат шарових фільтрів з завантаженням у вигляді каркасу з гравію або щебеню та засипки дрібнозернистого матеріалу у поруватому просторі каркаса, приблизно, на половину його висоти.

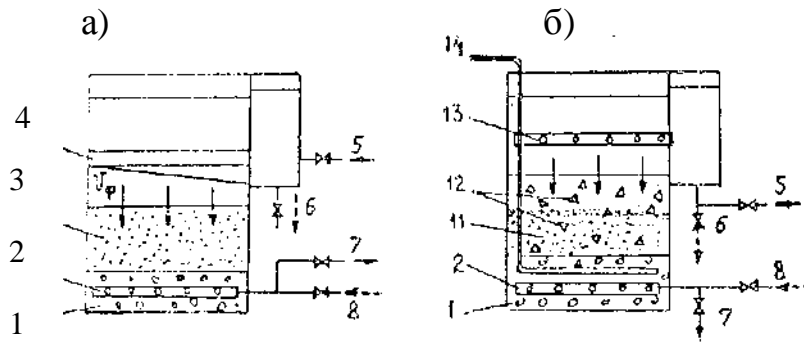


Рис. 5.8 – Схема одношарового швидкого фільтра (а) і каркасно-засипного (б)

1 – підтримуючий ґравійний шар; 2 – розподільна система високого опору; 3 – фільтруюче завантаження; 4 – жолоб для збору промивної води; 5 – трубопровід для подачі вихідної води; 6 – трубопровід для відведення промивної води; 7 – трубопровід для відведення фільтрату; 8 – трубопровід для підведення промивної води; 9 – піщане завантаження; 10 – ґравійний каркас; 11 – трубчата система для подачі вихідної води та відведення промивної води; 12 – трубопровід для подачі повітря при промивці

Напірні фільтри являють собою закриті резервуари циліндричної форми, що можуть витримувати значний тиск (рис.5.9). Основні елементи напірних фільтрів такі самі, як в безнапірних фільтрах – фільтрувальне завантаження і підтримуючі шари, дренажна система, призначена для відведення проясненої води і подачі промивної води, розподільним пристроєм для стислого повітря та т.п. Фільтри розраховують на тиск 0,4 – 0,6 МПа.

Напірні фільтри виготовляють з металу або високоміцних полімерних склопластикових матеріалів. Вони забезпечують надходження фільтрату після очистки без підкачки в напірні розвідні системи з тиском на виході в межах від 0,05 до 6-8 МПа. Оскільки їх виготовляють у заводських умовах, то через напірні характеристики, умови транспортування й монтажу вони мають обмежену площу фільтрування. Їх виготовляють діаметром від 0,3-0,5 до 3,4 м.

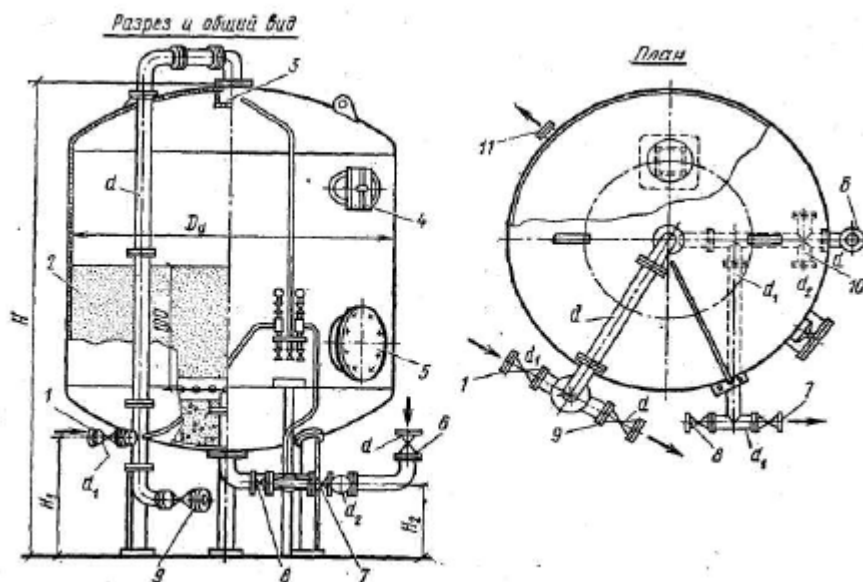


Рис. 5.9 – Напірний вертикальний фільтр із зернистим завантаженням

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

Застосовують вертикальні й горизонтальні напірні фільтри. Висота шару фільтруючого матеріалу становить звичайно 1000 – 1200 мм. Вода на очищення подається під напором у верхню частину камери фільтра. Потім у спадному потоці вода проходить фільтруючий шар, освітлюється і через трубчастий дренаж видаляється під залишковим напором за межі фільтра. В міру забруднення фільтруючого шару, при збільшенні його опору до 0,15 МПа фільтр виводиться на промивання, що полягає в подачі води і стиснутого повітря зворотним струмом - знизу нагору. Подача повітря потрібна для розпушення зерен фільтруючого матеріалу і кращого відмивання їх від забруднень.

Розроблені в останні роки напірні фільтри з двома та трьома камерами, що практично представляють два або три фільтри, розташовані один над одним, дозволяють підвищити в 2 - 3 рази продуктивність води без збільшення діаметра фільтра.

Напірні швидкі фільтри застосовують для прояснення порівняно невеликої кількості стічних вод, забруднених завислими речовинами, смолами й ін.

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

Брудоемкість (кількість забруднень, кг, що видаляються з 1м² поверхні завантаження фільтра) зернистих фільтрів приймають за затримкою нафтопродуктів 1-2 кг/м³ і механічних домішок – 1,5-3 кг/м³. Ефективність фільтрування підвищується при додаванні у воду 5-10 мг/л коагулянту Al₂(SO₄)₃ і 0,2-0,3 мг/л флокулянта ПАА.

Фільтри промивають через дренажну систему знизу нагору. При крупності часток піску 0, 7-0,8 мм інтенсивність промивання приймають 10-12 л/(с · м²), а при крупності 1-1,2 мм – 14-16 л/(с · м²). Тривалість промивання становить 10-20 хвил.

Розрахунок фільтрів і їх комунікацій здійснюють на нормальний та форсований режими роботи.

При форсованому режимі швидкість фільтрування приймають на 20-25% більше, ніж при нормальному режимі $V_{ф.р.} = (1,2-1,25) V_{н.р.}$.

Сумарна площа фільтрів

$$F = \frac{Q}{T_{\phi} \cdot V_{\phi}^{\prime\prime} - n_{пр} \cdot q_{шт} - n_{пр} \cdot \tau \cdot V_{\phi}^{\prime\prime}}, \text{ м}^3 \quad (5.5)$$

де Q – кількість води, що очищається, м³/доб.

T_ф – тривалість роботи станції протягом доби, год.

V_ф^{''} – швидкість фільтрування при нормальному режимі, м/год.

n_{пр} – кількість промивок фільтра за добу, n_{пр}=2-3

τ - час простою фільтра у зв'язку з промивкою, $\tau=0,33$ год (для фільтрів, які промиваються тільки водою), $\tau=0,5$ год. (при промивці водою та повітрям);

$q_{\text{пит}}$ – питомі витрати води на промивку, $\text{м}^3/\text{м}^2$;

$$q_{\text{пит}} = 3,6 \cdot \omega \cdot t \quad (5.6)$$

ω - інтенсивність промивки, $\text{л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$;

t – тривалість промивки фільтра, год.

Кількість фільтрів

$$N_{\phi} = 0,5\sqrt{F}. \quad (5.7)$$

Кількість фільтрів повинно бути не менше чотирьох.

При форсованому режимі під час ремонту одного чи декількох фільтрів швидкість фільтрування становить

$$V_{\phi}^{\phi} = \frac{V_{\phi}^{\text{н}} \cdot N_{\phi}}{N_{\phi} - N}, \text{ м/год}, \quad (5.8)$$

де N – кількість фільтрів, що знаходяться в ремонті, прий мають залежно від загального числа фільтрів: $N = 3$ при N_{ϕ} більше 20, $N = 2$ при N_{ϕ} менше 20, $N = 1$ при N_{ϕ} менше 10.

Площа одного фільтра

$$F_1 = \frac{F}{N_{\phi}} \leq 120 \text{ м}^2. \quad (5.9)$$

Висота шару води над поверхнею завантаження фільтра повинна бути не менше 2 м. Висота борта фільтра – не менш ніж 0,5 м. При устрої розподільних систем великого опору у вигляді трубчатого дренажу з відгалуженнями при наявності підтримуючих шарів діаметр отворів в них приймають 10-12 мм, а за відсутністю – передбачають щілини шириною на 0,1 мм менше мінімального розміру зерен фільтруючого завантаження.

Таблиця 5.1 – Технологічні параметри швидких фільтрів

| Тип фільтра | Матеріал завантаження | Діаметр зерен мм | | | Коефіцієнт неоднорідності завантаження | Висота фільтруючого шару | Швидкість фільтрування при нормальному режимі $V_{н.р.}$, м/год | |
|-------------|--|---------------------|------------|-----------|---|--------------------------|--|-----------------------|
| | | $d_{мін}$ | $d_{макс}$ | $d_{екв}$ | | | завантаження пісок | завантаження керамзит |
| Одношаровий | Кварцовий пісок і подрібнений керамзит | 0,5 | 1,2 | 0,7-0,8 | 1,8-2,0 | 0,7-0,8 | 5-6 | 6-7 |
| | | 0,7 | 1,6 | 0,8-1,0 | 1,6-1,8 | 1,3-1,5 | 6-8 | 7-9,5 |
| | | 0,8 | 2,0 | 1,0-1,2 | 1,5-1,7 | 1,8-2,0 | 8-10 | 9,5-12 |
| Двошаровий | Кварцовий пісок | 0,5 | 1,2 | 0,7-0,8 | 1,8-2,0 | 0,7-0,8 | 7-10 | |
| | Подрібнений керамзит або антрацит | 0,8 | 1,8 | 0,9-1,1 | 1,6-1,8 | 0,4-0,5 | | |

Підтримуючі шари відсипають з гравію або гранітного щебеню крупністю 5-2 мм (висота 50-100 мм), 10-5, 40-20 мм (висотою 100-150 мм).

Розподільна система фільтрів може бути також виконана без підтримуючих шарів у вигляді каналів, перекритих полімербетонними плитами.

Параметри промивки фільтрів залежать від типу завантаження (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Параметри промивки швидких фільтрів

| Тип фільтра | Еквівалентний діаметр зерен завантаження, мм | Інтенсивність промивки, $q_{пр}, \text{л/с}\cdot\text{м}^2$ | Тривалість промивки, $t_{пр}, \text{хвил.}$ | Величина відносного розподілення завантаження $\varepsilon, \%$ |
|-------------|--|---|---|---|
| Одношаровий | 0,7-0,8 | 12-14 | 5-6 | 45 |
| | 0,8-1,0 | 14-16 | | 30 |
| Двошаровий | 0,7-0,8 | 14-16 | 7-6 | 50 |
| | 0,9-1,1 | | | |

Фільтри з багатошаровим завантаженням. Збільшення брудоемкості фільтрів без зниження ефективності прояснення води досягається застосуванням фільтрів з багатошаровим завантаженням, що складається з матеріалів різної щільності. Наявність у багатошаровому фільтрі верхніх грубозернистих шарів спричиняє більшу глибину проникнення забруднень, а наявність нижнього дрібнозернистого піщаного шару - досить високу ефективність прояснення води. Крім того, різні за природою фільтруючі матеріали збільшують імовірність адгезійної взаємодії часток із зернами завантаження.

Найбільше поширення одержали двошарові фільтри. Як матеріал верхніх фільтруючих шарів використовують антрацит ($d_3 = 0,8 - 1,1$ мм), керамзит, полістирол, для нижніх шарів – пісок ($d_3 = 0,4 - 0,5$ мм), граніт, магнетит і ін.

Швидкість фільтрування води становить 8-10 м/год. і більше (до 25 м/год.). Брудоемкість багатошарових фільтрів вище у 2-4 рази, а тривалість фільтроциклу - в 2 - 3 рази, ніж одношарових фільтрів.

Застосування фільтрів з тришаровим завантаженням (антрацит - пісок - граніт або полістирол - антрацит - пісок) дозволяє різко збільшити їх продуктивність.

Витрата промивних вод при промиванні швидких і багатошарових фільтрів становить 3 – 5% від обсягу фільтрату. З метою зниження витрати промивної води і поліпшення якості відмивання зерен завантаження поряд із промиванням проводиться продувка завантаження стисненим повітрям. Повітря від компресора подається за допомогою спеціальної розподільної системи по фільтруючому завантаженню. Залежно від розміру зерен завантаження інтенсивність продувки приймають у межах 15 – 20 л/(м²·с), при цьому інтенсивність промивання фільтра водою знижується до 10 – 12 л/(м²·с).

У системах оборотного водопостачання для великих витрат застосовують надшвидкісні фільтри, які завантажуються кварцовим піском з крупністю зерен 1,8-2 мм. Висота завантаження – 0,6 м. Діаметр корпусу фільтра – 2 м., корисна площа однієї камери – 0,36 м². Камери промиваються поперемінно, автоматично за заданим режимом пристроєм, який обертається і що змонтований на кришці фільтра. Швидкість фільтрування за проектом – біля 50 м/год. Фільтр призначено для очистки стічних вод прокатного виробництва, що містять окалину і масла. Продуктивність його відносно невелика – 150 м³/год.

Представляють інтерес також розробки закордонних фахівців. При необхідності глибокої очистки стічних вод до остаточного вмісту завислих речовин 5-10 мг/л і масел 1-5 мг/л застосовують швидкі (швидкість фільтрування 30 – 45 м/год) та надшвидкісні (швидкість фільтрування – 70 м/год) напірні одношарові піщані або гравійні фільтри. Подібні фільтри відрізняються підвищеною висотою завантаження (2-3 м), ретельно підібраним гранулометричним складом зерен завантаження та підтримуючих шарів, раціональним дренажним пристроєм та ін.

Фільтри з плаваючим завантаженням. У нашій країні застосовують фільтри з пінополістирольним завантаженням. Гранули спіненого пінополістиролу утворюють плаваюче завантаження. Фільтри застосовують для очистки стічних вод машинобудівельних підприємств від нафтопродуктів, масел, що знаходяться у вигляді нестійких емульсій; для глибокої очистки стічних

вод прокатного виробництва від дрібної окалини та масел. Процес фільтрування на фільтрах з плаваючим завантаженням здійснюється знизу вверху, а промивка – зверху вниз, що сприяє найбільш повному відмиванню завантаження. Висота фільтруючого завантаження – 2 м, розмір гранул спіненого полістиролу 2-5 мм. Вода, що підлягає фільтруванню не повинна містити більше 150 мг/л завислих речовин і 20-30 мг/л масел. Остаточна концентрація завислих речовин у фільтраті – 30 мг/л, масло уловлюється тільки на 30%. Швидкість фільтрування – 8–9 м/год, тривалість фільтроциклу 8-9 год. Брудомісткість завантаження в кінці фільтроциклу – 30-40 кг/м³, інтенсивність промивки – 30-35 л/(с·м²).

Розрахунок фільтрів з плаваючим завантаженням здійснюють аналогічно розрахунку швидких фільтрів, але мають деякі особливості, пов'язані зі специфікою фільтруючих матеріалів, що застосовуються і конструктивними особливостями різних типів фільтрів. Основним розрахунковим параметром є швидкість фільтрування при нормальному й форсованому режимах, тривалість фільтрування і час промивки.

У технології очистки виробничих стічних вод знаходять також застосування сітчасті фільтри. Значний інтерес представляє напірний сітчастий фільтр з автоматичним промивним пристроєм ВСФ-2000 (рис. 5.9). Діаметр корпусу фільтра – 2 м, повна будівельна висота – 5,2 м. Фільтруючим елементом є сітка з проволочи діаметром 0,25-0,12 мм. Сітки відрізняються за розміром, матеріалом і способом плетіння.

Сітчастий фільтр працює таким чином: вода, що очищається, подається у дві камери, розташовані зверху і знизу, а відводиться через патрубок, розташований у середній частині корпусу. Камери розділені між собою перегородками, які складаються з 3-х шарів – фільтруючої металевої сітки, з двох боків затиснутої дірчастими плитами. Вода фільтрується через цю металеву сітку. Тиск у верхній і нижній камерах складає близько 5 атм., а в центральній камері – близько 4 атм. Забруднення, що утворилися на поверхні сіток видаляються за допомогою пристрою, що обертається, порожнина якого спо-

лучається з атмосферою через патрубок (6) і центральну трубу. Пристрій, що обертається, за допомогою притискного механізму щільно прилягає до дірчастих плит (9).

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

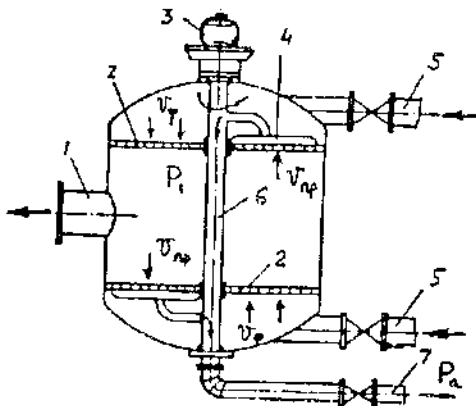


Рис.5.9 – Вискошвидкісний сітчастий фільтр ВСФ-2000

1 – відведення очищеної води; 2 – фільтруючі елементи; 3 – електродвигун для переміщення коробів, що обертаються; 5 – короб, що обертається; 6 – полий вал; 7 – відведення промивної води

Продуктивність фільтра – $2000 \text{ м}^3/\text{год}$. Фільтр затримує завислі речовини крупністю $0,01 \text{ мм}$ і більше при швидкості фільтрування $60\text{-}70 \text{ м}/\text{год}$. Втрати напору при безперервній промивці сіток складають $0,3\text{-}0,5 \text{ кгс}/\text{см}^2$. Ефект очистки залежить від вихідної концентрації і дисперсного складу забруднюючих речовин, розмірів ячіюк фільтруючої сітки та швидкості фільтрування.

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

Окрім звичайних сітчастих фільтрів, існують ще фільтри з наливним шаром, що відрізняються тим, що на перегородку (сітку або ґрати) наноситься наливний шар фільтруючого матеріалу, через який і відбувається фільтру-

вання води. Намивний шар дозволяє істотно збільшити ефективність очищення від механічних домішок (твердих завислих речовин, масел, нафтопродуктів). Найчастіше як матеріал намивного шару використовують перліт.

Також знайшли широке застосування швидкі фільтри з двошаровим антрацито-кварцовим завантаженням діаметром 3,4 м, розроблені УкрДНТЦ «Енергосталь». Швидкість фільтрування 30 – 50 м/год, при цьому фільтри забезпечують зниження концентрації завислих речовин у воді зі 100 – 150 мг/л до 10 – 20 мг/л, масел зі 100 мг/л до 20 – 40 мг/л, тривалість фільтроциклу 24 години, промивка водоповітряною сумішшю – 30 хвил.

Відмінними особливостями даних фільтрів, у порівнянні з відомими, є:

1. Велика товщина шарів завантаження (антрацит – 1,1 м, кварцовий пісок – 1,1 м) і велика крупність зерен (кварцовий пісок – 1,5 - 2,4 мм, антрацит – 3 - 6 мм). Це дає можливість збільшити швидкість фільтрування до 30 - 50 м/год. При цьому якість одержаної води дозволяє використовувати її у технічних цілях;
2. Висока брудоемність;
3. Збільшення тривалості фільтроциклу в 2 - 3 рази.

У конструкції фільтра використано оригінальні технічні рішення, зокрема, вдосконалений ковпачковий дренаж з нержавіючої сталі.

Склад фільтруючого завантаження, продуктивність, режим регенерації залежать від складу стічних вод.

Фільтрувальна станція з використанням фільтрів конструкції УкрДНТЦ «Енергосталь» займає відносно невелику площу, відрізняється надійністю і зручністю в експлуатації, може працювати в автоматичному режимі. свіжої технічної води.

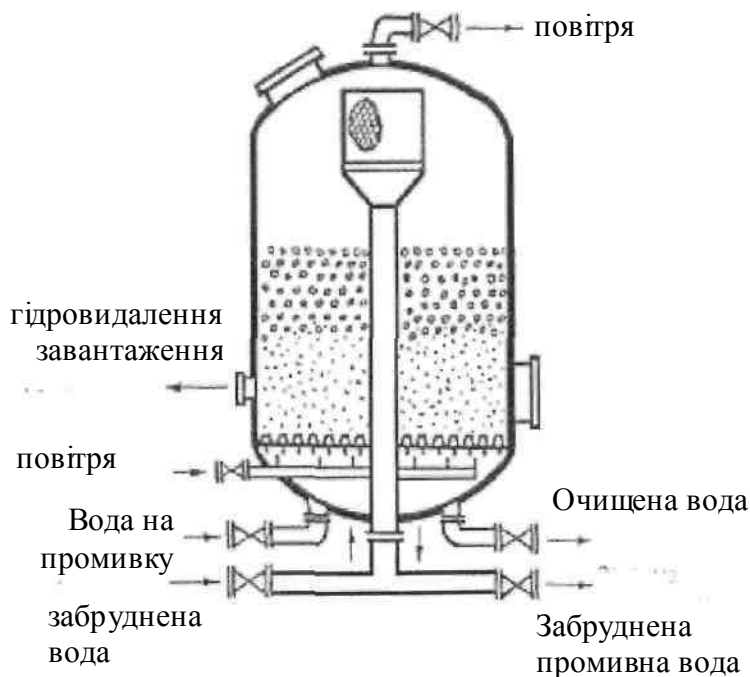


Рис.5.10 – Напірний антрацито-кварцевий фільтр

Напірні антрацито-кварцові фільтри, розроблені УкрДНТЦ «Енерго-сталь», встановлені в оборотних циклах прокатних станів і МНЛЗ на ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча», ВАТ «МК «Запорозж-сталь», ВАТ «Северсталь», ВАТ «Новоліпецький металургійний комбінат», ВАТ «Магнітогорський металургійний комбінат», ВАТ «Уральська сталь», ВАТ «Західно-сибірський металургійний комбінат» і в закордонних країнах.

Проектування фільтрів зводиться до визначення необхідної фільтруючої площі, числа та розмірів фільтрів, вибору фільтруючого матеріалу, визначення інтенсивності промивки й розмірів дренажу і промивних жолобів, трубопроводів, призначених для підведення та відведення води, лотків та ін.

Поряд з розвитком і удосконалюванням методів відстоювання і фільтрування рядом науково-дослідних організацій як у нашій країні, так і за кордоном розробляються інші фізичні і фізико-хімічні методи очищення і доочищення стічних вод, що містять тверді домішки, олії і нафтопродукти. До них належать: магнітна обробка, використання ультразвуку, електромеханіч-

ні методи (електрокоагуляція, електрофлотація), а також флотаційні. З перерахованих вище методів у чорній металургії найбільш поширене використання одержав метод напірної флотації.

У результаті досліджень метод напірної флотації був застосований для доочищення стічних вод МБЛЗ у комплексі киснево-конверторного цеху заводу "Азовсталь".

Однак метод флотаційного очищення застосовують лише для порівняно невеликих витрат води (до 1000 м³/год), а досвід флотації досить великих витрат стічних вод з малоконцентрованими забрудненнями відсутній.

Підводячи підсумки викладеному вище, слід зазначити, що на даний час відома безліч різноманітних методів і конструкцій, апаратів і споруд для освітлення стічних вод від механічних домішок і масел. На сучасному етапі можна виділити наступні основні напрями, що характеризують розвиток техніки очищення стічних вод:

1. Відділення процесу коагуляції від процесу відстоювання з влаштуванням у відстійниках камер флокуляції різноманітних конструкцій.
2. Вдосконалення конструкцій камер флокуляції, що полягає зокрема, в улаштуванні тангенціального підведення води на очистку.
3. Улаштування розосередженого відбору проясненої у відстійниках води.
4. Створення багатоярусних відстійників і відстоювання в тонкому шарі.
5. Інтенсифікація очищення стічних вод за допомогою різних коагулянтів, флокулянтів і їх поєднань.
6. Тонке очищення стічних вод від механічних домішок на фільтрах різних конструкцій.

При перекладі систем оборотного водопостачання на замкнений режим роботи найбільш перспективним методом очищення, а в ряді випадків і доочищення стічних вод є відстоювання в апаратах і спорудах, пристосованих для ведення коагуляції і флокуляції, спливання і видалення масел. Цей метод дозволяє надійно очищати значні кількості стічних вод, що досягають 10-30

тис. м³/год. Для доочищення води доцільне використання фільтрів різних конструкцій.

На даний час в галузі чорної металургії практично вирішені питання очищення стічних вод усіх металургійних переділів від механічних домішок і певною мірою від плаваючих масел на основі використання таких споруд, як радіальні відстійники діаметром 30 м з камерою флокуляції, відкриті гідроциклони, флокулятори, напірні фільтри з антрацито-кварцовим, пінополістирольним завантаженням та ін.

5.9. Хімічні й фізико-хімічні методи очистки промислових стічних вод

Хімічні й фізико-хімічні способи застосовують для очистки стічних вод від колоїдних і розчинених речовин. До основних хімічних способів очистки відносяться окислювання забруднюючих воду речовин, нейтралізація із введенням у стічні води речовин з кислою або лужною реакцією для забезпечення в них рН у межах 6, 5-8,5.

Хімічна очистка може здійснюватися як самостійний метод перед подачею виробничих стічних вод у систему оборотного водопостачання, а також перед спуском їх у водойму або міську каналізаційну мережу. Більшу небезпеку представляють кислі стоки, які до того ж зустрічаються значно частіше, ніж лужні. Найбільше часто стічні води забруднені кислотами - сірчаною, азотною, соляною, а також їхніми сумішами. У більшості кислих стоків містять солі важких металів, які необхідно видаляти.

З метою попередження корозії матеріалів очисних споруд, порушення біохімічних процесів у біологічних окислювачах у водоймах, а також з метою осадження зі стічних вод солей важких металів кислі й лужні стоки необхідно піддавати нейтралізації.

При хімічному очищенні застосовують наступні способи *нейтралізації*:

- взаємна нейтралізація кислих і лужних стічних вод;

- нейтралізація реагентами (розчини кислот, негашене вапно, гашене вапно $\text{Ca}(\text{OH})_2$, кальцинована сода, аміак);
- фільтрування через нейтралізуючі матеріали (вапно, вапняк CaCO_3 , доломіт $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, магнезит MgO).

Вибір способу нейтралізації залежить від багатьох факторів: виду й концентрації кислот, що забруднюють виробничі стічні води, витрат і режиму надходження відпрацьованих вод на нейтралізацію, наявності реагентів, місцевих умов і т.п.

У процесі нейтралізації сірчаноокислих стічних вод вапняним молоком утворюється осад гіпсу, який має вологість 98 – 99%.

Установки для нейтралізації стічних вод (рис. 5.11) включають реагентне господарство, усереднювачі, змішувачі, контактні резервуари, відстійники для виділення шламу.

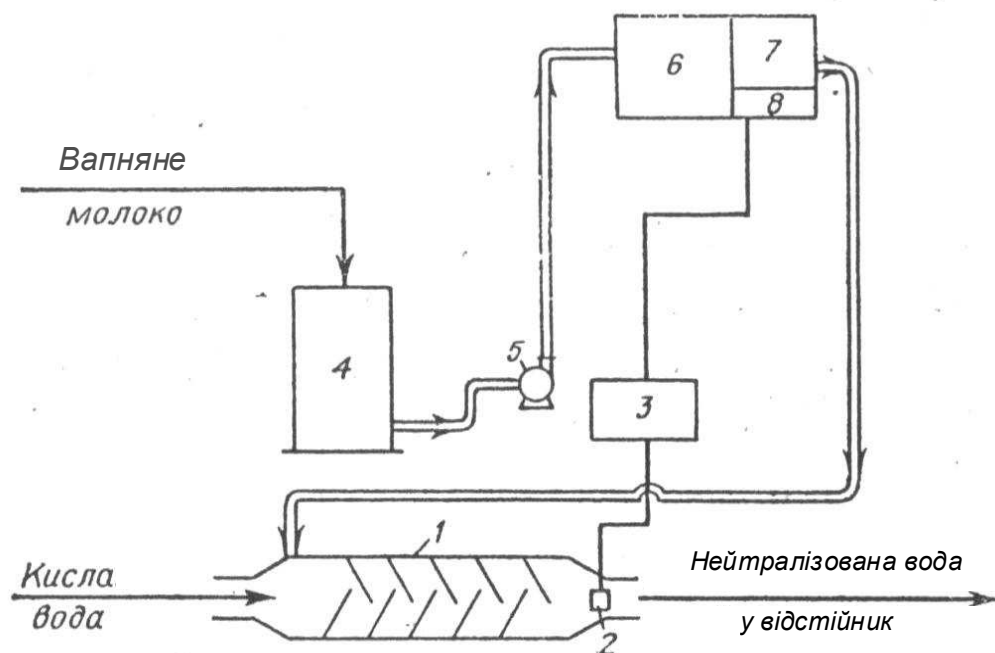


Рис. 5.11 – Схема установки нейтралізації стічних вод:

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

Кисла вода з усереднювача потрапляє до змішувача 1, який є одночасно і контактним резервуаром. Заглибний датчик 2, встановлений на виході зі змішувача, а також прилад системи автоматичного регулювання 3 дозволя-

ють здійснювати автоматичне регулювання рН вод на виході зі змішувача. Вапняне молоко зі збірника 4 насосом 5 подається у прийомну частину 6 дозатора 7.

Час перебування води в камері нейтралізації при використанні вапняного молока складає 5-30 хвилин в залежності від наявності у воді солей важких металів та інших домішок.

Виробничі стічні води в більшості випадків являють собою слабо концентровані емульсії або суспензії, що містять колоїдні частки розміром 0,001-0,1 мкм, дрібнодисперсні частки розміром 0,1 -10 мкм, а також частки розміром більше 0,1 мкм.

У процесі механічної очистки зі стічних вод легко видаляються частки розміром більше 10 мкм, дрібнодисперсні й колоїдні частки практично не видаляються. Стічні води багатьох виробництв після споруд механічної очистки являють собою агрегативно стійку систему. Для їх очистки застосовують методи коагуляції, при цьому агрегативна стійкість порушується, утворюються більші агрегати часток, які видаляють зі стічних вод механічними методами.

Флотація відноситься до фізико-хімічних методів очистки стічних вод і застосовується в багатьох виробництвах нафтопереробної, гірської, металургійної промисловості, машинобудівної, хімічної, харчової, целюлозно-паперової, шкіряної, м'ясо-молочної промисловості тощо.

Ефект флотації полягає в тому, що дисперговані в тонкій суспензії пухирці повітря прилипають до часток суспензії й спливають разом з ними на поверхню рідини, утворюючи над нею піну (флотаційний шлам). У процесі флотації в пінний шар переходять емульсії нафтопродуктів, жирів, а також розчинені в стічних водах різні поверхнево-активні речовини.

Перевагами флотації є безперервність процесу, широкий діапазон застосування, невеликі капітальні вкладення і експлуатаційні витрати, проста апаратура, селективність виділення домішок, у порівнянні з відстоюванням більша швидкість процесу, а також можливість одержання шламу (пінного

продукту), більше низької вологості, високий ступінь очистки (95-98%), можливість рекуперації речовин, що видаляються. Концентрація нафтопродуктів у стоках після очистки флотацією нижче в порівнянні з очисткою у нафтоуловлювачах.

Види флотації:

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

Серед типів флотаторів найбільше поширення отримав флотатор, побудований на принципі диспергування повітря турбіною насосного типу (імпелером). Такі установки застосовують для видалення зі стічних вод емульгованих нафтопродуктів.

На флотаційний процес впливають: рН стічних вод, температура стоків, солеміст, конструкція флотаційної установки та ін.

Флотаційні установки бувають: одно-, двох- і багатокамерні.

Найбільше поширення знайшли напірні установки (рис. 5.14). Вони прості й надійні в експлуатації і дозволяють очищати стоки з концентрацією завислих речовин до 5-10 г/л і навіть вище.

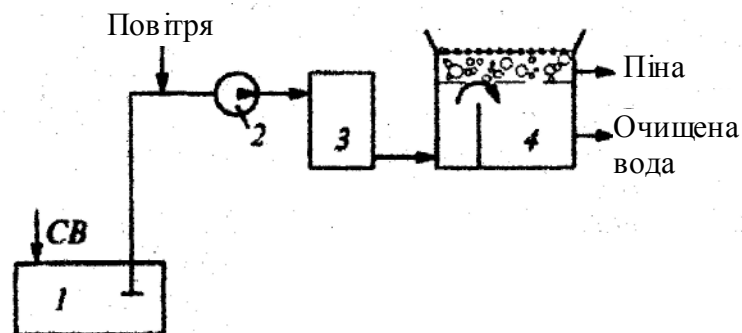


Рис. 5.14 – Принципова схема напірної флотації
1 - ємкість; 2 - насос; 3 - напірний бак (сатуратор); 4 - флотатор

Процес здійснюється у дві стадії:

1. Насичення води повітрям під тиском;
2. Виділення розчиненого газу під атмосферним тиском.

Напірні флотоустановки мають продуктивність від 5-10 до 2000 м³/год.

При проектуванні флотаторів для очистки стічних вод з витратою до 100 м³/год приймають прямокутні в плані камери глибиною 1-1,5 м з горизонтальним рухом води, а з витратою більше 100 м³/год — радіальні флотатори глибиною не менше 3 м. Глибина зон флотації й відстоювання приймається не менше 1,5 м, а тривалість перебування води в них відповідно не менше 5 і 15 хв. Площу флотаційної камери слід приймати виходячи з гідравлічного навантаження 3 - 6 - 10 м³/год на 1м² площі поверхні камери. Горизонтальна швидкість руху води в прямокутних і радіальних флотокамерах - не більше 5 мм/с. Об'єм флотокамери складається з об'ємів робочої зони (глибина 1,0 - 3,0 м), зони формування і нагромадження піни (глибина 0,2 - 1 м), зони осаду (глибина 0,5 - 1,0 м). Число флотокамер повинне бути не менше двох і всі камери робочі.

Флотатори-відстійники являють собою комбіновані споруди, що складаються із круглого в плані радіального відстійника з вбудованою у нього підвісною флотокамерою (рис. 5.15). Воду, що очищається, насичують повітрям за допомогою насоса і подають у флотатор через редукційний клапан, розташований в окремій камері. Застосовують для очистки великих обсягів стічних вод.

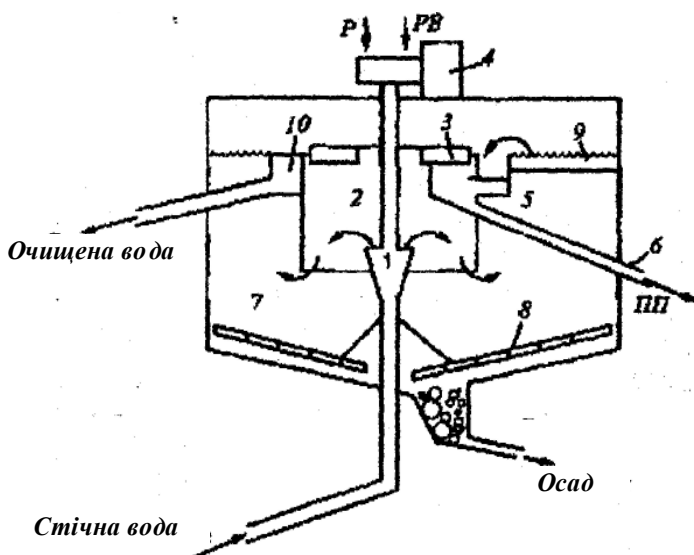


Рис. 5.15 - Схема флотатора-відстійника:

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

Розроблені типові проекти радіальних флотаторів і флотаторів - відстійників пропускною здатністю 300, 600 і 900 м³/год мають відповідно діаметри 9, 12 і 15 м і глибину 3 м.

Порядок розрахунку:

1. Об'єм флотатора - відстійника

$$W = Q \cdot t, \quad (5.10)$$

де Q - годинна продуктивність установки (максимальний приплив стоків), м³/год;

t - час перебування стічних вод у спорудах, год.

Час t визначають за формулою

$$t = t_0 + t_\phi, \text{ год}, \quad (5.11)$$

де t_ϕ - час перебування води в камері флотації, $t_\phi = 10-20$ хвил.;

t_0 - час перебування води у відстійній камері; t_0 - 1,5 - 2 год.

2. Робоча висота флотатора-відстійника приймається в межах $H = 1,5-3$ м.

3. Площа дзеркала флотатора-відстійника

$$F = W/H, \text{ м}^2. \quad (5.12)$$

4. Діаметр флотатора-відстійника

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \text{ м}. \quad (5.13)$$

5. Об'єм флотаційної камери

$$W_\phi = Q \cdot t_\phi, \text{ м}^3. \quad (5.14)$$

Висота флотаційної камери H_ϕ , тобто відстань від поверхні води до верху водорозподільника, приймається 1-1,2 м.

6. Площа дзеркала флотаційної камери

$$F_\phi = W_\phi/H_\phi, \text{ м}^2. \quad (5.15)$$

7. Площа дзеркала флотаційної камери

$$D_\phi = \sqrt{\frac{4F_\phi}{\pi}}, \text{ м}. \quad (5.16)$$

8. Висоту нейтрального шару h_n флотатора-відстійника приймають 0,3 м, а висота борта $H_\phi \geq 0,3$ м.

9. Будівельна висота флотатора-відстійника $H_{\text{сmp}} = h_{\text{б}} + H + h_{\text{н}}$, м.

10. Розрахунок флотаційних реагентів роблять виходячи з практики очистки вод даної галузі.

Розрахунок флотаційних установок полягає у визначенні об'єму і розмірів флотаційних камер, визначенні кількості шламів, що утворюються (пінного продукту) і осадів, підбора насосів і визначенні місткості напірних баків.

Застосування *електрохімічних методів* для очистки промислових стічних вод засновано на їх електролізі, тобто на пропусканні через них постійного електричного струму за допомогою занурених електродів. Очистка методом електрокоагуляції основана на їх електролізі з використанням металевих (сталей або алюмінієвих) анодів, що підлягають електролітичному розчиненню. Внаслідок розчинення анодів вода збагачується відповідними іонами, які потім утворюють у нейтральному чи слабколужному середовищі гідроокись алюмінію або гідрозакись заліза, яка під впливом розчиненого у воді кисню переходить у гідроокись заліза. У результаті здійснюється процес коагуляції, аналогічний обробці води відповідними солями алюмінію або заліза. Однак на відміну від застосування коагулянтів при електрокоагуляції вода не збагачується сульфатами чи хлоридами вміст яких в очищеній воді лімітується як при скиданні у водойми, так і при повторному використанні в системах оборотного водопостачання.

Електрокоагуляційні методи застосовують в основному для очистки стічних вод із нейтральною або слабколужною реакцією (рН=5-9).

Електрокоагуляція у поєднанні з електрофлотацією або без неї застосовується головним чином для видалення зі стічних вод нерозчинених тонкодиспергованих домішок, що утворюють у воді різні колоїдні системи.

Електрофлотацію застосовують (рис. 5.12) для обробки невеликої кількості стічних вод і технологічних розчинів у гальванічному виробництві при витраті не більше 20-40 м³/год з високим вмістом солей і низькою електропровідністю.

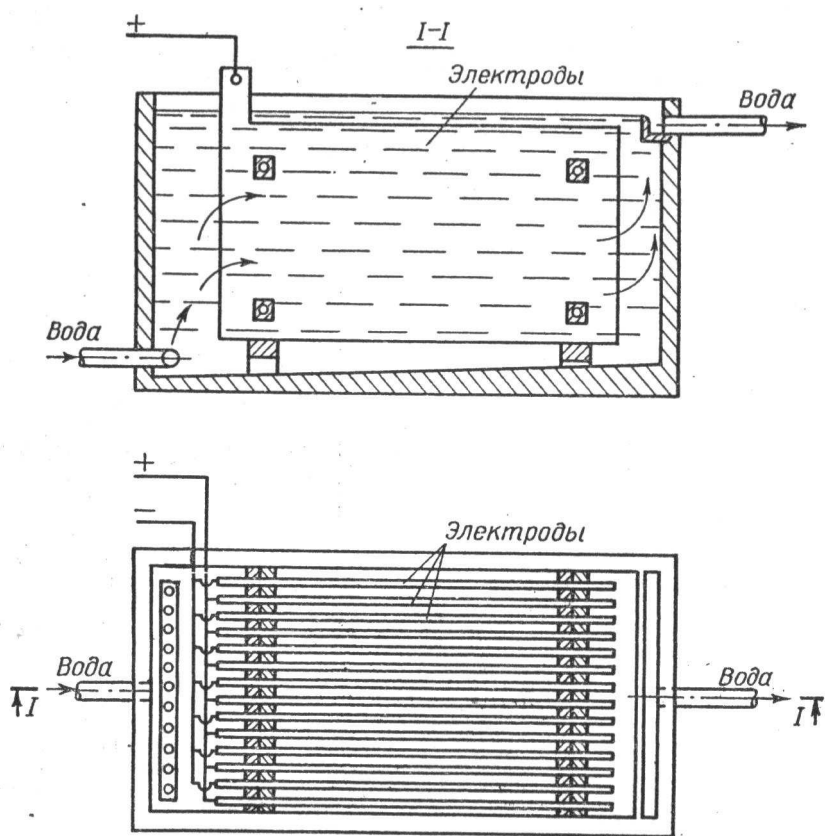


Рис. 5.12 – Апарат для очистки воды методом электрохимической коагуляции

При электрофлотации возможно использование коагулянтов и флокулянтов, а также комбинированные схемы напорной флотации и электрофлотации. Суть этого способа очистки стоков заключается в перенесении загрязняющих частиц с жидкости на их поверхность с помощью пузырьков газа, которые образуются при электролизе сточной воды. В процессе электролиза воды на катоде выделяется водород, а на аноде - кислород. Основную роль в процессе флотации частиц играют пузырьки водорода.

При использовании растворимых электродов (железных или алюминиевых) на аноде происходит их растворение, в результате чего образуются плавающие гидроксиды. Такие установки называются электрокоагуляционно-флотационными. При расходе стоков до 10-15 м³/год флотоустановки однокамерные, а при большем - двухкамерные горизонтального или вертикального типа.

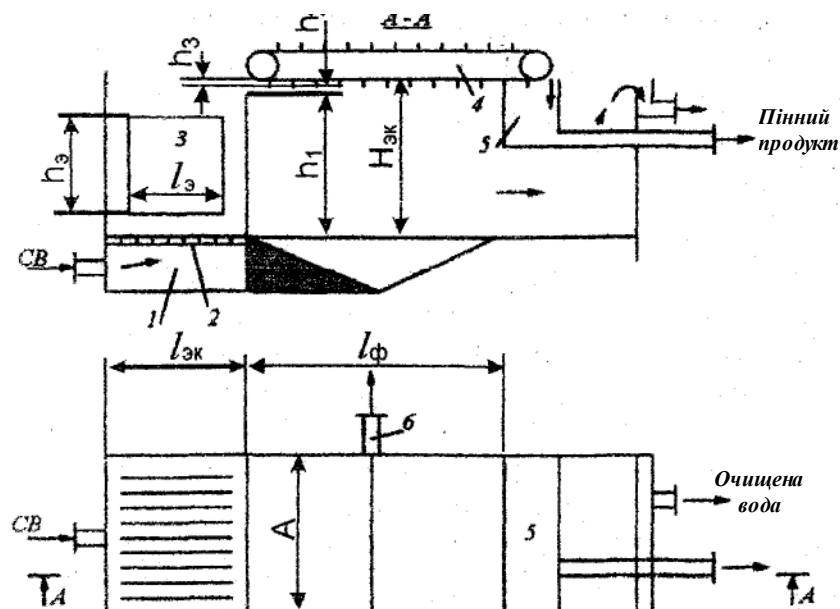


Рис. 5.13 – Горизонтальний флотатор

*1 – впускна камера; 2 – грата-заспокоювач;
3 – електродна система; 4 – пінозйомник; 5 – пінозбірник;
6 – відвід осаду та спорожнювання флотатора*

Розрахунок установок для електрофлотації або електрокоагуляції зводиться до визначення загального об'єму установки, об'ємів електродного відділення та камери флотації.

Контрольні запитання

1. Які споруди можуть входити до схеми механічної очистки виробничих стічних вод?
2. Переваги й недоліки вертикальних і горизонтальних відстійників.
3. Принцип дії відкритих і напірних гідроциклонів.
4. Конструктивні особливості і принцип роботи флокулятора.
5. Сучасні споруди для очистки промислових стічних вод.
6. Класифікація фільтрів, що застосовують для очистки промислових стічних вод.
7. Конструктивні особливості напірних фільтрів та фільтрів з плаваючим завантаженням.
8. Сітчасті фільтри. Принцип роботи.
9. Методи нейтралізації стічних вод.
10. Очистка стічних вод за допомогою електрохімічних методів.
11. Як здійснюється процес електрокоагуляції?

6. ПОВЕРХНЕВИЙ СТІК – РЕЗЕРВ ЗАМКНЕНИХ СИСТЕМ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

6.1. Особливості складу поверхневого стоку

Поверхневий стік утворюється від атмосферних осадів над площею території ПП. До складу забруднень поверхневого стоку ПП входять речовини, що визначаються технологічними процесами і, відповідно викидами в атмосферу.

Поверхневий стік представляє собою особливий вид стічних вод з притаманними тільки йому особливостями формування і режиму надходження у водні об'єкти. По-перше, він є періодичним і в окремих регіонах країни більшу частину року відсутній. Об'єм і рівень його забруднення змінюються в широких межах і залежать від кліматичних умов (інтенсивність і тривалість дощу, частота його випадіння, кількість опадів, тривалість періоду сухої погоди), а також від санітарного стану басейна водозбору (рівня благоустрою, типу поверхневого покрову, ступеня забрудненості території і атмосфери тощо). Не менш головним, є і той факт, що більша частина поверхневого стоку з території міст і промислових підприємств надходить у водні об'єкти в періоди підвищеної водності.

Отже, поверхневий стік представляє собою надзвичайно нестабільну полідисперсну систему зі значними коливаннями складу і концентрації забруднень. Для нього характерні раптовість і періодичність виникнення, велика нерівномірність наростання і спаду витрат.

Поверхневий стік з майданчиків промислових підприємств являє собою складну суміш сполук і речовин, оскільки на їх якісний склад істотно впливає культура виробництва на підприємстві, характер технологічних процесів, організація складського господарства. В багатьох випадках саме ці чинники визначають склад і концентрацію домішок стоку.

Слід зазначити, що поверхневий стік буває організований і неорганізований. Існують три системи організованого відведення поверхневих стічних вод: закрита, відкрита і змішана. Закрита система відповідає високому рівню благоустрою і санітарним вимогам, проте має досить високу вартість будівниц-

тва. Згідно з цією системою, поверхневі води відводять з території за допомогою підземної системи трубопроводів — міської водостічної мережі (зливової каналізації).

Відкрита система водовідведення допускається в дачних місцях і селищах як перший етап благоустрою, а також за певних умов на територіях житлових мікрорайонів і зелених насаджень у містах. Вона складається з лотоків, кюветів, канав і характеризується простотою виконання робіт із невеликими витратами будівельних матеріалів та коштів. Проте відкрита система має низку істотних недоліків: порівняно малу пропускну здатність, унаслідок чого збільшується ширина вулиці, оскільки потрібне облаштування переїзних містків або прокладання водопропускних труб, зменшується безпека руху пішоходів і транспорту та погіршується санітарний стан.

Під час організації поверхневого стоку часто застосовують змішану систему водовідведення, за якої на вулицях і в центральній частині міста роблять закриту водостічну мережу, а на решті території — відкриту. Міські водостоки складаються із водоприймальних колодязів, з'єднувальних гілок, водостоків або колекторів, оглядових колодязів, випусків і спеціальних споруд (компенсаційні колодязі, камери різного призначення тощо). Неорганізований поверхневий стік відбувається у поверхневі водойми рельєфом місцевості.

Систематичні багаторічні спостереження за якістю поверхневого стоку на промислових майданчиках багатьох підприємств крупних міст країни дозволяють зробити висновок про те, що концентрація забруднень у стоці, що стікає з територій промислових підприємств набагато вище, ніж у міських стічних водах. Концентрації забруднень, що містяться в поверхневому стоці з територій ПП за величиною прирівняні до вмісту забруднень у виробничих стічних водах. Збільшення концентрації забруднень на водозбірних майданчиках і майданчиках відкритого складування матеріалів може бути результатом інтенсивного вантажного руху (в тому числі й залізничного транспорту). Особливо високі концентрації забруднюючих речовин у поверхневому стоці характерні для металургійних заводів, гірничо-збагачувальних комбінатів, підприємств будіве-

льної індустрії, автотранспортних, хімічних, машинобудівних і нафтопереробних підприємств.

Дощові води, що містять переважно мінеральні забруднення, менш небезпечні в санітарному відношенні, ніж побутові й забруднені виробничі стічні води, і тому їх скидають у водойми без очистки. В атмосферні води, що стікають із забруднених територій ПП, іноді надходять домішки, специфічні для даного виробництва, наприклад, хімічних і нафтопереробних заводів, шкіряних підприємств, м'ясокомбінатів тощо. Такі води слід піддавати очищенню. Особливо небезпечне надходження у водойми поталих і дощових вод, які містять різні токсичні речовини (метали, нафтопродукти та інші важко окислювальні органічні речовини).

Формування поверхневого стоку відбувається під дією природних та антропогенних факторів. Визначальні фактори — кліматичні умови (атмосферні опади, випаровування під впливом сонячного випромінювання, інфільтрація, рослинний покрив території та ін.) та організація водозбірних робіт, технологія миття штучних покриттів, транспортних засобів тощо. Особливо забруднений поверхневий стік формується під час танення снігу і проведення поливально-мийних робіт. Вміст завислих речовин у такому поверхневому стоці досягає $4 — 5 \text{ кг/м}^3$, вміст нафтопродуктів — до 40 г/м^3 і більше, ХПК — до $1500 \text{ г O}_2/\text{м}^3$, БПК_{повн} - $300 \text{ г O}_2/\text{м}^3$ і більше.

Склад поверхневого стоку з територій промислових підприємств визначається продукцією, що випускається, технічним рівнем технології виробництва, ефективністю роботи системи пило- і газозловлювання, очищення стічних вод, організацією складування, транспортування та перероблення сировини і відходів виробництва, санітарним станом території промислового майданчика.

Залежно від складу поверхневого стоку промислові підприємства поділяють на дві групи. До першої групи належать підприємства, поверхневий стік із території яких не містить токсичних речовин і за своїм складом близький до зливого стоку з районів житлової забудови (підприємства енергетики, чорної металургії, машинобудування, легкої, харчової та електротехнічної галузей

промисловості, приладобудівні й нафтопереробні заводи). Решта підприємств належать до другої групи і характеризуються наявністю в поверхневому стоці великої кількості органічних домішок та специфічних речовин (важкі метали, роданіди, аміак, феноли, арсен та ін.).

Орієнтовний склад поверхневого стоку характеризується такими значеннями:

| | Підприємства 1-ї групи | Підприємства 2-ї групи |
|---|------------------------|------------------------|
| Завислі речовини, мг/дм ³ | 500-2000 | 2000-4000 |
| Мінеральні речовини, мг/дм ³ | 200-500 | - |
| Нафтопродукти, мг/дм ³ | 10-30 | 18-25 |
| ХПК, мг O ₂ /дм ³ | 200 – 600 | - |
| БПК ₅ , мг O ₂ /дм ³ | 40-60 | 80-180 |

При проектуванні систем дощової каналізації ПП необхідно розглядати: можливість ліквідації винесення шкідливих речовин поверхневим стоком з території підприємства; доцільність очищення поверхневого стоку спільно з виробничими і міськими стічними водами; умови використання поверхневого стоку в системах промислового водопостачання. На крупних підприємствах, де застосовують різні технологічні процеси, поверхневий стік з окремих ділянок водозбірного майданчика може помітно відрізнятися за складом домішок від стоку з інших ділянок і загального стоку, це повинно враховуватися при розробці схеми його відведення й очищення.

При розробці на підприємстві проекту очищення стічних вод склад поверхневого стоку слід приймати за даними хімічних аналізів або використовувати дані аналогічних виробництв. Ливневипуски заводів найчастіше розташовані безпосередньо в межах міста, тому вимоги контролюючих органів до якості стоку, що скидається у водоймища, дуже жорсткі. В більшості випадків до очищених стічних вод пред'являють ті ж вимоги, що і до складу і властивостей води водоприймача. Для забезпечення такого глибокого ступеня очищення потрібен складний і дорогий комплекс очисних споруд.

У цих умовах один з раціональних шляхів виключення забруднення водних об'єктів поверхневим стоком із заводської території — використання його після акумуляції і відповідного очищення для технічного водопостачання, наприклад для підживлення оборотних циклів водопостачання або ряду виробництв з прямоточним водопостачанням і подальшим відведенням стічних вод у систему виробничо-побутової каналізації. При вмісті завислих і ефіророзчинних речовин відповідно не більше 30 мг/дм^3 поверхневий стік може бути використаний майже у всіх технологічних процесах. Якщо поверхневий стік і частина виробничих стічних вод відводяться по одній каналізаційній мережі, необхідно передбачати використання в технічному водопостачанні суміші цих стічних вод.

Відведення поверхневого стоку з території промислових підприємств у водні об'єкти допускається в тих випадках, коли його використання в промисловому водопостачанні опиняється технічно неможливим або економічно недоцільним. При цьому повинні дотримуватися нормативи і вимоги «Правил охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами», враховуватися особливості хімічного складу стоку й умови його формування. Місця випуску поверхневого стоку у водний об'єкт слід погоджувати з органами з регулювання, використання й охорони вод, санітарно-епідеміологічної служби і рибоохорони.

У випадку наявності в поверхневому стоці специфічних домішок до випуску його у водний об'єкт пред'являють ті ж вимоги, як і до випуску виробничих стічних вод. При використанні в промисловому водопостачанні якість стоку повинна відповідати вимогам, що пред'являють споживачі.

Склад очисних споруд визначають залежно від якісної характеристики і необхідного ступеня очистки поверхневого стоку, його розрахункової витрати або кількості, що направляється на очистку з врахуванням можливості очистки або доочистки спільно з виробничими, побутово-виробничими стоками.

Для очистки поверхневого стоку з території промислових підприємств, що не містить специфічних забруднень з токсичними властивостями, можна використовувати самостійні споруди, а також відводити його на міські чи заводські споруди, очищуючи разом з побутовими або виробничими стічними водами.

6.2. Приклади використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання

Найбільш ефективним рішенням проблеми запобігання забрудненню водоймищ поверхневим стоком є повторне його використання в системах технічного водопостачання промислових підприємств. Таке рішення часто буває і економічно вигіднішим, оскільки скорочується споживання природної води і, як правило, потрібне менш глибоке його очищення в порівнянні з варіантом скидання у водоймище. Проте в зв'язку з імовірнісним характером утворення поверхневого стоку потрібна акумулююча ємкість. Таким чином, повторне використання поверхневого стоку в системі технічного водопостачання, маючи екологічні й у ряді випадків економічні переваги, вимагає, як правило, значних виробничих площ.

Ступінь очищення поверхневого стоку при використанні його в системах технічного водопостачання ПП визначається вимогами до якості технічної води. Як показують розрахунки поверхневого стоку, що формується на території ПП, буде недостатньо для забезпечення технологічних потреб. Цей стік можна використовувати в суміші з річковою водою або очищеними стічними водами. На підприємствах металургійної, нафтопереробної, нафтохімічної, хімічної і деяких інших галузей промисловості, розташованих у кліматичних зонах з середньою річною кількістю опадів 400-600 мм, утворюваний на промайданчиках поверхневий стік складає до 30% річного споживання води підприємством. Враховуючи, що вимоги пред'являють до загальної витрати використовуваної води на технологічні потреби, ступінь очищення поверхне-

вого стоку визначається, виходячи з кількості й якості окремих джерел водопостачання.

Підготовка поверхневого стоку для використання в системах технічного водопостачання повинна забезпечувати не тільки певні вимоги до технологічних властивостей води, але і повну санітарну безпеку для працюючого персоналу. Санітарно-гігієнічні вимоги полягають у забезпеченні безпечних епідеміологічних і токсикологічних умов для персоналу. Оскільки в ряді випадків поверхневий стік забруднений бактеріями, при його використанні в системах технічного водопостачання необхідно передбачити можливість зараження.

Вимоги до ступеня очищення поверхневого стоку при використанні його на технологічні потреби підприємства: за нафтопродуктами - 10-20 мг/л, завислими речовинами - 20 - 50 мг/л; при скиданні у водоймище нафтопродуктів - 0,3 - 0,05 мг/л; завислих речовин - до 5 мг/л.

У даний час на ряді закордонних заводів поверхневий стік використовують в оборотних системах водяного охолодження і для пожежогасіння, причому очищення і підготовка його до використання в цих системах водопостачання обмежується, як правило, відстоюванням у ставках. Показовим прикладом використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання може служити нафтопереробний завод (НПЗ). Основна продукція - бензин, дизельне паливо, мазут і бітум. Для максимального затримання атмосферних опадів по периметру території заводу площею 200 га, на глибину до водонепроникних пластів, побудовано залізобетонну стіну завтовшки 50 см. Протяжність цієї стіни в ґрунті 5 км.

Затримані атмосферні води, річний об'єм яких більше 1 млн. м³, дренажними насосами перекачують в акумулюючий резервуар і надалі застосовують у системах промислового водопостачання. При використанні цих вод в охолоджуючих системах оборотного водопостачання ніякої додаткової обробки, окрім періодичного хлорування, не застосовують. Якість води в акумулюючому резервуарі така, що для приготування знесоленої води, необхідної

для технологічних потреб заводу, її подають на іонообмінні фільтри без попереднього очищення. Багаторічний досвід експлуатації заводу показав, що прийнята схема дозволяє задовольняти всі потреби технологічних процесів у водних ресурсах за рахунок атмосферних опадів.

У даний час на переважній більшості НПЗ поверхневий стік з територій технологічних установок, резервуарних парків і естакад відводиться спільно з виробничими стічними водами. Після фізико-механічного очищення, а в ряді випадків і біологічного, ці стічні води, як правило, використовують для підживлення оборотних систем. Відведення ж поверхневого стоку з решти території заводу в більшості випадків здійснюється відкритими лотками і кюветами. Розрахунки показують, що при середній кількості атмосферних опадів 600 мм на рік загальний об'єм поверхневого стоку для НПЗ середньої потужності коливається в межах 0,9-2,7 млн. м³ на рік, що складає від 10 до 30% річної витрати свіжої води, споживаної на технічні потреби заводу. Проведені дослідження показують, що за сольовим складом поверхневий стік відповідає вимогам, що пред'являють до додаткової води і може бути використаний після відстоювання для підживлення оборотних систем. Очищення поверхневого стоку рекомендується здійснювати в піскоуловлювачах і в 4-секційному ставку-акумуляторі. За величиною карбонатної жорсткості поверхневий стік НПЗ можна порівняти із зм'якшеною вапняно-содовим розчином річковою водою. В зв'язку з цим використання поверхневого стоку в оборотних системах дозволить зменшити утворення накипу в холодильно-конденсаційній апаратурі, але в той же час він може збільшити корозію, що примусить застосувати ефективний захист. Для цієї мети на НПЗ успішно застосовується інгібітор корозії ІКБ-4 дозою 25-50 мг/л. Промислові випробування інгібітору показали, що залежно від агресивності води й умов експлуатації швидкість корозії стала знижуватися на 60-95%.

Рекомендації зі знешкодження поверхневого стоку з територій металургійних заводів з метою використання їх у системах оборотного водопостачання розроблені НВО «Енергосталь». Частка поверхневого стоку в загаль-

ному балансі водоспоживання залежить від багатьох умов і коливається в широкому діапазоні. У Донбасі загальний об'єм його за рік складає 10-12% від загального споживання свіжої води для технічних цілей, а на Уралі частка використання поверхневого стоку зростає до 20-25%. Для забезпечення вимог до води, що охолоджує устаткування, за завислими речовинами одного гравітаційного відстоювання поверхневого стоку металургійних заводів буває, як правило, недостатньо. Найдоцільніше в таких випадках піддавати освітлений стік фільтруванню.

Розроблена схема збору і відведення поверхневих вод, згідно з якою по периметру території заводу влаштовують кювети, що забезпечують відведення збираної води, щоб виключити попадання її у водоймище. При прокладенні по контуру заводу автомобільної дороги рівень полотна повинен бути вище за рівень навколишньої місцевості на 0,5 м. У цьому випадку дороги служать обвалуванням заводської території.

На території технологічних установок, де можливі розливи нафтопродуктів, повинні бути дощоприймачі, що підключені до систем промливневої або зливової каналізації.

Поверхневі стоки НПЗ несуть пісок, завислі речовини різної природи, зокрема плаваючі й емульговані нафтопродукти. Внаслідок періодичності випадання опадів і значного коливання їх інтенсивності, забрудненість поверхневих вод змінюється в широких межах, тому злизові ставки, окрім функцій акумулятора стічних вод виконують функції очисних споруд.

При високому вмісті завислих речовин у поверхневому стоці перед ставками рекомендується влаштовувати піскоуловлювачі для очищення стоку від основної маси крупнодисперсних забруднень. Включення в схему піскоуловлювачів не є рішенням однозначним і вимагає додаткової перевірки в умовах експлуатації. Включення піскоуловлювачів до схеми очищення виправдано тільки в тому випадку, якщо забезпечується їх надійна експлуатація, тобто своєчасне звільнення піскоуловлювачів від уловленого осаду. При застосуванні піскоуловлювачів у період найбільш інтенсивних дощів необ-

хідно передбачати відведення частини стоку в ставок, минувши піскоуловлювач.

Ставок-накопичувач повинен складатися з двох секцій: першої для первинного відстоювання від основної кількості завислих частинок і нафтопродуктів і другої, такої, що відіграє роль акумулятора. Об'єм секцій первинного відстоювання приймають 20% від загального об'єму ставка. Зменшений об'єм секцій первинного відстоювання викликаний необхідністю скорочення поверхні, де можуть накопичуватися нафтопродукти і нафта.

У результаті тривалого перебування в ставку вода практично повністю освітлюється. За відсутності забруднень ($\text{БПК}_{\text{повн}} = 20\text{--}25 \text{ мг/л}$) стік направляють на підживлення оборотних систем; при $\text{БПК}_{\text{повн}} > 25 \text{ мг/л}$ - на споруду біохімічного очищення стоків першої системи каналізації.

Секції первинного відстоювання по всьому периметру обладнують нафтозбірними поворотними трубами. Уловлені нафтопродукти збирають періодично в міру накопичення нафтової плавки, що зганяється вітром, біля однієї з нафтозбірних труб. Уловлений нафтопродукт збирають у приймальному резервуарі, потім направляють на утилізацію.

Секції ставка очищують від осаду періодично, залежно від кількості продуктів, що накопичилися, в середньому один раз на 5-7 років. Перед очищенням секцію звільняють від води, осад підсушують, а потім вивозять машинами на спеціально відведені майданчики. Корисний об'єм ставка-накопичувача розраховують виходячи з об'єму талих і зливових вод, об'єму осаду, що накопичується в період між очищеннями, мертвого об'єму і залишку води попереднього року.

Контрольні запитання

1. Назвіть основні системи відведення поверхневого стоку з територій промислових підприємств.
2. Особливості формування і основні види забруднень поверхневого стоку.
3. Методи і споруди для очистки поверхневого стоку.
4. Наведіть приклади використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання.

Розділ II

7. ОСОБЛИВОСТІ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ ПІДПРИЄМСТВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

7.1. Споживачі води на ТЕС

До підприємств теплоенергетики належать атомні, теплові та електричні станції для міст, районів і промислових підприємств. Підприємства теплоенергетики відносяться до найбільш водоемких споживачів у народному господарстві, вони споживають приблизно 25% від загальної витрати води, яку споживають усі промислові підприємства. Достатньо відмітити, одна сучасна ТЕС споживає 100-150 тис. м³/год води. Одночасно ці підприємства характеризуються значною кількістю стічних вод і значною кількістю забруднень.

В країні побудовано великі теплові й атомні електростанції з блоками потужністю 500-1200 МВт. На цих станціях споруджено системи водопостачання, які відводять теплоту, що виділяється, конденсують пару, охолоджують пару, охолоджують обладнання та виконують інші функції.

Сумарне річне споживання води в галузі складає близько 150 млрд. м³, у тому числі приблизно 60% знаходиться в обороті і 5% використовується повторно-послідовно. А сумарне водовідведення складає 55 млрд. м³.

Підприємства теплоенергетики виробляють 85% від усієї електроенергії. Електроенергію виробляють електрогенератори, що приводяться у дію паровими й газовими турбінами. Електростанції працюють на високих і надвисоких параметрах пари: тиск пари 130-240 атм. (13-24 МПа), температура пари 535-565°C .

Пар виробляється в котлах, в яких спалюють вугілля, газ, нафтопродукти, торф. На атомних станціях парові котли замінені на атомні реактори. Електричні станції, які виробляють тільки електроенергію, звуться конденсаційними. Якщо додатково виробляється теплова енергія (пар на технологічні

потреби, опалення, гаряче водопостачання), то вони називаються теплофікаційними (ТЕЦ и ТЕС).

Витрати води на електростанціях можуть доходити, в залежності від їх потужності, до $100 \text{ м}^3/\text{с}$. Відпрацьована пара після парових турбін конденсується, а конденсат знов прямує на отримання пари високого тиску. На ТЕЦ велика частина пари після турбін потрапляє не в конденсатори, а направляється в бойлери – апарати для приготування гарячої води, що поступає в мережу теплофікації і гарячого водопостачання.

Для нормальної роботи електростанцій необхідно надійне та безперебійне постачання їх водою.

Основними споживачами води на теплових електростанціях є *конденсатори парових турбін*. Однак ще воду споживають повітро- та газоохолоджувачі генераторів живильних насосів, маслоохолоджувачі систем змащування механізмів, воду використовують у системах гідравлічного видалення золи і шламу на ТЕС, що працюють на твердому паливі, а також для підживлення та продувки котлів.

Кожен теплообмінник являє собою батарею латунних або мельхіорових трубок, які знаходяться в металевому корпусі. По трубках циркулює охолоджуюча вода, а між трубками проходить повітря, газ, масло, які потрібно охолоджувати. Нагріту воду після конденсатора часто використовують на шлако- і золовидалення гідравлічним способом.

Основну кількість води на ТЕС використовують для вироблення пари й охолодження конденсаторів парових турбін. Залежно від потужності турбін і вживаних параметрів пари питомі витрати води на ТЕС складають $0,12\text{--}0,45 \text{ м}^3/(\text{кВт}\cdot\text{год})$. Переважаюча частина споживання води в теплоенергетиці доводиться на охолодження (до 90% загальної витрати). Витрати охолоджуючої води достатньо значні. Кількість охолоджуючої води, необхідної для відведення теплоти, для конденсації пари та інших потреб, наприклад, на конденсаційних станціях потужністю 2400 МВт складає 250-300 тис. $\text{м}^3/\text{год}$. Для конденсації 1т відпрацьованої в турбіні пари витрачають залежно від

пори року 50-60 т води, а, наприклад, на ТЕС потужністю 4000 МВт виробляється за 1 годину близько 13000 т пари.

Найпростіша конденсаційна станція (рис. 7.1) передбачає паровий котел 1, з якого пар потрапляє на турбіну 2. Турбіна в свою чергу обертає електричний генератор 3. Відпрацьований пар потрапляє в конденсатор 4, куди насосом 5 подається охолоджуюча вода.

Конденсат перекачується в бак запитуючої води 6. У бак подається додатково свіжа очищена і знесолена вода. Необхідна кількість води подається в котел насосом 9.

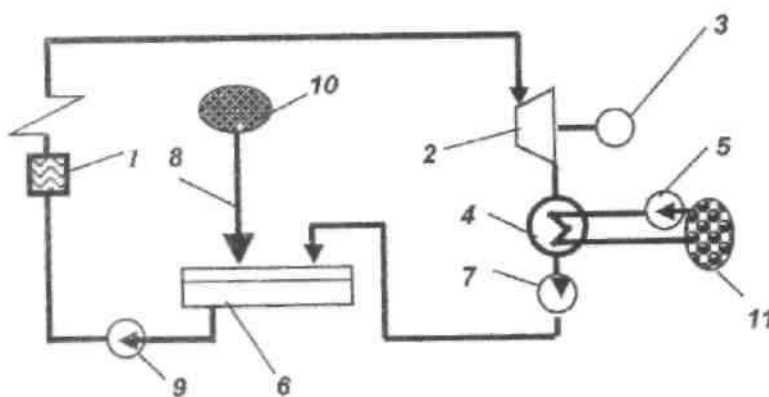


Рис. 7.1 – Схема конденсаційної електростанції:

1 – паровий котел; 2 – турбіна; 3 – електричний генератор; 4 – конденсатор; 5 – циркуляційний насос; 6 – бак запитуючої води; 7 – конденсатний насос; 8 – подача додаткової води; 9 – живильний насос; 10 – установка підготовки додаткової води; 11 – охолоджувальний пристрій

Вода в робочому циклі електростанції постійно контактує з металевими частинами котла, парової турбіни, конденсатора. При цьому може проходити виділення розчинених у воді домішок та проходити хімічна взаємодія води з металом. У результаті на поверхні елементів котла та турбіни з'являються сольові відкладення, у воді з'являється завись - шлам, який може відкладатися в місцях з більш спокійним потоком води з утворенням вторинного накипу, поверхня метала роз'їдається - відбувається корозія, міцність металу зменшується. Крім того, наявність у воді зависі призводить до додаткового виносу краплинок котлової води, яку потім слід відновлювати. Для попередження вказаних явищ слід дотримуватись нормального водного режиму, що передбачає за-

безпечення певних якісних показників води: прозорість (каламутність, кольоровість), лужність, жорсткість, солевміст, вміст кремнію, вміст розчинених газів, значення pH .

Безперервне випаровування у котлі води призводить до поступового накопичення в котловій воді солей. Відповідно починає збільшуватись солевміст у парі, вода в котлі починає спінюватись, частина її виноситься парою і ще більше збільшує. Підвищений солевміст котлової води викликає появу в ній шламу. Отже необхідно проводити продувку (безперервну, періодичну) барабанних котлів, що полягає в скиді певної кількості води, а в прямооточних котлах слід проводити більш глибоке хімічне знесолення конденсату та періодично зупиняти котли для очистки (водяної промивки) від утворених відкладень.

На теплофікаційній електростанції (рис. 7.2) є такий самий водяний контур, як і на конденсаційній, але частина пари знімається з парової турбіни і подається різним типам споживачів - 14, відпрацьований конденсат збирається в збірнику та насосом повертається в живильний бак. Таким чином утворюється другий водяний контур. При цьому може бути замкнута система, коли вода не контактує з людиною, та відкрита, коли вода вступає в контакт з людиною - тобто забезпечується гаряче водопостачання.

При використанні в конденсаторах та інших теплообмінних апаратах закритого типу вода не забруднюється, а тільки нагрівається. В зимовий період кількість пари, що поступає в конденсатори, скорочується, і водоспоживання їх знижується на 30-50% від літнього періоду.

Крім охолоджуючих систем оборотного водопостачання в теплоенергетиці є споживачі хімічно обробленої води, що пред'являють до води завищені вимоги. До них належать парові котли, випарники, пароутворювачі, теплові мережі з закритою або відкритою системою теплопостачання.

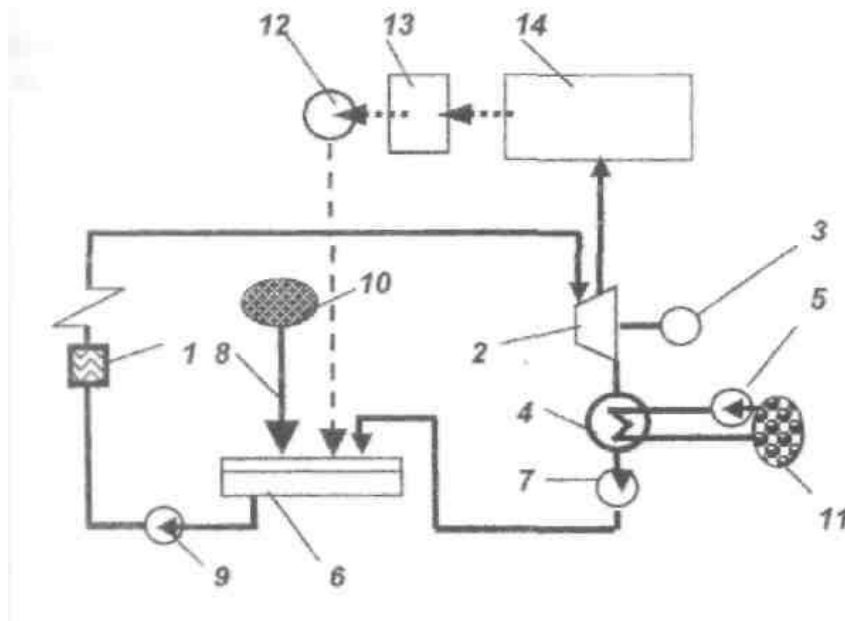


Рис. 7.2 – Схема теплофікаційної станції

1 – паровий котел; 2 – турбіна; 3 – електричний генератор; 4 – конденсатор;
 5 – циркуляційний насос; 6 – бак живильної води з деаераційною колонкою;
 7 – конденсатний насос; 8 – подача додаткової живильної води; 9 – живиль-
 ний насос; 10 – установка підготовки додаткової води; 11 – охолоджуваль-
 ний пристрій; 12 – насос виробничого конденсату; 13 – збірник виробничого
 конденсату; 14 – виробничі споживачі пари

7.2. Системи технічного водопостачання

Система технічного водопостачання включає джерело води, підвідні та відвідні канали, насоси, охолоджувачі води.

Для охолодження конденсаторів використовують:

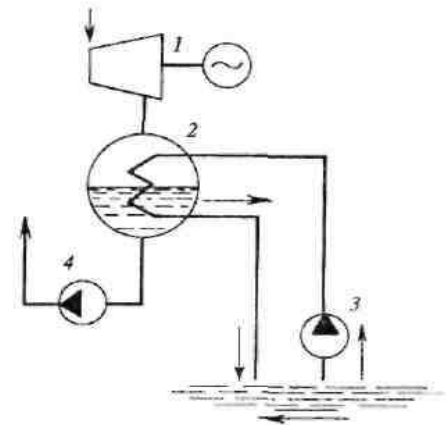
- *прямоточні* системи водопостачання (при наявності досить потужного джерела);
- *оборотні системи* зі ставками-охолоджувачами або з градирнями чи бризкальними басейнами;
- змішані.

Для охолодження конденсаторів використовують технічну воду без нормування її якості. Проте підвищення коефіцієнту корисної дії паросилової установки досягається покращенням якості води та зниженням її температури.

При прямоточній системі охолодження вода проходить через конденсатор турбіни одноразово, при цьому забір води з річки здійснюється обов'язково зі створу, який розташовано вище по течії, ніж скид води. Вода після використання на охолодженні скидається в річку, водосховище (рис. 7.3). Така система потребує значних капітальних вкладень, потужних джерел водопостачання, проте забезпечує низьку і стабільну температуру води.

Рис. 7.3 – Схема прямоточного охолодження конденсаторів:

1 — турбіна; 2 — конденсатор; 3 — насоси берегової насосної станції; 4 — конденсатний насос



Подача води з водойми може забезпечуватись блочною або центральною насосною станцією. При блочній станції на кожний блок (котел, турбіну) воду подають два циркуляційні насоси й окремий водовод. У такій системі засувки і зворотні клапани на напірних лініях

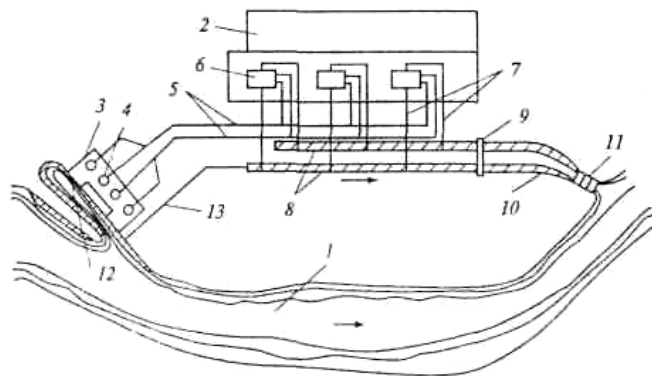


Рис. 7.4 – Схема прямоточної системи технічного водопостачання електростанцій:

1 – річка; 2 – головний корпус; 3 – водоприймальний пристрій та берегова насосна станція; 4 – циркуляційні насоси; 5 – напірні трубопроводи; 6 – конденсатори турбін; 7 – зливні трубопроводи; 8 – закритий відвідний канал; 9 – пристрій для регулювання води в закритому відвідному каналі; 10 – відкритий відвідний канал; 11 – водоскидна споруда; 12 – водозабір; 13 – трубопровід обігрівання водозабору

не встановлюються, а тепла вода скидається в самопливний канал великого перерізу ($4,2 \times 3$ м). Система найбільш економічна і надійна. При центральній насосній станції вода подається споживачам по двох – трьох водоводах великого діаметра ($3-3,3$ м) декількома насосами (не менше чотирьох). У схемі багато запірної та запобіжної арматури, відповідно великі гідравлічні втрати. В прямоточній системі витрати води можуть бути забезпечені тільки на великих річках. Крім того, скид великої кількості теплої води обмежує застосування таких систем.

На теплових і атомних електростанціях з охолоджувальною водою у водні об'єкти скидається велика кількість теплоти. Стічні води прямоточних систем охолодження після конденсаторів, газо-, повітря-, масло охолоджувачів і інших теплообмінних апаратів, що тільки нагрівають воду природних джерел і не забруднюють її хімічними або механічними домішками, не потребують очистки, викликають тільки *теплове «забруднення»*. Питома кількість теплоти, що відводиться з охолоджувальною водою при нагріві її в конденсаторах парових турбін на $8-10^{\circ}\text{C}$, становить на ТЕС біля 43 кДж/(кВт год), а на АЕС 73 кДж/(кВт год) при витраті води $100-300$ м³/с. Скидати ці теплі води безпосередньо у водойми не можна, оскільки навіть незначне підвищення температур позначається на екологічній обстановці природних водоймищ. Для того, щоб вплив скидної теплоти не порушував екосистеми водоймища, теплові скидання за санітарними нормами не повинні викликати підвищення власної температури водоймища більш ніж на 5°C у зимовий період і на 3°C у літній період.

Найбільш вигідною для забезпечення конденсаторів парових турбін водою є оборотна схема з водосховищем-охолоджувачем. У цій схемі дуже важливо забезпечити необхідний хімічний склад охолоджуючої води для того, щоб знизити, або повністю виключити небезпечність утворення щільних сольових відкладень і корозійний знос металу, з якого виготовлені конденсатори. Це і є причиною виготовлення конденсаторів із латуні. З другого боку, потрібно проведення стабілізаційної обробки води в цій системі з метою за-

побігання утворенню щільних сольових відкладень і корозії. Для цієї системи все це є визначальним для забезпечення її працездатності. Крім того, охолоджуюча вода повинна мати певну температуру.

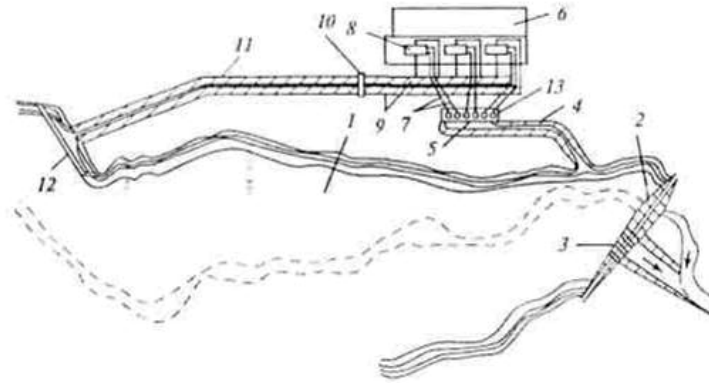


Рис. 7.5 – Схема оборотної системи технічного водопостачання з водосховищем-охолоджувачем:

1 - водосховище-охолоджувач; 2 - гребля; 3 - водоскид греблі; 4 - відкритий підвідний канал; 5 - водоприймач і берегова насосна станція; 6 - головний корпус; 7 - напірні трубопроводи; 8 - конденсатори турбін; 9 - закритий відвідний канал; 10 - пристрій для регулювання води в закритому відвідному каналі; 11 - відкритий відвідний канал; 12 - струменерозподільча споруда; 13 - трубопровід обігрівання водозабору

Найбільш поширеним методом стабілізації охолоджуючої води є продувка систем водяного охолодження, тобто скид частини оборотної води з заміною її свіжою. При продувці знижується концентрація всіх домішок, у тому числі хлоридів і сульфатів, що сприяє послабленню процесів корозії в оборотній системі охолодження. Звичайно стабілізацію води проводять разом із обробкою води хімічними реагентами. До хімічних методів обробки охолоджувальної води належать підкислення, рекарбонізація, фосфатування.

При оборотній системі охолодження вода проходить через конденсатор багаторазово. Охолодження нагрітої води, що залишає конденсатор, здійснюється за рахунок її часткового випаровування. За [10] рекомендований перепад температур нагрітої та охолодженої води - до 9°C. У реальних умовах самого жаркого періоду цей перепад часто не забезпечується, що призводить до зниження ефективності роботи ТЕЦ.

Для охолодження можна використовувати: 1) ставки та водосховища-охолоджувачі, 2) баштові градирні, 3) вентиляторні градирні.

Градирні – це спеціальні пристрої для штучного охолодження рідких теплоносіїв. Вони знайшли велике поширення в промисловості і, зокрема, на ТЕЦ.

Основним робочим елементом градирні є зрошувальний пристрій. Вода після конденсаторів турбін подається на зрошувальний пристрій, де розподіляється на краплини, струмені або плівки. Вода у вигляді крапель, струменів і плівок стікає донизу, а назустріч їй рухається повітря через бокові отвори знизу витяжної башти (рис. 7.6). У процесі взаємодії з повітрям вода охолоджується в результаті конвективного теплообміну та часткового випаровування. Нагріте та насичене водяними парами повітря відводиться доверху через витяжну башту.

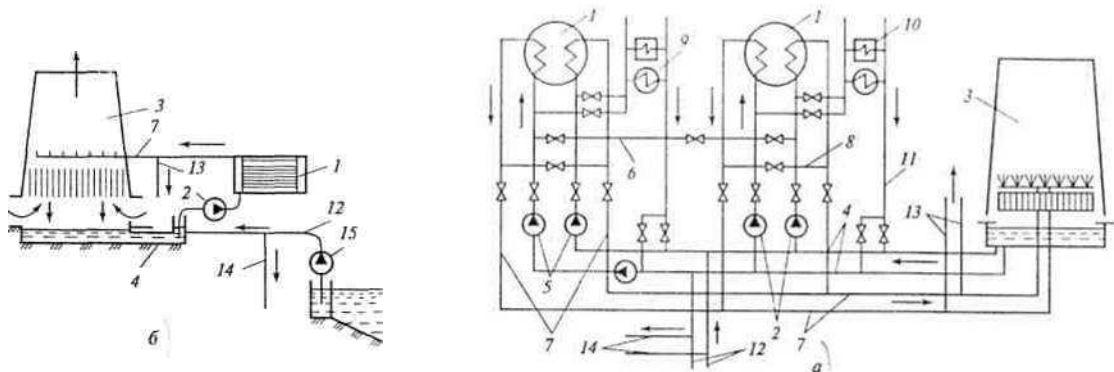


Рис. 7.6 – Оборотна система технічного водопостачання з градирнями:

а - схема трубопроводів технічної води

б - схема оборотного водопостачання

1 - конденсатори турбін; 2 - циркуляційні насоси; 3 - градирня; 4 - підвідні самотливні водоводи до циркуляційних насосів; 5 - напірні трубопроводи до конденсаторів турбін; 6 - перемичка між напірними трубопроводами до градирні; 8 - перемичка між зливними трубопроводами турбін; 9 - маслоохолоджувачі турбін; 10 - газо- та повітроохолоджувачі генератора; 11 - трубопровід скидної води від охолоджувачів газу і масла до підвідних водоводів; 12 - трубопроводи підживлення циркуляційної системи; 13 - трубопроводи продувки циркуляційної системи та подачі води в систему гідрозловидання; 14 - трубопроводи подачі води на водопідготовку; 15 - насоси додаткової води

За взаємним напрямком руху середовищ найбільше поширення в нашій країні отримали протиточні градирні з природною тягою і зрошувальними пристроями.

Вода потрапляє в градирню до зрошувального пристрою на висоті 10-20 м. Висота витяжної башти залежить від типорозміру градирні і може досягати 150 м, діаметр башти знизу 100 м, а вихідний діаметр 45-60 м. Площа зрошувального пристрою найбільш крупних градирень складає близько 10000 м².

Під витяжною баштою градирні міститься басейн глибиною 2 м для збирання охолодженої води. Воду з басейну циркуляційними насосами подають у головний корпус електростанції.

На великих станціях перевагу слід віддавати оборотним системам з охолодженням води в баштових градирнях (Рівненська атомна електростанція), в водосховищах-охолоджувачах (Хмельницька атомна електростанція), для невеличких станцій – з охолодженням води у вентиляторних градирнях або бризкальних басейнах. При використанні градирень охолоджена вода потрапляє у машинний зал станції, де встановлені циркуляційні насоси подачі води на конденсатори. У деяких випадках використовують змішані системи, коли в маловодні періоди додатково до прямоточної системи підключають водосховища, градирні, бризкальні басейни.

Для охолодження газу, повітря та масла застосовують конденсат, який циркулює в замкненому контурі й охолоджується водою в спеціальних теплообмінниках.

Оборотні системи охолодження теплоелектростанції характеризуються наступними показниками. Кількість охолоджуючої води, необхідної для відведення теплоти, для конденсації пари та інших потреб на конденсаційних електростанціях потужністю 2400 МВт складає 250-300 тис. м³/ч. При різниці температур нагрітої і охолодженої води 7-9°C в градирнях випаровується 1,2-1,5% води, краплинне віднесення вологи залежно від конструкції водоуловлювачів 0,2-0,5 %.

З метою скорочення кількості продувальних вод підвищують K_K води оборотних систем охолодження, що в свою чергу вимагає вдосконалення водно-хімічного режиму, використання інгібіторів корозії і накипеутворення, очищення води від завислих речовин і запобігання біологічним обростанням. Застосування ефективної стабілізаційної обробки підживлюючої і оборотної води дозволить повністю виключити необхідність продувки оборотних систем. Як показують розрахунки, для забезпечення безпродувочного режиму експлуатації оборотних систем K_K повинен дорівнювати 7 при краплинному винесенні з градирні 0,2% і $K_K=3,5$ при винесенні 0,5%.

Високий ступінь концентрації (упарювання) оборотної води окрім негативного впливу на експлуатацію оборотних систем призводить до значного сольового забруднення території ТЭС і найближчих до неї прилеглих територій (краплі вологи, що викидаються з градирні, є забруднювачами атмосферного повітря, ґрунту і поверхневого стоку). Наприклад, з краплинним віднесенням 0,5 % на конденсаційній станції потужністю 2400 МВт при солемісті води, що додається 500 мг/л викидається за 1 год близько 2,5 т різних солей при безпродувочному режимі і 1,2 т солей при роботі системи з продувкою 1%. Для усунення небажаних наслідків градирні обладнують водоуловлювачами, що дозволяють знизити винесення краплинної вологи з баштових градирень до 0,05%. Для усунення впливу оборотних систем водяного охолодження на навколишнє середовище застосовують також сухе охолодження (повітряно-конденсаційні установки) або комбіноване охолодження води. Рішенням проблеми припинення скидання продувальних вод з оборотних систем водяного охолодження є також повторне використання цих вод для технічних потреб станції. Так наприклад, на Новосибірській ТЕЦ-5, Київській ТЕЦ-6 продувочні води використовують для живлення котлів, на Харківській ТЕЦ-5 – для підживлення тепломережі.

Велика кількість стічних вод, які містять шкідливі речовини (як органічного, так і мінерального характеру), зумовлює потребу розробки ефективних методів захисту водоймищ від забруднення. З цією метою поряд з розро-

бкою ефективних методів очищення стічних вод застосовують безстічні схеми використання води на ТЕС.

Перспективним є застосування повітряного охолодження та оборотних систем з радіаторними охолоджувачами або комбіноване повітря-водяне охолодження води.

7.3. Підготовка води на ТЕС. Вимоги до якості води

Якість води природних джерел, так само як і вимоги, що пред'являються до якості різними споживачами дуже різноманітні. Оцінка якості води природного джерела з погляду вимог споживачів дозволяє вирішити питання про можливість його використання для певного споживача, а також встановити необхідність і характер обробки води на очисних спорудах.

Порівнюючи дані якості води природних джерел (одержані за наслідками аналізу) з вимогами споживачів визначають методи її обробки.

Як відмічалось раніше, на ТЕС воду витрачають на живлення і продувку котлів, охолодження конденсаторів парових турбін, масло- і повітроохолоджувачів, підшипників та інших механізмів, на золовидалення і т.п.

Основними показниками якості води систем оборотного водопостачання є концентрації завислих речовин, масел, нафтопродуктів, величини загального солевмісту, лужності, хлоридів, сульфатів, температури, рН і ін.

Методи обробки води і можливість використання її в системах оборотного водопостачання залежать, перш за все, від вимог, що пред'являються до якості води, використовуваної в цих системах.

Основні вимоги до якості охолоджуючої води зводяться до того, щоб вона мала температуру, що забезпечуватиме необхідну глибину вакууму в конденсаторі, не викликала при нагріванні утворення в системі охолодження відкладень різного типу (накипу) на внутрішній поверхні котлів, труб і не сприяла розвитку корозії та біологічних обростань. Окремі вимоги такі - карбонатна жорсткість повинна бути не більше ніж 5 мг-екв/л, вміст завислих

речовин допускається для коробчастих конденсаторів - 30–50мг/л, трубчастих – 100 мг/л, вміст сірководню – 0,5 мг/л, заліза – 0,1 мг/л.

Для виробництва з води пари застосовують парові котли різної продуктивності та різних параметрів, у першу чергу – тиску. Теплові електростанції з котлами високого і надвисокого тиску, на відміну від інших технічних споживачів води, є дуже вимогливими до її якості. Отримання водяної пари при високій температурі забезпечується в парових казанах різної продуктивності і різних параметрів (у першу чергу, тиску) за умов, коли окремі домішки живильної води, присутні навіть у самих незначних кількостях, можуть привести до аварійного стану котельних агрегатів і тривалого виходу їх з ладу.

Найбільш високі вимоги пред'являються до якості води, що використовується в основному енергетичному циклі (живильній воді). Вона повинна бути звільнена від завислих речовин, солей жорсткості та розчиненого кисню. Для котлів високого тиску її повністю звільнюють від кремeneвої кислоти та знесолюють (табл. 7.1).

Вимоги до якості оборотної води, що використовується у системах охолодження пари та допоміжного обладнання, а також підживлення тепломережі з закритою та відкритою системою водорозбору наведено в табл. 7.2.

На теплових електростанціях застосовують різні методи обробки води. Однак в основному всі вживані методи підготовки води можна розділити на *безреагентні* (фізичні) *методи* і *хімічні*, що вимагають використання різних хімічних реагентів.

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

Таблиця 7.1 – Вимоги до якості води парових котлів різних типів

| Показники якості води | Котли з тиском пари, кгс/см ² | | | | | |
|---|--|-------|----------|----------|----------|-----------|
| | 5-15 | 15-25 | 25-50 | 50-100 | 100-185* | 100-300** |
| Загальна жорсткість, мг-екв/л | 0,35 | 0,15 | 0,05 | 0,035 | 0,005 | 0,003 |
| Вміст кремнекислоти (за SiO_3^{2-}), мг/л | Не нормується | | | 0,02 | | |
| Вміст кисню, мг/л | 1 | 0,5 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | |
| Вільна вуглекислота, мг/л | сліди | | | 0,01 | | |
| Масла, мг/л | 10 | 5 | 2 | 1 | 0,5 | сліди |
| Вміст натрієвих з'єднань (за Na_2SO_4), мг/л | | | | | | |
| Вміст заліза (за Fe_2O_3), мг/л | – | – | – | – | 0,1 | 0,010 |
| Вміст міді (за CuO), мг/л | – | – | – | – | 0,005 | 0,005 |
| Нітратів та нітритів, мг/л | – | – | – | – | 0,102 | 0,102 |
| pH | – | – | ≥ 7 | ≥ 7 | 7-8,5 | 7-8,5 |

Примітка: * – котли барабанні, ** – котли прямоточні.

Вода для живлення парових котлів проходить спеціальну обробку для надання їй складу та властивостей у відповідність до вимог. Поповнення втрат живильної води на ТЕС здійснюється хімічно знесоленою водою або дистиллятом.

Хімічна підготовка води для живлення парових котлів включає декілька стадій:

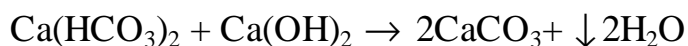
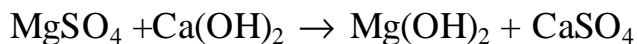
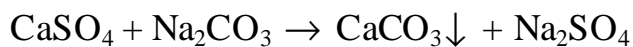
1-й етап – попереднє очищення води від механічних домішок методом осадження, що дозволяє видалити велику частину домішок, що знаходяться в грубодисперсному або колоїдному стані. На цій стадії для обробки води застосовуються відстійники, освітлювачі й механічні фільтри. Для поліпшення процесів осадження й освітлення оброблюваної води застосовують коагуляцію.

Таблиця 7.2 – Вимоги до якості води у теплоенергетиці

| Показники якості води | Якість води | | |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| | для підживлення тепломережі | | для систем охолодження |
| | закритої без водорозбору | відкритою з водорозбором | за рекоменда- цією УралВТІ |
| Температура, °С | Не нормується | | 25-28 |
| Запах, бали | 3 | 2 | 2 |
| рН | 6,5-8,5 | 6,5-8,5 | 6,5-8,5 |
| Жорсткість загальна, мг-екв/л | Не норм. | 7 | Не норм. |
| Жорсткість карбонатна, мг-екв/л | Не норм. | 7 | 3* |
| Солевміст, мг/л | Не норм. | 1000 | 5000 |
| Завислі речовини, мг/л | 20 | 1,5 | 20* |
| Нафтопродукти, мг/л | 5 | 0,1 | 5 |
| Хлориди, мг/л | Не норм. | 350 | Не норм. |
| Сульфати, мг/л | Не норм. | 500 | Не норм. |
| Нітриди, мг/л | Не норм. | 10 | Не норм. |
| Нітрати, мг/л | Не норм. | Не норм. | Не норм. |
| Залізо загальне, мг/л | 4 | 0,3 | 4 |
| Мідь, мг/л | Не норм. | 1 | Не норм. |
| Марганець, мг/л | Не норм. | 0,1 | Не норм. |
| Вільна вуглекислота, мг/л | Не норм. | Не норм. | Не норм. |
| Фосфор (за P_2O_5), мг/л | 2,5 | 3,5 (за PO_4) | 2,5 |
| Азот загальний, мг/л | 80 | – | 80 |
| Ванадій, мг/л | Не норм. | 10 | Не норм. |
| Нікель, мг/л | Не норм. | 0,1 | Не норм. |
| Фтор, мг/л | Не норм. | 0,7-1,5 | Не норм. |
| Миш'як, мг/л | Не норм. | 0,05 | Не норм. |
| ХПК, мг/л | Не норм. | 100 | Не норм. |
| БПК, мг/л | 15-30 | 3 | 15-30 |

Примітка: * - у підживлюючій воді.

2-етап - реагентне зм'якшування (первинне), коли з води видаляють основну масу солей тимчасової (карбонатної) і постійної (некарбонатної) жорсткості.



В процесі реагентного зм'якшування води утворюються завислі речовини, що складаються в основному з нерозчинних сполук солей жорсткості, що випадають в осад. Для видалення цих речовин застосовують освітлювачі й механічні фільтри.

Реагентним методом можна знизити загальну жорсткість води до 0,4-0,8 мг-екв/л. Чим вище температура води, яку обробляють, тим нищу жорсткість води можна отримати цим методом.

Крім того, в деяких випадках воду для живлення парових котлів високого і надвисокого тиску необхідно піддавати знекремненню, оскільки кремнієва кислота є основним компонентом складних силікатних відкладень (відкладення утворюються з катіонами кальцію, магнію та ін.). Глибина знекремнення живильної води для котлів залежить від їх робочого тиску, температури і конструкції. Вибір методу видалення кремнію з води залежить від вимог, що пред'являються до неї та економічних показників. Найчастіше застосовується магнезійне знекремнення.

3-етап - іонний обмін, коли видаляють частину солей жорсткості, що залишилася і, якщо потрібно, повне або часткове знесолювання води. Норми якості води для живлення котлів, особливо високого і надвисокого тиску, вимагають практично повного її знесолювання. В таких випадках необхідно застосовувати іонообмінні процеси Н- ОН-аніонування.

На першому (попередньому) етапі підготовки води виділяють такі найбільш характерні процеси:

- прояснення – зменшення каламутності, видалення колоїдних і завислих часток;

- знебарвлення – зменшення кольоровості;
- дезодорація – зменшення інтенсивності запаху та 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 такі процеси:

- зм'якшення – видалення солей кальцію та магнію, що зумовлюють жорсткість;
- знесолення – видалення з води розчинених солей;
- дегазація – видалення з води газів, у першу чергу, кисню та вільної вуглекислоти;
- стабілізаційна обробка води – хімічна обробка з метою зменшення корозійних властивостей води та запобігання випадінню солей.

7.4. Методи і споруди для підготовки води

7.4.1. Попереднє очищення води від механічних домішок

Для очистки води від колоїдних і грубо дисперсних домішок застосовують коагуляцію. В якості коагулянтів використовують реагенти $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ або FeSO_4 .

Процес вапнування здійснюють для зниження лужності вихідної води. При цьому одночасно відбувається зниження загальної жорсткості і сухого залишку.

До складу основного обладнання попередньої очистки входять: освітлювачі, напірні освітлювальні горизонтальні або вертикальні фільтри, реагентні господарства зі складами для приймання й зберігання реагентів і обладнанням для приготування й дозування робочих розчинів ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeSO_4 , CaO , Na_2CO_3 , флокулянта).

Основні характеристики освітлювачів, що застосовують для видалення з води завислих речовин, коагуляції і вапнування наведено у табл. 7.3, а загальний вигляд освітлювачів – на рис. 7.7.

Таблиця 7.3 – Основні параметри освітлювачів

| Марка освітлювача | Продуктивність м ³ /год | Максимальне навантаження | Об'єм, м ³ | Габаритні розміри | |
|-------------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|------------|
| | | | | Діаметр, мм | Висота, мм |
| ВТІ-63І | 63 | 78 | 76 | 4250 | 10200 |
| ВТІ-100І | 100 | 125 | 133 | 5500 | 10690 |
| ВТІ-160І | 160 | 200 | 236 | 7000 | 12247 |
| ВТІ-250І | 260 | 310 | 413 | 9000 | 13524 |
| ВТІ-400І | 400 | 500 | 650 | 11000 | 14889 |
| ВТІ-630І | 630 | 780 | 1240 | 14000 | 17492 |
| ВТІ-1000І | 1000 | 1250 | 2127 | 18000 | 19740 |

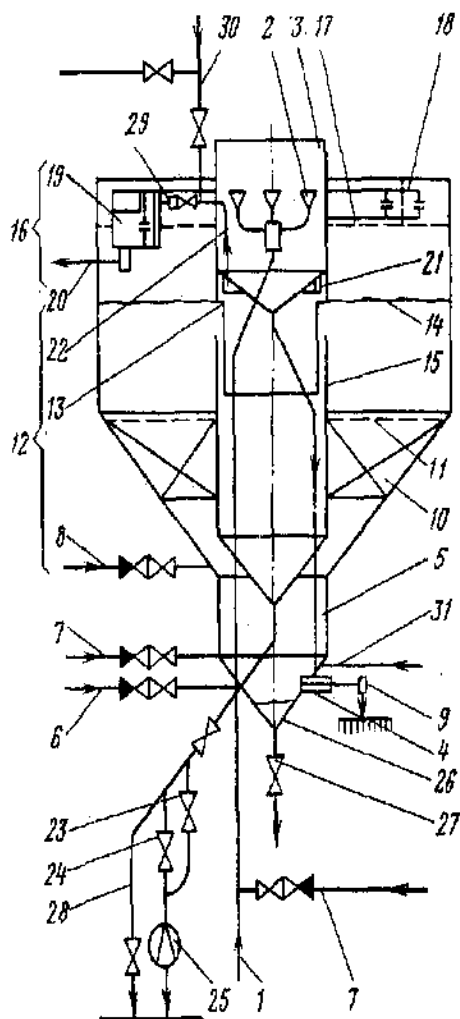


Рис. 7.7 – Освітлювач для вапнування води

1 - вихідна вода; 2 - розподільна система повітровіддільника; 3 - повітровіддільник; 4 - введення води в освітлювач; 5 - камера змішування; 6 - вапняне молоко; 7 - розчин коагулянту; 8 - розчин поліакриламід; 9 - регулюючий пристрій; 10 - вертикальні перегородки; 11 - ґрати; 12 - зона контактного середовища; 13 - шламоприймальні вікна; 14 - рівень зваженого шару; 15 - шламоуцільнювач; 16 - зона освітлення; 17 - верхні ґрати; 18 - жолоб; 19 - розподільний пристрій; 20 - вихід проясненої води; 21 - перфорований колектор; 22 - відведення води з шламоуцільнювача; 23, 24 - продувальні лінії; 25 - шайба витратоміру; 26 - грязьовик; 27 - періодична продувка; 28 - лінія спорожнення; 29 - дросельна заслінка; 30 - промивання колектора шламоуцільнювача; 31 - скидання промивальної води механічних фільтрів

Швидкість руху води через зважений шар в освітлювачах типа ВТІ приймають в діапазоні 1,34-3,57 мм/с залежно від його продуктивності. При хорошій роботі освітлювача прояснена вода не повинна містити більше 10 мг/кг твердої фази.

Згідно норм технологічного проектування ТЕС рекомендується встановлювати для попередньої очистки не менше двох освітлювачів, сумарна продуктивність яких вибирається з запасом 10% до розрахункової кількості проясненої води.

Для фільтрування води застосовують напірні однопоточні освітлювальні фільтри, завантажені подрібненим антрацитом фракціями зерен 0,6-1,4 мм.

Промивку освітлювальних фільтрів для видалення затриманих грубодисперсних домішок здійснюють зворотним током проясненої води по закінченні робочого фільтроциклу (1-2 рази на добу) з інтенсивністю 10-12 кг/(с·м²) і тривалістю спущування 20 хвил.

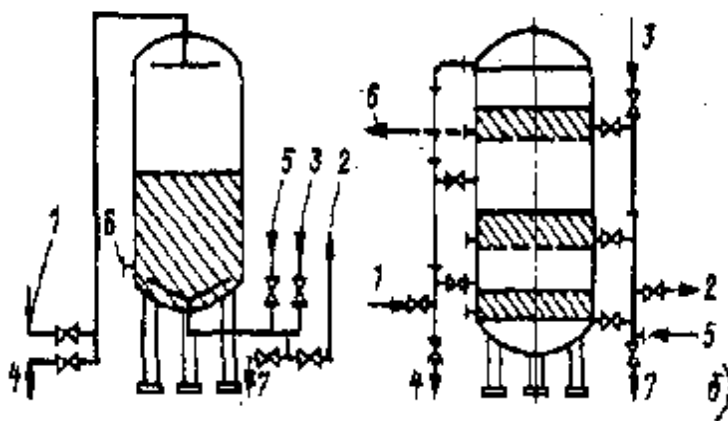


Рис. 7.8 – Схема однокамерного (а) та трьохкамерного (б) освітлювальних фільтрів:

1 — підведення води; 2 — вихід обробленої води; 3 — підведення промивочної води; 4 — вихід промивочної води; 5 — підведення стислого повітря; 6 — штуцер для гідровивантаження; 7 — спуск першого фільтрату

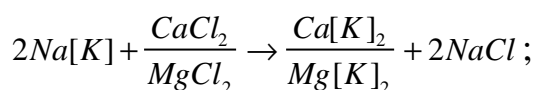
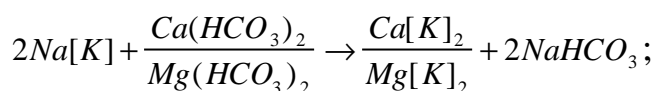
7.4.2. Обробка води методом іонного обміну

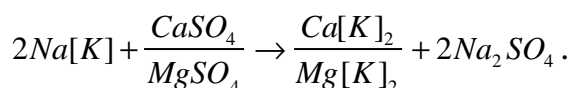
У технології водопідготовки для видалення певних іонів з води застосовують два процеси: катіонування - видалення катіонів та аніонування - видалення аніонів. Процеси катіонування води можуть мати самостійне значення (для зм'якшування води), тоді як процеси аніонування застосовують лише в комплексі з катіонуванням (у схемах знесолювання води).

Іонообмінні методи засновані на здатності різних речовин витягувати позитивні або негативні іони в обмін на еквівалентну кількість інших. Способи іонного обміну можуть застосовуватися в різних поєднаннях залежно від необхідної якості очищеної води. Вибір методу катіонування визначається у кожному конкретному випадку хімічним складом води, умовами роботи системи і техніко-економічним порівнянням варіантів. При зм'якшуванні води методом іонного обміну застосовують Na-катіонування, Н- і Н-Na-катіонування (паралельне, послідовне). З метою зм'якшування використовують катіони природного та штучного походження, що володіють здатністю обмінювати катіони натрію або водню на катіони жорсткості, що містяться у воді. До катіонітів штучного походження відносяться сульфоуглі, катіоніти КУ-1, КУ-2 та ін.

На більшості підприємств теплоенергетики для видалення з води солей жорсткості застосовують натрій-катіонітові фільтри. Процес Na-катіонування може бути як одноступеневим, так і двоступеневим. На першому ступені натрій-катіонування жорсткість води знижується до 0,1 мг-екв/л, а на другому – до 0,01 мг-екв/л.

При обробці води на Na-катіонітових фільтрах іони кальцію і магнію поглинаються іонітом, а у воду переходять іони натрію.

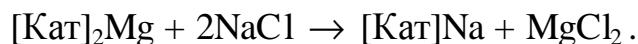
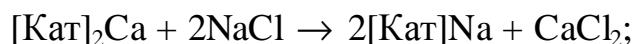




У процесі фільтрування іонообмінна смола цих фільтрів поступово насичується солями жорсткості і через визначений час ці фільтри необхідно регенерувати, тобто відновлювати їхню іонообмінну здатність. Для відновлення катіонів натрію через фільтр пропускають розчин повареної солі NaCl.

При цьому іони Ca і Mg, поглинені при зм'якшуванні 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 і регенераційний розчин рухаються в протилежних напрямках.

На рис. 7.9 наведено схему роботи Na-катіонитового фільтра

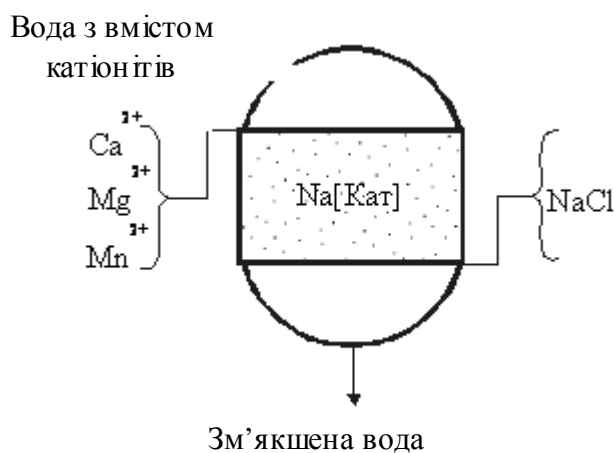


Рис. 7.9 – Схема работы Na-катионитового фильтра

У результаті регенерації Na-катіонітових фільтрів утворюються стічні води, що містять поварену сіль, а також солі кальцію і магнію ($CaCl_2$, $MgCl_2$). 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. Методи очищення цих стічних вод, на жаль відсутні. Тому їх без очищення скидають у каналізаційну мережу і вони потрапляють у водні об'єкти, забруднюючи їх цими солями.

При катіонітовому зм'якшуванні рН і лужність обробленої води залишаються без змін. При необхідності зменшити лужність води застосовують часткове зм'якшування води вапнуванням з подальшим Na-катіонуванням; Na-катіонуванням з підкисленням зм'якшеної води сірчаною кислотою або H-Na-катіонуванням. Змішуючи кислий фільтрат після H-катіонітових фільтрів з лужним фільтратом після Na-катіонітових фільтрів, можна отримати зм'якшену воду з різною лужністю.

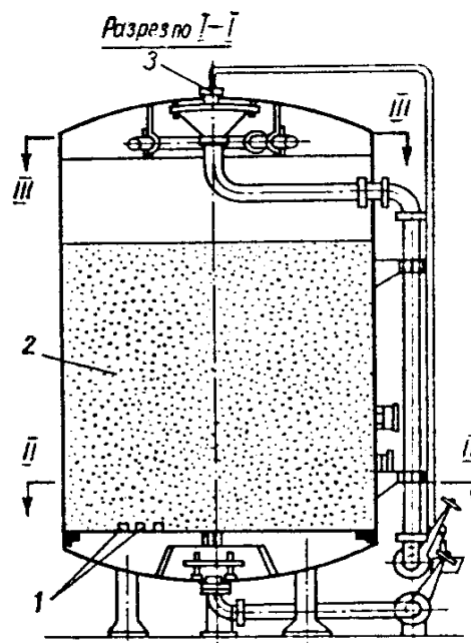


Рис. 7.10 – Na-катіонітовий фільтр конструкції Водоканалпроекта:
1 – дренажні ковпачки; 2 – катіоніт; 3 – розподільна воронка

Катіонітовий фільтр (рис. 7.10) являє собою циліндровий резервуар діаметром 1-3 м, в якому поміщається шар катіоніту. У верхній частині фільтру є пристрій у вигляді воронки, призначеної для розподілу зм'якшуваної і збору розпушуючої води. Висота шару катіоніту складає 2,2-4 м. Фільтри розраховані на робочий тиск до 6 атм. Швидкість фільтрування на катіонітових філь-

трах приймається в межах 5-25 м/ч. Відбір зм'якшеної води і промивання катіоніту здійснюється через ковпачковий дренаж.

Іонообмінний метод знесолювання води полягає в послідовному пропусканні води через Н-катіонітовий, а потім ОН-аніонітовий фільтри. У Н-катіонітовому фільтрі катіони, що містяться у фільтрованій солоній воді, головним чином, Ca^{2+} , Mg^{2+} і Na^+ , обмінюються на іон H^+ катіоніту. При пропусканні води після Н-катионитових фільтрів через анаіонітові фільтри аніони кислот, що утворилися, обмінюються на іон ОН. В якості анаіонітів застосовують іонообмінні смоли. Вуглекислий газ, що виділяється в процесі розкладання гідрокарбонатних солей видаляється в дегазаторі.

7.4.3. Спеціальні методи обробки води. Очистка від розчинених газів

Вода, що використовується в технологічних процесах на ТЕС, містить різні розчинені гази.

Розчинені у водних носіях гази можна розділити на ті, що хімічно взаємодіють з водою (CO_2 , NH_3 , Cl_2) і які не взаємодіють (N_2 , H_2 , O_2). Ці ж гази розділяють також на корозійно-активні (O_2 , CO_2 , Cl_2) й інертні (N_2 , H_2). Основною метою видалення з води розчинених газів є запобігання корозії обладнання. Кисень O_2 , азот N_2 і диоксид вуглецю CO_2 потрапляють у воду внаслідок контакту її з повітрям.

Найчастіше приходить видалити з води CO_2 , O_2 і H_2S . Ці гази належать до агресивних, що обумовлює або посилює корозію металів. Крім того, вуглекислота і сірководень агресивні по відношенню до бетону.

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

Існуючі методи дегазації води поділяють на *фізичні* та *хімічні*, основані на застосуванні хімічних реагентів. Для вилучення з води сірководню засто-

совують біохімічний метод з використанням окислювальної здатності мікроорганізмів.

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

Процеси видалення газів з води (*десорбція*) і розчинення газів у воді (*абсорбція*) підкоряються загальним законам масопередачі в системі рідина – газ і протікають до тих пір, поки не буде досягнуто рівноваги, що залежить від температури, тиску і концентрації в обох фазах.

Сутність фізичних методів дегазації полягає в наступному:

1. Вода, що містить видаляємий газ, парціальний тиск якого в повітрі близький до нуля, приводиться у зіткнення з повітрям, куди і переходить газ, що видаляється.
2. Створюють умови, при яких розчинність газу у воді становиться близькою до нуля.

За допомогою першого методу, тобто аерації води, звичайно видаляють вільну вуглекислоту, метан, сірководень, оскільки парціальний тиск цих газів у атмосферному повітрі близький до нуля.

Другий засіб застосовують при видаленні з води кисню, оскільки при значному парціальному тиску кисню в атмосферному повітрі аерацією води кисень з неї видалити не можливо. Для видалення кисню з води її доводять до кипіння, при якому розчинність газів у воді падає до нуля. Для цього або застосовують нагрівання, або зниження тиску (вакуумні або термічні дегазатори).

Дегазацію води в процесі підготовки води здійснюють на дегазаторах різних типів:

1. *Плівкові* – з різного роду насадками, що працюють за принципом протічності води, що дегазують і повітря, що подається вентилятором або що поступає за рахунок природної вентиляції;
2. *Барботажні* – з подачею повітря у воду через перфоровані повітророзпо-

дільні труби, пористі труби, пористі пластини;

3. *Пінні*, засновані на десорбції газів повітрям з пінного шару або шарів, що створюються в робочій зоні апарату.
4. *Вакуумно-ежекційні*, засновані на десорбції газів за рахунок вакууму, що виникає в потоці рідини при її ежектуванні;
5. *Вакуумні*, засновані на десорбції газів при створенні вакууму в робочій зоні апарату. З підігрівом або без підігріву оброблюваної води і застосуванням вакуумних пристроїв (насосів вакууму, пароструминних або водоструминних ежекторів).

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

У практиці водопідготовки найчастіше для глибокого видалення вільної вуглекислоти (CO_2), сірководню (H_2S) та ін. газів застосовують *плівкові дегазатори*, завантажені кільцями Рашига, керамічними або пластмасовими кільцями або з хордовою дерев'яною насадкою для збільшення поверхні контакту води, що аерується і повітря. Оброблювана вода тонкою плівкою стікає по контактному завантаженню зверху донизу, а знизу під контактну масу вентилятором нагнітається повітря.

Плівкові дегазатори працюють в умовах протитоку дегазованої води і повітря, що подається вентилятором, або без примусової подачі повітря. На рис. 7.11 показано плівковий дегазатор, який завантажений кільцями Рашига. Вихідна вода потрапляє у верхній відсік дегазатора, рівномірно розподіляється по площі на насадку, проходить її і зливається у піддон, із якого відводиться через гідрозатвор. Гідрозатвор не дає можливості виходити повітрю разом із водою. Над піддоном, куди вентилятором подається повітря, на висоті 600 мм знаходиться дірчаста перегородка, де розташовані кільця Рашига. Повітря після проходження насадки патрубками у плиті та по трубопроводу виходить назовні.

До *струменево-плівкових дегазаторів* без примусової подачі повітря належать контактні градирні з завантаженням зі шматків коксу або гравію,

де вихідна вода розподіляється і подається у верхню частину градирні, стікає, контактуючи з повітрям, зверху донизу послідовно проходячи всі яруси, заповнені контактним завантаженням. Такі деаератори використовують для часткового видалення вільної вуглекислоти при продуктивності установки до 50 м³/год.

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

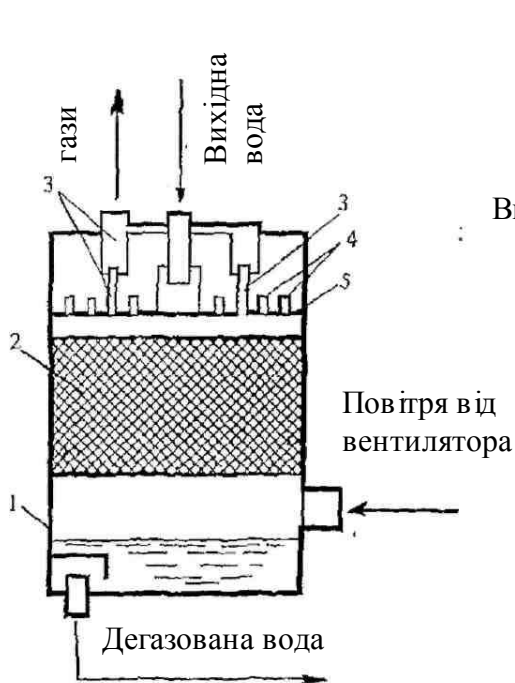


Рис.7.11 - Схема плівкового дегазатора:

1 — корпус; 2 — насадка з кільця Рашига; 3 — газівідвідний патрубок; 4 — зрошувальні патрубки; 5 — розподільна плита

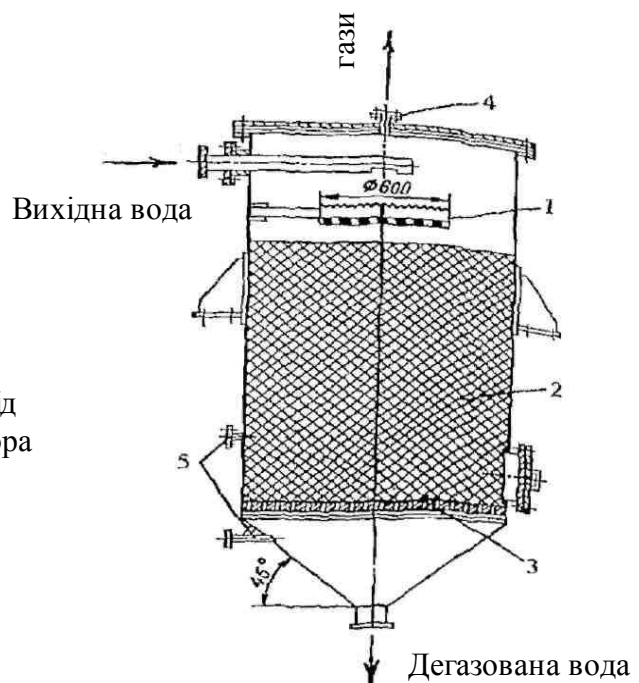


Рис. 7.12 - Схема вакуумного дегазатора:

1 — водорозподільна тарілка; 2 — насадка з кільця Рашига; 3 — дричасте днище; 4 — патрубок для відсосу газів; 5 — місця встановлення водомірних стекол

Дегазатори пінного типу є різновидом барботажних дегазаторів. Застосовують їх для видалення вуглекислоти при витратах до 100 м³/год. Основним елементом такого дегазатора є перфорована полиця з отворами не більше 6 мм, вздовж якої тонким шаром протікає вода, яка спінюється потоком повітря, що надходить через отвори. Кількість полиць (ярусів апарата) не більше 4-5, відс-

тань між полицями 150-200 мм, ефективність десорбції вільної вуглекислоти 96-97%. Інтенсивність подачі повітря 0,35-0,75 м³/м³ води.

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

Вакуумні дегазатори застосовують при необхідності одночасного видалення вуглекислоти та кисню або тільки кисню. Вакуумні дегазатори (рис. 7.2) виготовляють сталевими, круглими в плані, з корпусним днищем. Контактні насадки всередині апарату розташовують на дірчастому листі з отворами 15-20 мм. Воду подають у дегазатор за допомогою пристрою, що забезпечує тонке і рівномірне розподілення її по поверхні насадки, в якості якої найчастіше застосовують кільця Рашига. Для спостереження за рівнем води в дегазаторі встановлено водомірне скло. Парогазова суміш відводиться з дегазатору вакуумним пристроєм, в якості якого можуть бути використані вакуумні насоси, або парові чи водостуменеві ежектори. Найбільш повна дегазація води досягається розбризкуванням води у вакуумі з одночасним підігрівом.

Площу дегазаторів визначають на основі допустимої щільності зрошення, що в залежності від глибини дегазації і типу насадки коливається від 40 до 60 м³/(м²·год).

На ВПУ в теплоенергетиці широко застосовують засіб видалення з води вільної СО₂ методом аерації в декарбонізаторах.

Диоксид вуглецю, що утворюється в схемах ВПУ – є корозійно-активним. Він також бере участь в аніонообмінних процесах на сильно основному аніоніті і тим самим зменшує робочу ємкість. Тому в тих схемах ВПУ, де СО₂ утворюється за реакцією:



При Н-катіонуванні або підкисленні, його необхідно видаляти з води. Здійснюється це в спеціальних апаратах – декарбонізаторах – шляхом продувки води повітрям, яке подається вентилятором.

Декарбонізатор (рис.7.13) представляє собою колону, заповнену насадкою (дерев'яна, керамічні кільця Рашига та ін.) для подрібнення потоку води, що подається зверху на плівки, які стікають. Це збільшує поверхню контакту води і повітря. Повітря, що нагнітається вентилятором, рухається в насадці назустріч потоку води і потім разом із CO_2 , що виділився з води, виводиться через верхній патрубок. Витрата повітря приймається 20 м^3 на 1 м^3 води.

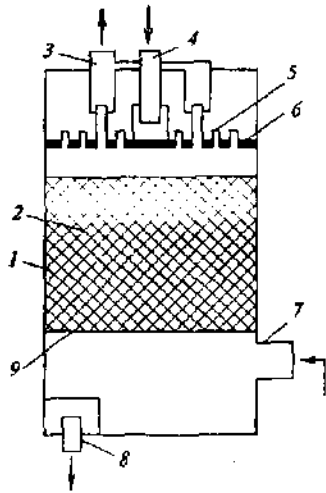


Рис. 7.13. Схема конструкції декарбонізатора

1 — циліндричний корпус; 2 — насадка; 3 — відведення газової суміші; 4 — підведення води; 5 — розподільні трубки для подачі води на насадку; 6 — верхній щит; 7 — підведення повітря; 8 — відведення декарбонізованої води; 9 — нижній підтримуючий насадку щит

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

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

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

Ефективна деаерація досягається при повному відведенні газів, що виділилися за рахунок безперервної вентиляції і відведення їх з деаератору. Газ

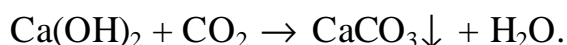
з деаератора відводиться разом із парою, яку називають випаром. Кількість випару чинить значний вплив на ефект деаерації. Для деаераторів підвищеного тиску кількість випару складає 2-3 кг пари на 1 т деаеруємої води.

У залежності від робочого тиску деаераторів, що застосовують на ТЕС відрізняють дегазатори:

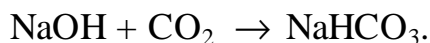
- атмосферні (ДА, $P_{\text{роб}} = 0,12$ МПа);
- вакуумні (ДВ, $P_{\text{роб}} = 0,0075-0,05$ МПа);
- підвищеного тиску (ДП, $P_{\text{роб}} = 0,6-1,2$ МПа).

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

Так, для видалення вільної вуглекислоти використовують вапно:

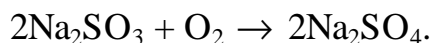


Зв'язування вільної вуглекислоти може бути досягнуто додаванням у воду їдкого натру

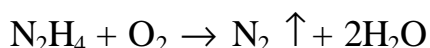


Знекиснення води можна досягти обробкою сульфідом натрію, гідразином N_2H_4 у вигляді гідразингідрату ($\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) чи гідразинсульфату ($\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$) або фільтруванням крізь легкоокислюючі речовини, наприклад, металева стружка оброблена сульфідом натрію або оксидом сірки.

Сульфід натрію при введенні його у воду окисляється розчинним у воді киснем до сульфату натрію

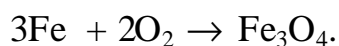


За допомогою гідразингідрату вдається досягти практично повного знекиснення води.



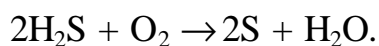
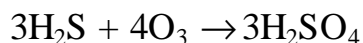
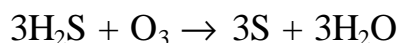
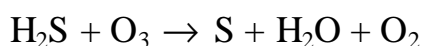
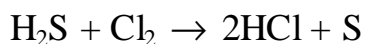
В останній час для знекиснення води застосовують електронно-обмінні та іонообмінні смоли.

При знекисненні води за допомогою сталевостружечних фільтрів воду фільтрують через шар сталевих стружок, при цьому кисень зв'язується згідно з реакцією



Видалення сірководню хімічними методами здійснюється при його вмісті у вихідній воді до 10 мг/л. Застосовують сильні окислювачі (хор, гіпохлорид натрію (NaClO), гіпохлорид кальцію (CaClO_2), озон, перманганат калію (KMnO_4))

При використанні в якості реагентів для видалення з води сірководню хлору, озону, процес описується наступними хімічними реакціями



На хід процесу окислення оказує вплив рН середовища. Збільшення рН призводить до зниження окислювальної здатності реагентів по відношенню до сірководню.

Недоліки хімічних методів дегазації води:

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

7.5. Стоки водопідготовчих установок та їх вплив на навколишнє середовище

При експлуатації ТЕС утворюється велика кількість стічних вод, забруднених різними домішками. Склад і кількість стоків визначається типом ТЕС, її потужністю, видом використовуваного палива, складом початкової води, схемою ВПУ та іншими чинниками. Залежно від типу використовуваного на ТЕС органічного палива, масел і змащувальних речовин, стічні води можуть містити у великій кількості нафтопродукти, масла, компоненти золи і шлаку і т.п. Забруднюючі домішки можуть знаходитися в стічних водах як в

розчиненому стані, так і у вигляді суспензій і емульсій.

Як було відмічено вище, на більшості діючих станцій для задоволення різних вимог до якості води, що споживається при виробництві електроенергії виникає необхідність її спеціальної фізико-хімічної обробки. Більшість існуючих схем підготовки води на ТЕС заснована на вживанні методів осадження, а також зм'якшування і знесолювання за допомогою іонного обміну. Експлуатація ВПУ пов'язана зі споживанням великих кількостей вапна, коагулянту, регенерантів (H_2SO_4 , NaOH , NaCl). На кожному етапі хімічної підготовки води утворюються стічні води й осад, значну частину яких скидають у каналізаційну мережу та водні об'єкти і тим самим наносять їм істотну екологічну шкоду.

У даний час на підприємствах теплоенергетики залежно від якості вихідної води і вимог до підживлюючої води застосовують різні схеми водопідготовчих установок (ВПУ). Як вже вказувалось, у загальному вигляді всі вони включають:

- попереднє очищення води (очищення від механічних домішок);
- додаткова або хімічна обробка води, що передбачає доведення якості води до вимог споживачів за жорсткістю, лужністю і загальному солевмісту.

У процесі хімічної підготовки води для живлення парових котлів утворюються декілька видів стічних вод:

- стічні води й осад (шлам) від освітлювачів (вертикальних відстійників) для реагентного зм'якшення води;
- стічні води від промивки механічних фільтрів;
- стічні води від спущування завантаження натрій-катіонітових фільтрів;
- засолонені стічні води від промивки (регенерації) натрій-катіонітових фільтрів (ці води забруднені солями жорсткості, хлоридами та іншими компонентами сольового змісту).

Основний об'єм хімічно забруднених стічних вод, що утворюються в процесі хімічної підготовки води для живлення парових котлів, становлять

стічні води від іонобмінного пом'якшення води, зокрема на натрій-катіонітових фільтрах.

У загальному об'ємі стічних вод ТЕС, що містять охолоджуючу воду конденсаторів парових турбін, стоки ВПУ складають 0,2-0,3%. Проте в балансі сольових скидань ТЭС частка солей, що надходять з ВПУ велика. Так, на установках продуктивністю 2000 м³/год із стічними водами скидається 1,5-2 т/год різних солей. Сольові скидання ВПУ містять нейтральні солі, кислоти і луги, що не володіють специфічними токсичними властивостями. Проте ці скидання призводять до істотного підвищення солевмісту водоймищ. Стічні води попереднього очищення містять недопал, шлам, грубодисперсні органічні речовини, сполуки заліза й алюмінію, гідроксид магнію, карбонат кальцію. Якісний і кількісний склад домішок таких вод залежить від якості вихідної води і вживаних методів її обробки.

При регенерації Н- і ОН-іонітних фільтрів витрачають розчини Н₂SO₄ і NaOH, тому і скидні води мають відповідно кислу або лужну реакції. Н-катіонітові фільтри I ступеня скидають до 75% усіх кислих вод, а решту кількості скидають Н-катіонітові фільтри II-ступеня. Стічні води після регенерації Na-катіонітових фільтрів мають нейтральну реакцію середовища. Вони містять в основному хлориди натрію, кальцію і магнію. Причому хлориди натрію (NaCl) складають 70-75% від загального солевмісту.

Узагальнені дані з солевмісту стічних вод іонообмінних фільтрів наведено у табл. 7.3.

Таблиця 7.3 – Приблизний солевміст стічних вод іонообмінних фільтрів ВПУ

| Показники | Стічні води | | |
|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| | Na-катіоні- тових фільтрів | Н- катіоні- тових фільтрів | ОН-аніонітних фільтрів |
| Максимальний солевміст, г/л | 50–70 | до 50 | 20–60 |
| Середній солевміст, г/л | – | 0,5–5,5 | 1,4–1,6 |
| Середня кислотність % | – | 0,3–0,4 | – |
| Середня лужність % | – | – | 0,5-0,7 |
| Загальна жорсткість, мг-екв/л | до 100 | 35–45 | – |

З табл. 7.3 видно, що хімічний склад регенераційних стічних вод характеризується високим солевмістом і великою загальною жорсткістю.

Стоки ВПУ в середньому складають 3,5% загальної кількості оброблюваної води. Створенню безстічних ВПУ перешкоджають дві обставини – 1) присутність в стічних водах солей жорсткості; 2) великий об'єм стічних вод. Утилізація або ліквідація мінералізованих стоків є найбільш складною проблемою створення ТЕС без скидання стічних вод.

Забороняється скидання таких забруднених стічних вод у водні об'єкти. Запобігти забрудненню водоймищ можна шляхом створення замкнутих систем оборотного водопостачання, раціональної технології, максимального використання очищеної води в системах оборотного і повторного водопостачання.

У даний час обробці стоків ВПУ, що характеризуються широким діапазоном рН (від 0,5 до 13) і великою кількістю солей, що скидаються приділяється велика увага. Утилізація мінералізованих стоків є дуже складною проблемою. Постійно ведуться розробки в області зменшення кількості солевих скидів від установок хімічної підготовки води, розробляються ефективні методи й схеми обробки стічних вод, що дозволять скоротити скидання стічних вод і солей у каналізаційну мережу й відповідно у водні об'єкти.

Основні завдання в області зменшення стічних вод водопідготовчих установок зводяться до:

1) раціоналізації існуючих методів і схем підготовки води на ТЕС з метою зменшення витрат вживаних реагентів, а це означає і кількості домішок, що скидають;

2) упровадження нових практично безреагентних методів підготовки води.

Значно скорочується кількість стічних вод і при заміні сірчаної кислоти на соляну. Це відноситься як до натрій-катионітових фільтрів, так і до Н-катионітових. Скорочення кількості солей і стічних вод, що утворюються при розпушуванні, промивці й регенерації іонітних фільтрів, може бути досягну-

то в результаті повторного використання стічних вод, застосування ступенчато-протиточної та послідовної регенерації.

Скорочення кількості сольових скидань може бути досягнуто як вдосконаленням діючих технологічних схем підготовки води і повторним використанням стоків у циклі водопідготовки, так і застосуванням інших способів очищення води, стічних вод, що мають меншу кількість.

Для захисту водоймищ від скидань різних домішок з промислових підприємств, у тому числі і з ВПУ ТЕС, останніми роками зростає увага до безреагентних методів знесолювання води. До найбільш розроблених до теперішнього часу методів належать метод електрокоагуляції, мембранні методи (ультрафільтрація, зворотний осмос і електродіаліз), методи дистиляції.

На даний час разом з розробкою ефективних методів очищення стічних вод ведуться роботи з перебудови ТЕС на замкнені системи водопостачання, зокрема оборотні системи охолодження конденсаторів парових турбін, що працюють при підвищених коефіцієнтах упарювання води. Припинення скидання продувальних вод або їх значне скорочення матиме важливе значення для захисту водоймищ від забруднення. Проте створення замкнутих систем водяного охолодження або систем з мінімальним скиданням води вимагає вирішення ряду питань, включаючи вдосконалення водно-хімічного режиму систем, застосування інгібіторів утворення накипу і корозії, очищення води від завислих речовин і запобігання біологічним обростанням системи.

Контрольні запитання

1. Основні споживачі води на ТЕС, їх характеристика.
2. Наведіть схему конденсаційної електростанції.
3. Системи охолодження конденсаторів парових турбін.
4. Основні етапи хімічної підготовки води для живлення парових котлів.
5. Які вимоги пред'являються до якості води, що використовується в оборотних системах технічного водопостачання.
6. Вимоги до якості води для живлення котлів різної конструкції та різного тиску.
7. Основні технологічні процеси і споруди, які використовуються при підготовці води.

8. Від чого залежить вибір способу обробки води?
9. Завдання попередньої очистки води.
10. У чому полягає сутність технології іонообмінної підготовки води?
11. Як здійснюється процес регенерації іонітів?
12. З якою метою організується очистка води від розчинених газів?
13. Принципи очистки води від розчинених газів та типи дегазаторів.
14. Які реагенти використовують для хімічного зв'язування розчинних у воді O_2 і CO_2 ?
15. Основні категорії стічних вод, які утворюються при експлуатації підприємств теплоенергетики.
16. Способи утилізації регенераційних розчинів.
17. В яких напрямках ведеться вдосконалювання схем водопідготовчих установок?
18. Перспективні методи обробки води на ТЕС.

Розділ III

ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО ПІДПРИЄМСТВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ

8.1. Споживачі води на підприємствах чорної металургії

Чорна металургія належить до найбільш значних споживачів води. Металургійні заводи займають друге місце після підприємств теплоенергетики і споживають до 20% загального водоспоживання всіх галузей промисловості країни (підприємства теплоенергетики – 25%).

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

Металургійні комбінати з повним циклом мають складне водне господарство, що містить понад 30 оборотних систем, оснащених потужними насосними станціями, регулюючими ємкостями, спорудами з очищення й охолодження води. Воно повинно безперебійно забезпечувати споживачів водою належної якості і у необхідній кількості, забезпечувати повне очищення виробничих стічних вод для їх повторного використання у виробництві.

Металургійні заводи займають площі в десятки квадратних кілометрів. Споживання води на заводі з повним металургійним циклом доходить до 240-300 м³ на 1 т чавуна. Вимоги до якості води диктуються технологією виробництва. Показниками, що лімітуються, є: температура води, вміст зважених речовин, їх дисперсність, карбонатна жорсткість, солевміст.

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

- 1) споживачі, що використовують чисту воду, вміст зависі в цій воді – до 50 мг/л, солі тимчасової жорсткості 1-3 мг-екв/л, температура 28-32°C. Це коксові й доменні печі, нагрівальні печі прокатного виробництва, мартенівські і електроплавильні печі, конвертери, конденсатори на ТЕС, пароповітродувні станції (ПВС), устаткування компресорних і кисневих станцій;
- 2) споживачі, що використовують воду з тимчасовою жорсткістю не більше 0,5-1 мг-екв/л. До цих споживачів належать установки безперервного розлиття сталі (охолодження кристалізаторів) і охолодження металу безпосередньо поливанням (душируючі установки);
- 3) споживачі, що використовують воду зі вмістом зависі 200-300 мг/л, решта вимог аналогічна вказаним в п.1. до них належать установки з очищення забрудненого газу доменного, сталеплавильного й агломераційного виробництва;
- 4) споживачі, що не пред'являють вимог до температури та солевмісту і мають занижені вимоги до наявності завислих речовин. Цю воду використовують для транспортування відходів виробництв (окалини, золи та шлаків);
- 5) споживачі, що не належать безпосередньо до металургійного виробництва, але пред'являють завищені вимоги до якості води. Цю воду найчастіше використовують у вентиляційних системах, системах для приготування пари та системах господарчо-питного водопостачання.

8.2. Системи виробничого водопостачання металургійних підприємств

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

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

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

Оборотні схеми стають єдино можливими при недостатніх потужностях водних джерел і за наявності в оброблюваній воді токсичних речовин, очищення від яких до ГДК водоймища ускладнене. Схема з послідовним використанням води доцільна при невеликих відстанях між підприємствами, що скидають і використовують відпрацьовану воду. При цьому відпрацьована вода може піддаватися охолодженню й очищенню або передаватися наступному споживачу без такої обробки. Застосування замкнених схем водопостачання підприємств чорної металургії є оптимальним вирішенням питань організації водного господарства, оскільки при цьому виключається забруднення водних джерел і досягається майже повне використання у виробництві корисних відходів, отриманих із стічних вод. Безстічні схеми дозволяють використовувати у виробничому водопостачанні всі стоки, що відводяться з території підприємства, скоротивши до мінімуму забір свіжої води з джерела водопостачання.

Найбільш крупними споживачами води, а отже і джерелами утворення значної кількості забруднених стічних вод (до 90% загальної кількості) на

металургійних підприємствах, є газоочистки різних металургійних виробництв, а також стани гарячої прокатки листів. Очистка стічних вод на металургійних заводах вирішується самостійно для окремих виробництв.

Система виробничого водопостачання металургійного заводу (рис.8.1) має декілька оборотних циклів для кожного цеху, що відрізняються один від одного якістю води та потрібним напором у мережі. Кількість свіжої води коливається від 5 до 8%. Основні цехи повинні отримувати воду безперервно, тобто обов'язкове дублювання ліній мережі з подачею по кожній повних розрахункових витрат води. До 75% води використовують на охолодження конструктивних елементів доменних, сталеплавильних, нагрівальних пічок, конденсацію пару тощо. Ця вода тільки нагрівається. Вода для охолодження обладнання і продукції, а також транспортування механічних домішок нагрівається та забруднюється, кількість її доходить до 22%.

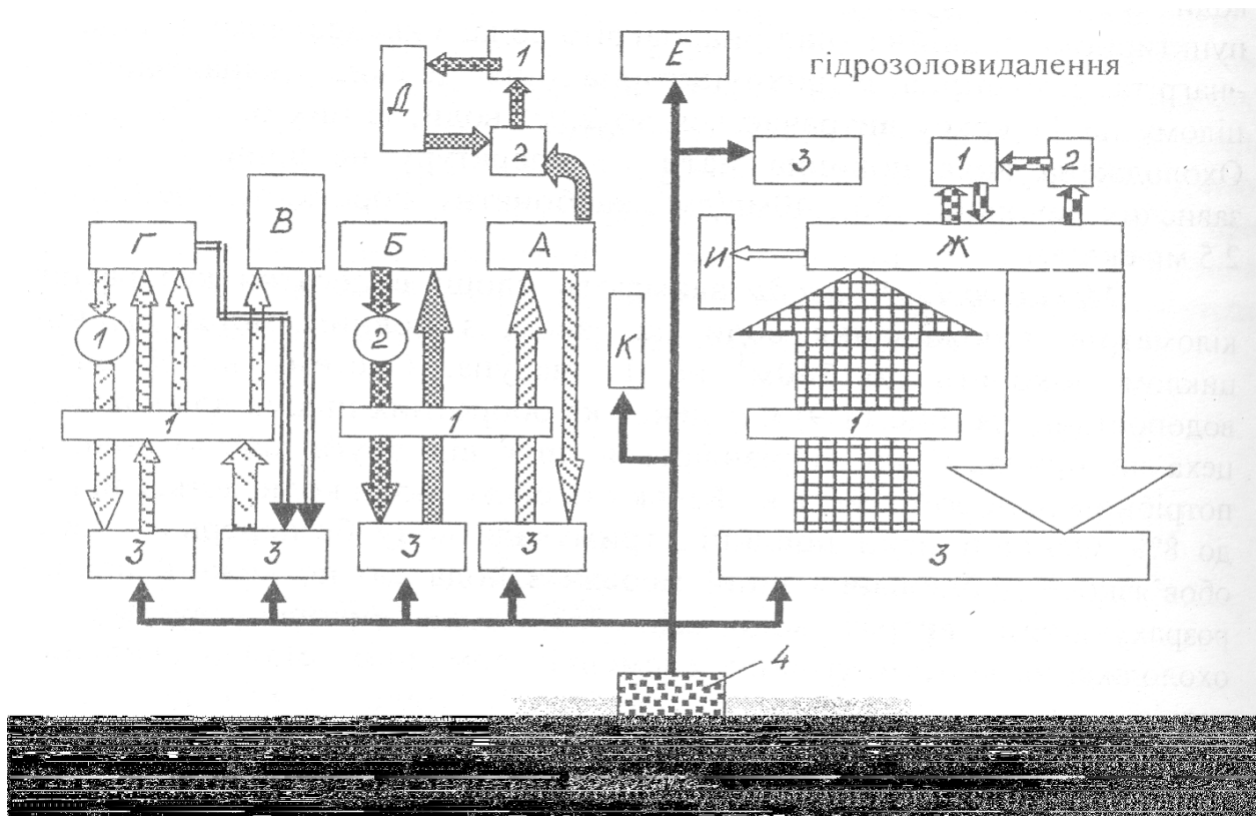


Рис. 8.1 - Схема оборотного водопостачання металургійного заводу:

А - доменний цех; Б - газоочистка; В - сталеплавильний цех; Г - прокатний цех; Д - розливочні машини; Е - коксохімічний цех; Ж - ТЕЦ і пароповітряна станція; З - цех вогнеупорів; И - хімоводоочистка; К - інші цехи; 1 - насосні станції; 2 - відстійник; 3 - бризкальні басейни; 4 - насосна станція першого підйому

8.3. Збагачувальні фабрики руд і нерудних копалин

Корисні копалини в більшості випадків підлягають збагаченню. При цьому здійснюється відокремлення з гірничої маси порожньої породи й шкідливих домішок, а також розділення корисних компонентів на ряд продуктів, найбільш придатних для подальшої переробки. Тому перед поданням руди на металургійні підприємства для наступних металургійних переробок ця сировина підлягає переробці з метою збагачення, тобто отримання продукту з великим вмістом цінних компонентів. Щоб видалити порожню породу, здобуту руду направляють на *збагачувальні фабрики*. Теж саме стосується і вугілля, тільки в цьому випадку ці підприємства звуться вуглефабриками.

Збагачувальні фабрики є найбільшими споживачами води вугільної промисловості. На даний час біля 95% вугілля збагачують з використанням мокрих способів. Збагачувальні фабрики, як правило, працюють за оборотним циклом водопостачання.

Збагачення корисних копалин у більшості випадків складається з подрібнення, таракотіння, здрібнювання, промивки, а також власно збагачення та збезводнення.

На збагачувальних фабриках, як правило, використовують велику кількість води для промивки руди та розділення складових частин руд, а також для гідротранспортування руди та пустої породи.

У залежності від виду, складу, властивостей руди збагачення здійснюють різними методами: гравітацією, магнітною сепарацією або флотацією.

У залежності від прийнятих методів збагачення використовують від 5 до 9 м³ вод на 1 т руди. Вода не повинна мати каламутність більше 30-50 мг/дм³. Система водопостачання, як правило, оборотна з відстоюванням води в ставках- прояснювачах (що також називають хвостосховищами або шламо-накопичувачами). Приблизно 85% води використовують на поглинання і транспортування матеріалів.

8.4. Водопостачання агломераційної фабрики

Агломераційні фабрики призначені для переробки пиловидної руди і пиловидних матеріалів доменних, сталеплавильних цехів, окалини від прокатних цехів у ошматкований матеріал для завантаження в доменну піч.

На агломераційних фабриках руда спікається за спеціальною технологією. Одержання агломерату досягається тепловими процесами з добавкою до руди вапняку, коксу тощо. При цьому досягається ошматкування руди та видалення частини шкідливих домішок, що утримуються в руді. Продукція – руда у вигляді шматків або окатишів є основною сировиною для доменних печей, в яких виплавляють чавун.

Сумарне споживання води для різних аглофабрик коливається від 3,5 до 6,8 м³ на тонну агломерату.

8.5. Водопостачання доменного цеху

Продукцією доменного виробництва є чавун. Чавун виплавляють у безперервно діючих доменних печах. Домна являє собою агрегат висотою до 80-100 м. Найбільш крупна доменна піч на Україні об'ємом 5 тис. м³ працює в Кривому Розі.

У доменну піч зверху безперервно за допомогою спеціальних пристроїв конвеєрного типу завантажуються шихта (вихідний матеріал для виробництва чавуна, до складу якого входять: залізна руда у вигляді агломерату або окатишів, кокс, вапняк та інші добавки). Високий температурний режим створює умови для плавки металу. У міру плавки, розплавлений метал і шлак опускається донизу доменної печі. Розплавлений метал (чавун) відводиться знизу періодично, у спеціальні чавуновозні ковші.

Чавун у рідкому вигляді направляють для подальшої переробки у сталеплавильне виробництво. Частину чавуна направляють на машини для розлиття чавуна та отримують готову продукцію у вигляді чавунних чушок, які є вихідним продуктом для машинобудівельних заводів, що не мають свого власного виробництва чавуну.

У доменному цеху воду витрачають на зволоження шихти, охолодження доменних печей і арматури повітрянагрівачів, очистку доменного газу, грануляцію шлаку, охолодження чавуну на розливальних машинах і гідроприбирання підбункерних приміщень.

Напір води в мережі у доменних пічок дорівнює 45-70 м. Система водопостачання – оборотна, при якій вода від холодильників пічок і арматури водонагрівачів (температура до 800°C) потрапляє в приймальний резервуар і потім на охолодження. На 1т чавуну витрачається до 24 м³ води, в тому числі свіжої 3-4%. При охолодженні чавуну в розливальних машинах до 20% води випаровується, вода насичується шматками ламаного чавуну та вапна. Тому перед охолодженням воду спочатку відстоюють у відстійнику. Для доменних печей і повітрянагрівачів повинна забезпечуватись безперервна подача охолоджуючої води, оскільки навіть тимчасове припинення подачі води може спричинити аварію, прогар конструкції доменної печі. Для цього передбачається окрім робочих, не менш двох резервних насосів у відповідності до [10]. Кількість трубопроводів для підведення і відведення води повинна бути не меншою за два. Кожен з водоводів розраховують на пропуск 100% витрати води.

Охолодження доменних печей

Для охолодження доменних печей застосовують водяне та випарне охолодження. При охолодженні елементів доменних печей водою відвід тепла здійснюється за рахунок нагріву води, у наслідок чого тимчасова жорсткість розкладається відповідно до рівняння вуглекислотної рівноваги з утворенням малорозчинного карбонату кальцію. Карбонат кальцію (CaCO₃), що утворюється випадає на теплонавантажених поверхнях і перешкоджає теплообміну, тобто ефективному охолодженню доменних печей. Оскільки теплопровідність CaCO₃ у десятки разів менша ніж теплопровідність металу, охолодження елементів погіршується, що призводить у деяких випадках до виходу їх із строю внаслідок прогару. Витрати охолоджуючої води на 1 доменну піч коливаються від 2 до 3 тис. м³/год. Вода в процесі випаровування

тільки нагрівається і не забруднюється механічними або хімічними домішками.

Система водяного охолодження доменних печей, як правило, організується по оборотній схемі з підживленням свіжою технічною водою, з продувкою в кількості до 5% від витрати циркулюючої в системі води. При водяному охолодженні доменних печей утворюються умовно чисті стічні води, що несуть тільки термальне забруднення.

Сутність випарного охолодження полягає в тому, що замість звичайної води для охолодження доменних печей застосовують пароводяну суміш. У порівнянні з водяним охолодженням при випаровувальному охолодженні використовується в 60 разів менше води, через більш інтенсивний відбір тепла. Але при цьому з'являється проблема утворення щільних сольових (карбонатних) відкладень на всіх теплонавантажених поверхнях. При випаровувальному охолодженні інтенсивність сольових відкладень у сотні разів вище, ніж при водяному охолодженні. В зв'язку з цим система випаровувального охолодження повинна підживлюватись хімічно очищеною або глибоко зм'якшеною водою.

У процесі охолодження теплонавантаженого елемента (рис. 8.2) вода випаровується і у вигляді пароводяної суміші піднімається в бак-сепаратор, де здійснюється часткова конденсація пару з утворенням води. Вода із бака опускається до теплонавантаженого елемента, тобто відбувається циркуляція води - іноді гравітаційна (природна), а іноді примусова (за допомогою циркуляційного насоса). Вода в системі випаровувального охолодження, звичайно, не повинна мати солей жорсткості та мати корозійних властивостей.

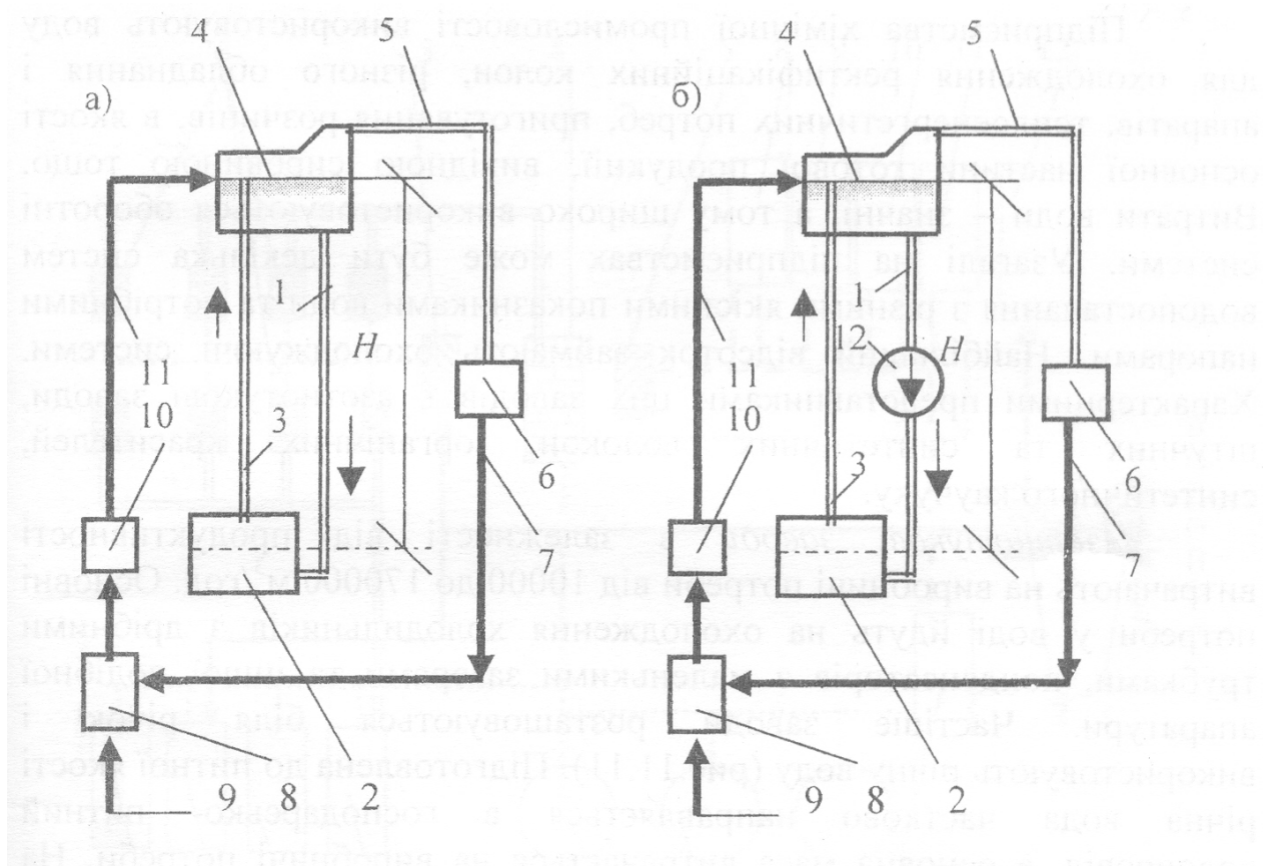


Рис. 8.2 - Схеми випарувального охолодження металургійних пічок:

*а - з природною циркуляцією води; б - з примусовою циркуляцією води;
 1 - трубопровід охолоджуючої води; 2 - піч; 3 - трубопровід пароводяної
 емульсії; 4 - бак-сепаратор пару; 5 - паропровід до споживачів пару;
 6 - споживачі пару; 7 - трубопровід конденсату пару; 8 - хімводоочистка;
 9 - подача води з джерела; 10 - насосна станція; 11 - подача зм'якшеної во-
 ди; 12 - циркуляційний насос*

Вода від охолодження доменної печі (“умовно чиста”) у процесі вико-
 ристання тільки нагрівається і не забруднюється. Кількість стічних вод при
 водяному охолодженні складає 15-20 м³ на 1 т чавуна, що виплавляється, при
 випарному охолодженні – 5-10 м³. Температурний перепад складає 7-8 °С.

8.6. Водопостачання сталеплавильного виробництва

Сталь виробляють з чавуну одним з наступних способів: киснево-конверторний, мартенівський та електросталеплавильний.

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

Конверторне виробництво

У киснево-конверторних цехах воду витрачають на охолодження фурм, зрошення й охолодження газів, на очистку газів та інші потреби. Залежно від способу охолодження конвертору, відведення й очистки газів, що відходять витрати води складають від 5 до 13,5 м³/т сталі, яку виплавляють. З цієї кількості приблизно 35% води, що витрачається не стикається з продуктом і не забруднюється, а тільки нагрівається, що дозволяє використовувати її повторно. Решта води стикається з газами, що відходять, забруднюється частками пилу і потребує належної очистки для можливості її повторного використання чи скиду у водойму.

Мартенівське виробництво сталі

Мартенівське виробництво сталі це найбільш традиційний і найбільш поширений спосіб. Однією з основних особливостей цього процесу є те, що замість вапна використовують вапняк (CaCO₃). Окрім цього, у порівнянні з конверторним виробництвом – цей процес значно довший і складає до 10 годин та більше. При виплавці сталі цим способом утворюється велика кількість газів, очистку яких здійснюють мокрим засобом.

При водяному охолодженні елементів мартенівської печі загальна витрата води на виплавку 1 т сталі складає 10-15 м³. Водяне охолодження мартенівських печей має цілий ряд недоліків, основним з яких є велике водоспоживання та невеликий строк служби водоохолоджуючих елементів через прогар у результаті відкладень солей та завислих речовин.

Застосування випарного охолодження мартенівських печей дозволило збільшити строк служби водоохолоджуючих елементів у 4-6 разів у порівнянні з водяним охолодженням, загальна витрата води на виплавку 1 т сталі знизилася до 1-0,3 м³. Система випаровувального охолодження мартенівських печей може бути виконана як за схемою з природною циркуляцією, так і за схемою з примусовою циркуляцією.

8.7. Установки безперервного розлиття сталі

Готову сталь у рідкому вигляді подають на УБРС, де її розливають у спеціальні форми, охолоджують і вона твердіє. Заготовки отримують певної форми: сляби – це заготовка для виробництва листової продукції та блюми – це заготовки, з яких виробляють рейки та балки.

Вода в УБРС витрачається на охолодження кристалізаторів, обтискаючих роликів, рольгангів, тягнучих клітей, газових різаків, охолоджувачів гідравлічних систем, на охолодження злитка (вторинне охолодження) та для гідротранспорту окалини. Звичайно передбачається три роздільні системи водопостачання: охолодження кристалізаторів, охолодження машин і вторинного охолодження. Для охолодження кристалізаторів води використовується 15 м³/т сталі, що розливається, тиск 0,8-1 МПа. Вода в кристалізаторах контактує зі стінками, які в свою чергу стикаються зі злитком, температура поверхні злитка на виході з кристалізатора досягає 1100-1200°C. Тому в цій системі пред'являються самі високі вимоги до якості охолоджуючої води.

8.8. Водопостачання прокатних цехів

Технологічний процес прокатки є завершальною стадією металургійного виробництва. Вихідним матеріалом для прокатки є злитки з квадратним або прямокутним поперечним перерізом. Кінцеву продукцію складає прокат різного сортаменту і призначення: рейки, балки, швелери, товста й тонка листова сталь, профілі спеціального призначення.

Виробництво гарячого прокату належить до найбільш водоемких виробництв на металургійному заводі. Для отримання листової продукції використовують заготовки у вигляді слябів товщиною 20 см, довжиною до 10 м і шириною 1-1,5 м.

На кожну операцію прокатки подають воду в кількості: на кожну чорнову кліть до 1000 м³/год, а на кожну чистову кліть 500-600 м³/год. На ділянці охолодження смуги витрати води досягають до 2000 м³/год, на моталках – 1000-1500 м³/год.

У випадку виробництва тонкого листа цех має довжину більше 1 км. Загальні витрати води для такого цеху в брудному циклі досягають 30 тис. м³/год і в умовно-чистому циклі – 20 тис. м³/год.

У цехах гарячого прокату воду використовують для охолодження елементів нагрівальних печей, охолодження обладнання стану (валків і підшипників валків, рольгангів, роликів, повітряохолоджувачів), охолодження смуги металу, що прокочують і моталок, для гідрозбивання та гідрозмиву окалини.

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

Особливістю систем водопостачання станів гарячого прокату є наявність агрегатів, які потребують для своєї роботи води різної характеристики (за вмістом механічних домішок).

Найбільш жорсткі вимоги пред'являють механізми гідрозмиву окалини, що обумовлено особливими умовами роботи. Метал, що надходить на прокатний стан з нагрівальних печей у процесі нагрівання окисляється та покривається шаром окалини. Для зняття окалини з поверхні прокатоного металу застосовують систему гідрозмиву окалини. Воду подають на лист зверху та знизу під тиском через спеціальні форсунки. Воду для систем гідрозмиву окалини очищують за спеціальною технологією, для того, щоб концентрація завислих речовин була знижена до величини меншій за 20 мг/л. Недотриманість цих вимог призводить до інтенсивного абразивного зносу всіх елемен-

тів системи, в першу чергу насосів високого тиску і форсунок. Знос форсунок призводить до зниження ефективності видалення окалини з поверхні металу й отриманню неякісної прокатної продукції.

Для охолодження валків, роликів, рольгангів і пил гарячої й холодної різки особливі вимоги не пред'являють. Звичайно подають оборотну воду брудного циклу окалиновміщуючих стічних вод, що пройшла двохступеневу очистку й охолодження на градирнях.

Холодний прокат здійснюють з виробів, отриманих на станах гарячої прокатки шляхом витягування (деформації) у холодному вигляді. Завдяки дуже великим стисненням з використанням мастильно - охолоджуючої рідини і технологічних змазок, вдається здійснити необхідну деформацію металу.

8.9. Очистка та використання стічних вод металургійних підприємств

8.9.1. Стічні води гірничорудних підприємств

Руду добувають відкритим (кар'єри) і закритим засобами (шахти).

На Україні її здобувають у шахтах і тільки в Кривому Розі та в Росії існує добування руди відкритим способом.

У процесі здобування руди шахтним способом, утворюються *шахтні води*, що відкачують на поверхню та скидають у поверхневі водні об'єкти. Ці стічні води забруднені завислими речовинами, нафтопродуктами, вони мають високий солевміст, який досягає декілька г/л (до 10 г/л та більше).

Склад і властивості шахтних вод залежать від багатьох факторів. До головних з них можна віднести склад і властивості підземних вод, що живлять горні виробки, склад і властивості вміщуючих гірських порід, властивості вугільних пластів, гірничогеологічні і гірничотехнічні умови, засоби механізації виїмки вугілля та проходки підготовчих виробок. Допоміжні фактори: клімат, рельєф місцевості, рослинність тощо.

Шахтні води відрізняються великою різноманітністю хімічного складу, володіють властивостями, що виключають їх використання в технічних цілях без попередньої обробки (табл. 8.1).

Найбільша кількість шахтних вод виходить у Західному Донбасі та Донецькому вугільному басейні

Таблиця 8.1 – Якісна характеристика шахтних вод України

| Показники | Характеристика і значення показників забруднених шахтних вод |
|---|--|
| Витрата стічних (шахтних) вод на 1 т добутого вугілля | від 2 до 20 м ³ |
| Температура води в залежності від географічного розташування шахт та глибини розробки | від 6 до 25 °С. |
| Колір | Чорний, бурий, сірий, жовто-сірий |
| Присмак | Солонуватий, гіркий, сладкуватий |
| Окисність, мг О ₂ /л | 6,5 – 200 |
| БПК ₅ , мг/л | 0,2-110 |
| ХПК, мг/л | 5-250 |
| Вміст нафтопродуктів, мг/л | 0 - 50 і більше |
| Забруднення завислими речовинами, мг/л | 30-2500 |
| Забруднення мікроелементами | Виявлено 30 хімічних елементів Вміст окремих мікроелементів, таких як стронцію, нікелю, міді, титану, цинку, барію, заліза в шахтних водах перевищує граничнодопустимі концентрації |
| Мінералізація, мг/л | Від 300 до 50 000 і більше |
| Жорсткість, мг-екв/л | 1,5-30 |
| Вміст іонів азотної групи, мг/л | |
| NO ₂ ⁻ | 0,01 - 2,1 |
| NO ₃ ⁻ | 1 - 15 |
| NH ₄ ⁺ | 0 - 10 |
| Агресивність | Слабко агресивні та агресивні |

8.9.2. Стічні води збагачувальних фабрик

Під час збагачення корисних копалин (залізна руда, вугілля) утворюється значна кількість стічних вод і відходів, що складає для великих збагачувальних фабрик і комбінатів 10-50 тис. м³/год. *Стічні води збагачувальних фабрик* містять десятки та сотні г/л забруднень у вигляді механічних домішок (завислих речовин, що являють собою порожню породу) концентрацією більш 10 г/л. Крім цього в стічних водах містяться дуже шкідливі, а іноді навіть токсичні забруднення – різні нафтопродукти, поверхнево-активні речовини природного та синтетичного походження. Концентрація цих речовин досягає 100-500 мг/л. Ці речовини ні що інше, як гідрофобізатори, що застосовують під час збагачення. Перелічені стічні води дуже важко піддаються очищенню, а якщо врахувати великі витрати цих стічних вод, задача їх очистки та використання є одним з дуже складних і мало вивчених питань.

На даний час порожню породу, як при першому, так і при другому способі збагачення, у вигляді шламової пульпи відводять за межі підприємства у так звані шламонакопичувачі (хвостосховища – ця назва пішла від слова «хвости флотації»), що займають великі території та площі.

8.9.3. Агломераційні виробництва

Фабрики з виробництва окатишів

Збагачену залізну руду перед подачею в домені печі для виплавки чавуна, направляють на *фабрики з виробництва окатишів* для збільшення крупності зерен і наступного їх ущільнення за допомогою термічної обробки. Вихідним матеріалом для ошматкування є концентрат залізних руд (основний компонент), що містить сполуки заліза до 90-95%, вапняк або доломіт у якості флюсуючої добавки, бентоніт – для підвищення міцності сирих окатишів.

Сумарне споживання води на агломераційних фабриках складає від 3,5 до 6,8 м³ на 1 т агломерату і залежить від технологічних особливостей výro-

бництва і від застосованих пилеуловлюючих апаратів, у яких пил змішується з водою.

Кількість *стічних вод*, що утворюються від однієї *аглофабрики* досягає до 2-3 тис. м³/год. Ці стічні води забруднені завислими речовинами в концентрації до 2 тис мг/л, лужними компонентами (в основному вапном, що сприяє появі у воді гідратної складної лужності, тобто групи OH). З іншого боку, стічні води забруднені кислими компонентами, що представлені в основному сірчаними сполученнями у вигляді SO₃²⁻ і SO₄²⁻.

8.9.4. Стічні води установок очистки доменного газу

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

Під час плавки утворюється біля 4000 м³ газів на 1 т чавуна, що містять від 5 до 20 г/м³ пилу. Ці газу проходять три етапи очистки: перший – «сухий», на якому затримується 70-80% пилу, другий – «мокрый» - у скруберах, що зрошуються водою, при якому виноситься біля 15% пилу, і третій – на електрофільтрах, де затриманий пил змивається водою. Загальна витрата води складає 4-9 м³ на 1000 м³ газу, що очищається або 20-30 м³ на 1 т чавуна, що виплавляється.

У цехах очистки доменного газу вода служить поглиначем механічних домішок, розчинником газів, а також охолоджувачем і транспортує середовищем поглинених домішок.

Стічні води від газоочисток доменних печей забруднені завислими речовинами у концентрації до 200 мг/л, а також цілою низкою розчинних хімічних речовин.

Водне господарство доменної газоочистки, як правило, приймається за замкненим оборотним циклом, оскільки за умовами охорони водоймищ ски-

дання таких стічних вод без очистки заборонено. Сумарна витрата води при підвищеному і високому тиску газу під колошником складає біля 3,2-4,5 м³ на 1000 м³. Склад газу і відповідно склад стічних вод залежить від багатьох факторів: виду палива, режиму плавки (температура, тиск у печі), якості руди, особливостей обладнання та ін.

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

Стічна вода після газоочистки забарвлена у красно-бурий, темно-сірий або коричневий колір. Температура води, що відходить від газоочистки звичайно становить 45-55°C. Для цієї води характерно високий вміст завислих речовин за рахунок часток пилу, що потрапляють з газу у воду, кількість яких коливається від 500 до 4000 мг/л або в середньому при роботі печей з нормальним тиском 2900 мг/дм³, а при підвищеному до 170 кН/м² – 1000 мг/л.

З підвищенням тиску дуття під колошником доменної печі, а також при збагаченні повітря киснем і природним газом кількість пилу, що виноситься доменним газом і крупність його часток зменшуються. Відповідно знижуються концентрація і крупність часток завислих речовин у стічній воді від газоочистки.

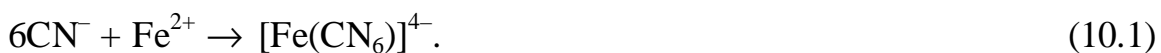
У стічних водах від газоочисток при виплавці передільного і ливарного чавунів вміст завислих речовин у воді крупністю 0,01-0,1 мм складає 85-90% і крупністю менше ніж 0,01 мм складає 10-15%; при виплавці феромарганцю вміст у воді часток крупністю 0,01 мм і менше складає 81%.

Орієнтовно склад стічних вод від газоочистки характеризується наступними показниками: завислі речовини 1-2 г/л, жорсткість загальна – 5,0 мг-екв/л, рН – 7-8. Сказане відноситься до доменних печей, що виплавляють ливарний і передільний чавун (м. Дніпропетровськ, м. Донецьк, м. Кривий Ріг та ін.).

Газ доменних печей, що виплавляють феромарганець, відрізняється від газу доменних печей, що виплавляють передільний або ливарний чавун ще більшим вмістом пилю, дисперсністю і хімічним складом. Відповідно відрізняються і стічні води. При виплавці феромарганцю (г. Нікополь, г. Стаханов) питомі витрати води складають 5-11 м³ на 1000 м³ газу, вміст завислих речовин досягає 3-3,5 г/л, значно зростає лужність (до 90-115 мг-екв/л) і загальна жорсткість, рН – 9-9,5, загальний солевміст – 40 г/л (з них сульфатів і хлоридів 1,2 г/л), а саме головне – в стоках з'являються дуже токсичні речовини: цианіди (100-200 мг/л) і роданіди (220-1160 мг/л). Обробка таких стоків потребує подальшої очистки – знешкодження або хімічними методами за допомогою реагентів, або фізико-хімічними (електрохімічними та ін.).

Стічні води від очистки газу доменних печей, що виплавляють феромарганцевий чавун, рекомендується очищати від завислих речовин у радіальних відстійниках зі знешкодженням цианідів залізним купоросом з послідовним підлогуванням для підтримки рН води у межах 9-10. При цьому необхідні великі витрати залізного купоросу та вапна.

Знешкодження цианідів можливе і без перекладу їх в осад з утворенням розчинного комплексу:



Для цього достатня доза залізного купоросу порядку 150-200 мг/л і вапна у межах 40-50 мг/л. У цьому випадку залізний купорос слід вводити в оброблювану воду перед камерою пластівцеутворення (вода повинна знаходитися в ній не менше 30 хвил.), а вапно – перед радіальними відстійниками. Гідравлічне навантаження можна приймати до 1 м³/год на 1 м² площі відстійника, при якому в очищеній воді залишається завислих речовин до 150-250 мг/л.

при розрахунку водоочисних споруд концентрації забруднень у стічній воді доменної газоочистки рекомендується приймати:

при виплавці передільного і ливарного чавунів – завислих речовин 1500 мг/л, вільних цианідів - до 15 мг/л;

при виплавці феросиліцію та феромарганцю - завислих речовин 2500 мг/л, вільних ціанідів – до 100-175 мг/л і роданідів – до 15 мг/л .

Спори для очистки стічних вод з метою їх повторного використання в оборотних циклах детально розглянуті у главі 5 (див. розділ I).

Необхідно також відмітити, що для систем оборотного водопостачання газоочисток доменних печей характерний складний водно-хімічний режим. У системі оборотного водопостачання доменної газоочистки відбувається інтенсивне забруднення нижньої частини газоочисних скрубєрів, краплинного зрошувача градірень і трубопроводів карбонатними відкладеннями у вигляді CaCO_3 , заліза та ін., а на деяких заводах також і ZnCO_3 . У результаті забруднення швидко падає охолоджуючий ефект градірень і знижується пропускна здатність скрубєрів і трубопроводів.

Причиною утворення карбонатних відкладень є висока концентрація вільної вуглекислоти (CO_2) та відповідний їй вміст бікарбонатних (HCO_3^-) і карбонатних (CO_3^{2-}) іонів.

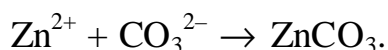
У самому скрубєрі находячись під тиском (2-3 атм) стічні води насичуються вуглекислотою, що потрапляє з газу, який очищається. При тиску в скрубєрі до 2,5 атм. на стінках скрубєру утворюються щільні карбонатні відкладення відповідно до реакції вуглекислотної рівноваги. Чим вище тиск у скрубєрі, тим більше CO_2 розчиняється у воді. Надлишкова вуглекислота сприяє підкисленню води та надає їй агресивні властивості, тобто схильність до корозії. При підвищенні тиску до 3 атм і більше відбувається розчинення карбонатних відкладень, що утворилися і вода стає агресивною стосовно металу. Коли стічні води виходять з газоочисних апаратів, умови вуглекислотної рівноваги різко змінюються і починається процес виділення з води вільної вуглекислоти та розпад бікарбонатних іонів:



Надлишкова вуглекислота злетучується, карбонатні іони вступають в реакцію з іонами кальцію



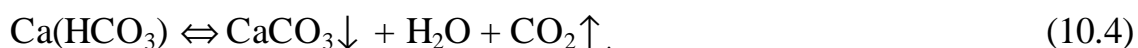
А при наявності цинку карбонатні іони вступають у реакцію з іонами цинку



У результаті утворюються нерозчинні сполуки CaCO_3 , ZnCO_3 та ін., що відкладаються в газоочисних скруберах на зрошувальних пристроях градирень і стінках трубопроводів.

При цьому в скрубєрі вода має кислу реакцію ($\text{pH}=6,5$), а після скрубєру лужну реакцію ($\text{pH}=7-7,5$).

Таким чином, у скрубєри протікає реакція вуглекислотної рівноваги



При зсуві реакції вправо, утворюється малорозчинний карбонат кальцію та виникає можливість утворення щільних сольових відкладень на внутрішніх стінках скрубєра.

При зсуві реакції вліво, карбонат кальцію, що утворився, розчиняється і у воді утворюється надлишок вуглекислоти CO_2 , що може спричинити корозійний знос металу скрубєра.

Таким чином, виникає динамічна рівновага, яку бажано не порушувати з метою вибухонебезпечності скрубєра високого тиску та забезпечення його стабільної роботи.

Механічне видалення карбонатних відкладень з газоочисних апаратів і трубопроводів у системах оборотного водопостачання дуже трудомістке і коштує дорого, при цьому елементи системи виключаються з роботи; краплинний зрошувач градирні приходить розбирати і замінювати новим. Усе це порушує нормальну роботу доменної газоочистки. Тому для запобігання або зменшення інтенсивності карбонатних відкладень у системах оборотного водопостачання доменних газоочисток знаходять застосування такі методи, як фосфатування, рекарбонізація оборотної води (див. главу 4, розділ I, де детально розглянуті методи стабілізаційної обробки).

8.9.5. Стічні води від підбункерних приміщень, установок грануляції шлаку та розливальних машин

Грануляційні установки. Під час плавки чавуна утворюються шлак. Його відводять від доменних печей до грануляційних установок. Грануляція шлаку полягає в перетворенні його з рідкого стану у твердий зернистий матеріал шляхом швидкого охолодження водою. Струми води, що подаються під тиском розбивають шлак на окремі гранули. Стічні води в залежності від складу виплавленого чавуна мають кислу або лужну реакцію і містять сірководень, хлориди, сульфати і 300-650 мг/л завислих речовин. Для освітлення стічних вод грануляційних установок застосовують горизонтальні відстійники. Кислі води нейтралізують вапном. Вода після очищення у відстійниках повертається знову у виробництво.

Стічні води від підбункерних приміщень. На даний час прибирання пилу, що осідає і просипу у підбункерних приміщеннях здійснюють гідравлічним засобом. Загальна кількість стічних вод кожної доменної печі складає 360 м³/год або до 2 м³ на 1 т виплавленого чавуну. Стічна вода від підбункерних приміщень забруднена механічними домішками у вигляді шматочків агломерату у вигляді руди, коксу, вапняку розміром 20-30 мм, а також пилом крупністю 0,25-0,005 мм.

Водопостачання підбункерних приміщень оборотне з проясненням води у відстійнику.

Розливальні машини. Рідкий чавун відводять з доменної печі на розливальні машину, яка являє собою транспортер, що рухається і на якому розташовані мульди (форми). У міру руху мульди, які заповнені чавуном, інтенсивно поливають водою з дірчастих труб для того, щоб до кінця шляху чавун затвердів. Для того, щоб чавун не приставав до мульд, їх перед тим, як заливати оброблюють розчином вапна. Нагріта вода після розливальних машин містить пісок, вапно, окалину та інші завислі речовини. Для хімічного складу цих стічних вод характерна наявність гідратної лужності, що обумовлено застосуванням розчину вапна для обприскування форм (мульд) для розливання ча-

вуна. Після розливальних машин воду спрямовують на відстоювання, після чого знову повертають у цех. Шлам, що осів у відстійниках, частково використовують для стабілізаційної обробки води, а іншу частину, що залишилася направляють у шламонакопичувачі для зневоднення. Загальна витрата води на розливання 1 т чавуна складає до 4 м³, при цьому біля 20% води втрачається.

Чавун, що отримують частково використовують для виготовлення виробів, у тому числі каналізаційних труб і арматури. Основну масу чавуну перетворюють на сталь в сталеплавильних печах (мартенівських, конверторних та електросталеплавильних).

Приблизний склад і концентрація забруднень у стічній, оборотній воді і воді, що додається наведено у табл. 8.2.

Водопостачання розливальних машин оборотне. Середню концентрацію завислих речовин у стічній воді при розрахунку очисних споруд приймають 2000 мг/дм³.

Таблиця 8.2– Склад і концентрація забруднень води в системі оборотного водопостачання розливальних машин

| Показники | Відпрацьована (стічна) вода | Стічна вода після відстійника | Вода, що подають на машини | Вода, що додають у систему |
|--|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Температура, °С | 28-43 | 23-38 | 22,5-30,5 | 12-18 |
| Завислі речовини, мг/дм ³ | 650-2000 | 80-300 | 70-250 | 20-55 |
| Жорсткість загальна, мг-екв/дм ³ | 27,8-35,7 | 25,2-32,4 | 20,8-22 | 3,9-4,1 |
| Лужність, мг-екв/дм ³ | | | | |
| загальна | 22,8-28 | 19,3-23 | 16,5-18,8 | 2,8-3 |
| гідратна | 0,4-1 | 0,4-0,8 | 0,7-1,1 | – |
| Окисність, мг/дм ³ O ₂ | 30-40 | 28-36 | 27-35 | 6,6-7,1 |
| pH води | 10 | 10 | 10 | 7,5 |
| Хімічний склад, СГ, мг/дм ³ | 64-147 | 46-76 | 28-47 | 13-28 |
| Fe, заг., мг/дм ³ | 6-19 | 1,2-1,4 | 0,7-1 | 0,1-0,2 |

8.9.6. Стічні води сталеплавильних цехів

Газоочистка конверторів. Стічні води від очистки конвертерного газу забруднені твердими частками і розчиненими хімічними речовинами. Склад і

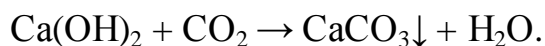
кількість забруднень залежать від схеми відведення й очистки газів, що відходять. При цьому відбувається зміна складу стічних вод за ходом плавки.

Гази, що утворюються при виплавці сталі в кисневому конвертері містять металевий пил і частки вапна (негашене CaO). Вапно, вживане в киснево-конвертерному процесі для його інтенсифікації, потрапляє в потік газів, що відходять і розчиняється у воді. Кількість розчинного вапна залежить від її якості й способу подачі. В зв'язку з цим збільшується гідратна лужність оборотної води.

Очистка газів здійснюється мокрим способом. При контакті газу з водою в апараті газоочистки завислі частки металу і вапна переходять у стічні води. Концентрація завислих речовин знаходиться в межах 4-10 г/л. При цьому вапно розчиняється у воді за формулою:



У газах, що відходять від конвертору міститься вуглекислий газ CO_2 . Після очищення стічних вод від завислих речовин вода повертається знову на очищення газів. При цьому Ca(OH)_2 , що є у воді реагує з CO_2 , що міститься в газах:



Таким чином, насичена вапном оборотна вода при повторному використанні реагує з вуглекислою газів, що відходять, в газоочисних апаратах, у результаті цього в системі подачі води до сопел камери уприскування і скрубера утворюються дуже тверді відкладення карбонату кальцію з невеликим вмістом оксиду заліза, що обмежують подачу води з витратою, потрібною для належного очищення газу. Боротьба з цим явищем шляхом впровадження заходів щодо зменшення винесення часток вапна з газами, що відходять, за рахунок відсіву дрібниць вапна перед подачею її в конвертер, а також застосуванням підкислення або карбонізації, виявилася малоефективною. Ефективнішим для подібних систем оборотного водопостачання є метод обмеження розчинення вапна, що поступає у воду і зниження гідратної лужності стічних вод. НВО «Енергосталь» запропоновано два типи ре-

агентів для здійснення цього методу — силікатний реагент (рідке скло) і фосфорвміщуючий реагент (триполіфосфат натрію).

Відповідно до проведених досліджень при обробці води силікатним реагентом дозою 50 мг/л гідратна лужність оборотної води знижується з 24—25 до 0—0,4 мг-екв/л, а інтенсивність відкладень карбонату кальцію знижується на 99 %.

Система водопостачання газоочисток конверторів оборотна. Передбачається попереднє уловлювання завислих часток крупністю більше 500 мкм, віддувка у разі необхідності вільного оксиду вуглецю, прояснення в радіальних відстійниках або флокуляторах і послідовне охолодження на градирнях. Віддувка вільного оксиду вуглецю потрібна для того, щоб поблизу прояснювачів приземна її концентрація не перевищувала рівню, шкідливого для обслуговуючого персоналу. Питоме гідравлічне навантаження на радіальні відстійники приймають $1 \text{ м}^3/\text{год} \times \text{м}^2$.

Нижче наведено одну зі схем оборотного водопостачання, що найчастіше застосовують. На схемі оборотного водопостачання газоочистки (рис.10.4) стічні води від газоочисних установок самопливом надходять у приймальну камеру 1, куди також підводиться пара.

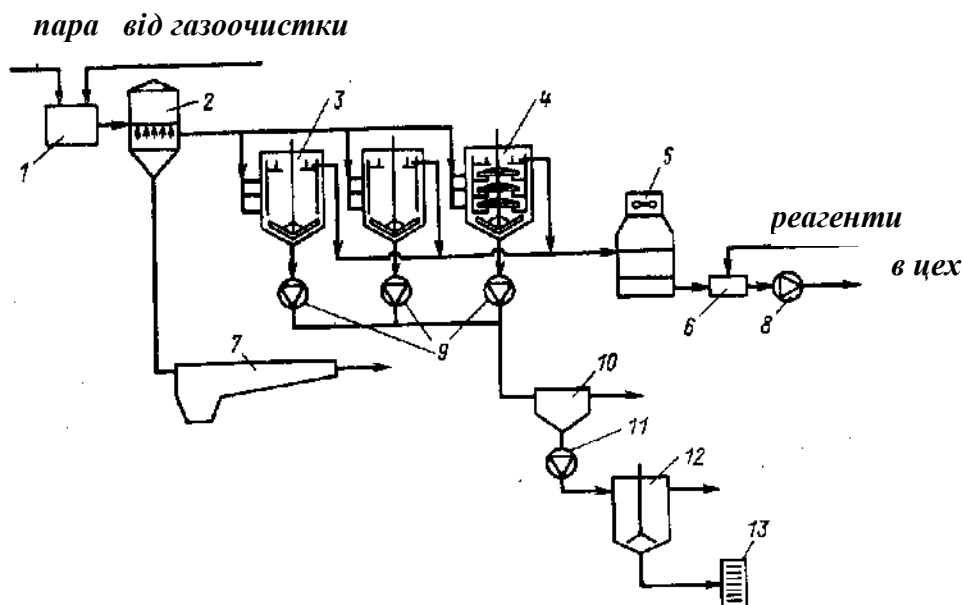


Рис.8.4 – Схема оборотного водопостачання газоочисток киснево-конвертерного цеху металургійного комбінату «Азовсталь»

Далі вони направляються в камеру 2 для дегазації і відокремлення крупних часток зависі, в яку подають також поліакриламід. З камери 2 попередньо очищені стічні води потрапляють у гідроциклони-флокулятори 3 і багатоярусний флокулятор 4. Прояснена вода з флокуляторів під залишковим напором надходить на градирню 5. Охолоджена вода збирається в приймальній камері 6 і насосами 8 повертається в газоочисні установки.

Шлами, що містять крупні частки, вловлені у камері 2, відводяться у двохсекційний горизонтальний відстійник 7, з якого осад періодично видається грейфером у бункер для зневоднення і потім відвозиться автотранспортом на утилізацію. Шлам з флокуляторів насосами 9 перекачується в радіальні згущувачі 10 діаметром 18 м, потім насосами 11 у перемішувачі 12 пульпи і в фільтр-преси 13 ФПАКМ-25. Всі флокулятори діаметром 12 м і висотою відстійної зони 10 м, конструкція їх розроблена НВО "Енергосталь".

При питомому гідравлічному навантаженні $6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$ і при концентрації завислих речовин у вихідній воді оборотного циклу 20000—30000 мг/л, вміст завислих речовин у проясненій воді на виході з флокуляторів без застосування коагуляції не перевищує 300 мг/л, а з застосуванням коагуляції поліакриламідом у середньому 60—80 мг/л. Виробничість оборотного циклу водопостачання установок очистки конвертерного газу дорівнює 4000 $\text{м}^3/\text{год}$.

Газоочистка мартенівських печей. Водопостачання здійснюється за оборотною схемою. Кількість стічних вод від однієї мартенівської печі складає 150-200 $\text{м}^3/\text{год}$.

Завдання очистки газів, що відходять від мартенівських печей ускладнюється через перемінний за ходом плавки вміст пилу, різної величини часток пилу і змін температури. Для очистки газів застосовують як сухі газоочистки (електрофільтри), так і мокрі.

Стічні води газоочистки мартенівських печей містять дрібно дисперсні речовини, концентрація яких значно коливається в процесі плавки від 2 до 10 г/л. Найчастіше вони характеризуються кислою реакцією, $\text{pH}=4-6$. Це

пов'язано з тим, що в процесі очистки газів вода підкислюється за рахунок уловлювання кислих компонентів таких, як SO_2 , SO_3 а також окислів азоту (NO , NO_2). Для захисту від корозії системи виготовляють кислотостійкими або передбачається нейтралізація стічних вод вапном. Доза вапна за активною речовиною складає орієнтовно 70 мг/л.

Для очистки стічних вод мартенівської газоочистки застосовують радіальні відстійники, відкриті гідроциклони або флокулятори з реагентною обробкою. При цьому питома гідравлічне навантаження складає для радіальних відстійників $2 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \times \text{год}$, флокуляторів $8-9 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \times \text{год}$, а для відкритих гідроциклонів $10 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \times \text{год}$.

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

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

При застосуванні мокрої системи очистки газів від електродугової печі питома витрата води в залежності від об'єму печі та системи газоочистки апаратів складає від 1 до 4 м^3 на 10000 м^3 газу або $1,5-6 \text{ м}^3 / \text{т}$ сталі, що виплавляють.

Стічні води, що утворюються від очистки газів, містять дрібнодисперсні завислі речовин у концентрації до 2-3 тис. мг/л, окисли заліза та інші хімічні забруднення (іони важких металів, сірчані сполуки), рН на 1,5-2,5 одиниці менше, ніж рН вихідної води. Стічні води газоочистки електропечей можуть бути як з кислою, так і з лужною реакцією в залежності від марки ви-

плавленого сталі. В зв'язку з цим, для повторного використання цих стічних вод у системах оборотного водопостачання, потрібна певна хімічна обробка (нейтралізація, стабілізація тощо). Найбільш раціональним методом нейтралізації і знешкодження стічних вод при оборотному водопостачанні є застосування вапняного молока.

Склад і фізико-хімічні властивості стічних вод від електросталеплавильного виробництва залежать від марок сталі, що виплавляють, складу шихти, технології виробництва сталі тощо.

Прояснення стічних найбільш доцільно здійснювати у радіальних відстійниках або у відкритих гідроциклонах. Необхідний для повторного використання ступінь прояснення стічної води до залишкового вмісту завислих речовин у ній 150-200 мг/л досягається при гідравлічному навантаженні на відстійник $0,8-1 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$, а на гідроциклон $4 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$. В якості коагулянту застосовують поліакриламід з концентрацією 1 мг/л.

8.9.7. Стічні води установок безперервного розлиття сталі

Систему водопостачання вторинного охолодження застосовують оборотну, з трьохступеневою очисткою стічних вод і охолодженням води на градирнях.

В якості першого ступеня очистки застосовують ями для окалини, подібні тим, що влаштовують в цехах гарячої прокатки. Гідравлічне навантаження на них приймають в межах $50-65 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$, що забезпечує зниження вмісту окалини до 200-250 і масла до 20-30 мг/л. В якості другого ступеня очистки застосовують прямокутні відстійники з механізованим видаленням осаду з навантаженням до $2 \text{ м}^3/\text{м}^2 \times \text{год}$, радіальні відстійники з навантаженням до $4 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$, а також флокулятори з навантаженням $8 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$. У всіх випадках передбачається застосування поліакриламід у якості коагулянту. На цьому етапі вміст окалини знижується до 75-100 мг/л, а масла до 10 мг/л.

Остаточну доочистку стічних вод здійснюють на напірних одношарових піщаних або двошарових антрацито-кварцевих фільтрах, після яких досягається остаточний вміст завислих речовин в оборотній воді 10-15 мг/л, а вміст масла до 5 мг/л. Навантаження на одношарові фільтри приймають до $20 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$, а на двошарові – до $30 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$.

8.9.8. Стічні води прокатних цехів

Умовно чиста вода утворюється при охолодженні нагрівальних печей. На всіх інших операціях утворюється брудна вода. В процесі гарячої прокатки металу утворюються стічні води від охолодження металу, що прокочують, і устаткування. Ці стічні води забруднені завислими речовинами (окалиною) і оліями (нафтопродуктами). У міру прокатки (зліва направо) концентрація завислих речовин, що потрапляють у стічні води, зменшується; також зменшується їх гранулометричний склад. Найбільш крупні частки завислих речовин утворюються на чорнових операціях прокатки, більшість дрібнодисперсних часток – на чистових операціях. Концентрація завислих речовин досягає 500-1500 мг/л, концентрація нафтопродуктів 50-200 мг/л. Завислі речовини утворюються при деформації металу, а нафтопродукти потрапляють у стічні води від змащення різних механізмів, двигунів, підшипників (наприклад, роликів, прокатних валків тощо).

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

На ділянці охолодження смуги здійснюється охолодження смуги, яке регулюється за допомогою ЕОМ. При цьому кількість охолоджуючої води залежить від температури прокатаного листа, марки сталі, від вимог до закалювання листа, а також від температури охолоджуючої води.

Стічні води станів холодної прокатки мають дуже складний хімічний склад, бо в них потрапляють стійкі емульсії нафтопродуктів, різні технологічні змащення або олії (соняшникова, олеїнова, пальмітинова), які використовують для зниження зусиль у зоні деформації. Наприклад, пальмітинова олія

має температуру твердіння 25°C , це викликає великі ускладнення при очищенні стічних вод, тому що при звичайній температурі вони знаходяться в стічних водах у нерозчиненому стані. А при хімічній обробці поверхні металу потрапляють іони важких металів (хром, цинк, нікель). Стійкість емульсії до розшарування є основним параметром, що диктує методи і затрати на очистку. Очищаються ці стічні води звичайно методом флотації, потім нейтралізуються до $\text{pH} = 7\text{--}7,5$. Кількість стічних вод від станів холодної прокатки порівняно невелика і складає від $100\text{--}200 \text{ м}^3/\text{год}$.

Після кожної технологічної операції при гарячій прокатці металу використану воду скидають у підстановий лоток, розташований під центральним рольгангом. Він має нахил у сторону первинних відстійників, це забезпечує необхідні транспортуючі швидкості для змиву окалини.

Очищення стічних вод здійснюють у три ступеня. На першому ступені застосовують первинні відстійники у вигляді ями для окалини, розрахованої на час перебування 5-8 хвил. На другому ступені застосовують відстійники-флотатори. Залишкова концентрація завислих речовин – $30\text{--}90 \text{ мг/л}$, масел $12\text{--}20 \text{ мг/л}$. Доочищення стічних вод виконують на піщаних або гравійних фільтрах.

8.9.9. Стічні води, що утворюються під час травлення чорних металів

Перш ніж відправити метал споживачу, поверхня металу повинна бути оброблена. Найбільш поширеною технологією обробки поверхні металу є травлення за допомогою різних хімічних речовин, наприклад: кислот (сірчаної, соляної, фосфорної, плавикової) і суміші кислот, а також луг (NaOH , KOH тощо). За допомогою травлення з поверхні металу видаляються частки окалини та інші домішки, а також розчиняється частина основного металу. В результаті обробки поверхні металу травленням утворюються стічні води, забруднені цими речовинами, а також солями різних металів, наприклад солями заліза (FeSO_4). Кількість таких стічних вод порівняно невелика і досягає для одного травильного відділення $200\text{--}500 \text{ м}^3/\text{год}$. Ступінь забрудненості

цих вод висока. Очистка їх до вимог скиду в каналізаційну мережу або водний об'єкт викликає труднощі. А забезпечити використання очищених стічних вод цієї категорії в замкненому циклі дуже важко. Це пов'язано з тим, що для процесів травлення потрібна вода високої якості, особливо за концентрацією солей. Тобто ці виробництва інтенсивно забруднюють воду, що використовують і в одночасно потребують для себе високу якість вихідної води.

Травлення металів здійснюють міцними травильними розчинами, наприклад при використанні H_2SO_4 . Концентрація цієї кислоти в травильних розчинах досягає 200 мг/л. Після травлення вироби повинні бути промиті в спеціальних ваннах водою. Це необхідно для видалення з поверхні виробів плівки травильних розчинів. Співвідношення кількості промивної води до травильних розчинів коливається від 1:10 до 1:100. Очистка і використання стічних вод цієї категорії також представляє складне технічне завдання у зв'язку з тим, що потрібно видалити компоненти сольового складу.

8.10. Коксохімічне виробництво

Коксохімічне виробництво може бути цехом металургійного заводу або самостійним підприємством. Сировиною для отримання коксу служить кам'яне вугілля.

До складу коксохімічних підприємств входять вуглепідготовчі цеха та цеха уловлювання й переробки продуктів коксування.

На вуглезбагачувальних фабриках воду використовують для мийки вугілля, приготування розчинів флотаційних реагентів, для гідротранспорту шламу, охолодження підшипників. Система водопостачання оборотна з прояснення води у відстійниках. На 1т збагаченого вугілля витрачається 4,5-5 м³ води, в тому числі 3,5-4% свіжої.

У коксовому цеху вода гасить розпалений кокс. При виробництві коксу й уловлюванні хімічних продуктів 80% води витрачається на охолодження продукту в закритих апаратах, де вода не стикається з продуктами і не забру-

днюється (за виключенням кінцевих холодильників газу). Решта кількість води витрачається на гасіння коксу й інші потреби.

При цьому на 1т коксу витрачається до 23 м^3 води, з них 6-7% свіжої. Охолоджена вода повинна мати температуру не вище $25-28^\circ\text{C}$, завислих речовин – $20-40 \text{ мг/дм}^3$, карбонатну жорсткість – не більше $2,5 \text{ мг-екв/дм}^3$.

Кокс вилучають з кам'яного вугілля в коксових батареях без доступу кисню при температурі $1100-1200^\circ\text{C}$. При цій температурі всі летючі речовини, що містяться у вугіллі, переходять у газову фазу і відводяться з коксових батарей. До летючих речовин належать феноли, аміак, сірчані сполучення (SO_2 , SO_3 , H_2S), смолисті речовини, тощо. Уловлювання і переробка продуктів коксування, що містяться в коксовому газі здійснюється в хімічних цехах. Основні з них – це відділення конденсації й охолодження газу, цеха уловлювання й очистки коксового газу від сірководню (з сірчаноокислотним виробництвом), ректифікації сирого бензолу і смолоперероблюючий.

У коксовому цеху воду застосовують для гасіння розпаленого коксу. Сумарна витрата води на тушіння 1 т коксу складає 1 м^3 , при цьому безповоротно втрачається на випаровування та виноситься коксом близько $0,5 \text{ м}^3$ води. Вода, що залишилася, разом із дрібними шматочками коксу та хімічно розчиненими речовинами стікає у приймальний резервуар – відстійник. Після прояснювання цю воду під тиском 25 м подають знову на гасіння коксу.

Отриманий розпалений кокс вивантажують з коксових батарей у спеціальні гасильні вагони та відводять під гасильні башти, де на кокс подають воду щоб попередити згорання вуглеводу. При цьому утворюються фенольні стічні води, що містять цілий ряд хімічних забруднень; завислі речовини з концентрацією до 1000 мг/л , феноли ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) концентрацією до 500 мг/л , ціаніди з концентрацією до 1000 мг/л . Кількість фенольних стічних вод складає $200-250 \text{ м}^3/\text{год}$. При попаданні води на поверхню розпаленого коксу, утворюється велика кількість пари, яка містить значні концентрації летючих хімічних речовин, що скидаються в атмосферу і розсіюються по території підприємства, а також далеко за його межі.

Є також більш прогресивний спосіб гасіння коксу сухим методом. При цьому кокс завантажують у герметичну камеру через яку пропускають інертний газ, наприклад азот. Газ циркулює і відводить тепло від коксу, охолоджується і знову цей газ повертається в камеру сухого тушіння коксу. Цей метод дозволяє виключити застосування води, покращити стан атмосфери в районі заводу та навколишньої території та отримати більш високу якість коксу. Висока якість коксу в даному випадку визначається меншим відсотком згорілого вуглецю та меншою забрудненістю коксу токсичними речовинами, що містяться в охолоджуваній воді. Наприклад, при мокрому гасінні коксу в його складі виявляються феноли і ціаніди, що потім з'являються в газах, що відходять з доменних печей, які використовують кокс. Це змушує займатися очисткою стічних вод газоочисток доменних печей від фенолів і ціанідів.

Установки сухого гасіння знаходяться в експлуатації тільки на одиночних підприємствах, що пов'язано з їх високою вартістю. При сухому гасінні коксу на коксохімічних підприємствах утворюються збиткові стічні води в кількості до 200 м³/год, які при мокрому гасінні звітряються в атмосферу у вигляді пари.

Контрольні запитання

1. Назвіть основні переділи на підприємствах чорної металургії.
2. Методи збагачення руди.
3. Системи охолодження доменних печей.
4. Які види стічних вод утворюються у доменному виробництві?
5. Як здійснюється очистка газів доменних печей?
6. Водопостачання сталеплавильного виробництва.
7. Очистка стічних вод прокатних станів.

Розділ IV

ЕКСПЛУАТАЦІЯ СПОРУД ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ Й ОХОЛОДЖЕННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД

9.1. Організації експлуатації водного господарства

Головне завдання експлуатації водного господарства полягає в підтримці всіх систем, що входять до нього і господарств у стані, при якому забезпечується їх безаварійна і безперебійна робота при одночасному дотриманні відповідних технічних умов і технологічних параметрів водозабезпечення і водовідведення споживачів, а також раціональне використання і захист водних ресурсів від забруднення.

Відповідно до цього завдання служби експлуатації водних господарств підприємств повинні гарантувати експлуатацію споруд, устаткування і пристроїв систем водопостачання і каналізації на високому технічному рівні і проводити систематичний контроль їх технічного стану й ефективності роботи. Для цього складають відповідні посадові й експлуатаційні інструкції, проводять систематичну підготовку, навчання і підвищення кваліфікацій обслуговуючого персоналу.

Особливу увагу слід приділяти водоохоронним заходам, організації відповідних зон санітарної охорони, контролю за об'єктами основного металургійного циклу, які є джерелами утворення стічних вод. Для цього здійснюють обрахування кількості та якості води, що забирається з водних джерел та стічних вод, що в них скидаються, здійснюють відбір і аналіз проб води в оборотних системах, у водних джерелах і в місцях скиду стічних вод. Під час експлуатації водного господарства служба експлуатації підприємства веде обрахування параметрів роботи споруд та обладнання, на підставі яких аналізують їх роботу, виявляють недоліки, відхилення фактичних технічних і технологічних показників від проектних, встановлюють причини цих відхилень.

На кожному підприємстві створюється служба експлуатації водного господарства, яка підпорядковується головному енергетику підприємства.

На великих підприємствах організується цех водопостачання (або цех водного господарства), у веденні якого знаходяться джерела питного та виробничого водопостачання, водозабірні споруди, насосні станції, водоохолоджуючі та очисні споруди, водопровідні та каналізаційні мережі. Як правило у веденні цеха водопостачання знаходяться загальнозаводські мережі та споруди, а також системи оборотного водопостачання, що обслуговують декілька цехів. Крім цього, в кожному цеху організують служби експлуатації локальних і внутрішніх водопровідно-каналізаційних систем. Іноді для таких складних виробництв, як коксохімічне і агломераційне, створюють самостійні цехи водопостачання. Цехові служби і самостійні цехи водопостачання підпорядковуються головному енергетику і контролюються загальнозаводським цехом водопостачання.

На малих підприємствах, що не мають власних водозаборів, очисних споруд і випусків стічних вод у водойми, служба експлуатації водного господарства знаходиться у веденні енергетичного або паросилового цеху в системі відділів головних енергетиків, а при відсутності цих відділів – у системі головних механіків.

На кожному підприємстві розробляється положення про цех водопостачання, в якому приводиться структура цеху, штатний розклад чисельності працівників окремих категорій, перелік об'єктів, що обслуговуються, оснащення технологічним устаткуванням, механізмами, інвентарем, матеріалами, транспортними засобами, призначеними для оперативної ліквідації аварій і пошкоджень, а також для проведення поточних і середніх ремонтів; указуються необхідні засоби зв'язку, диспетчеризації, телемеханізації і автоматизації.

На підставі Правил технічної експлуатації водних господарств підприємств чорної металургії та інших діючих правил для обслуговуючого персоналу водних господарств складаються місцеві інструкції з технічної експлуатації споруд, мереж, агрегатів і механізмів, інструкції з техніки безпеки і посадові інструкції, що відповідають існуючому законодавству.

Крім того, обслуговуючий персонал повинен керуватися правилами, вказівками і розпорядженнями спеціальних органів таких, як санітарна інспекція, басейнова інспекція, пожежна інспекція, держкотлонадгляд.

Основну увагу слід звертати на забезпечення чітких дій обслуговуючого персоналу в аварійних ситуаціях. Для цього розробляють спеціальні інструкції зі взаємодії служби водного господарства, як між окремими її структурними елементами, так і з основними металургійними цехами і відповідними енергетичними службами при виникненні аварійних ситуацій у будь-якому місці водного господарства. Для відробітки взаємодії і відповідних навиків слід систематично проводити протиаварійні тренування експлуатаційного персоналу з подальшим розглядом і оцінкою дій окремих працівників, що слід реєструвати в спеціальному журналі.

Випадки виникнення аварій або небезпечних пошкоджень і порушень об'єктів водного господарства необхідно фіксувати актами спеціальних комісій, ретельно вивчати й аналізувати, щоб усувати причини їх виникнення і можливість їх повторення.

9.2. Загальні відомості з експлуатації очисних споруд

Керівний і обслуговуючий персонал очисних споруд повинен добре знати характер і кількість забруднень у стічній воді, що надходить на очищення, вимоги до ступеня очищення, склад очисних споруд і процеси що відбуваються в них і уміти управляти цими процесами. В іншому випадку навіть правильно запроектовані й добре побудовані споруди не даватимуть необхідних результатів і в короткий термін можуть бути приведені в непридатність. Основним завданням персоналу є забезпечення нормальних умов роботи всього комплексу очисних споруд і підготовки води для її повторного використання в замкнутому циклі (або для випуску її у водоймище). Це досягається постійним контролем і регулюванням ходу технологічного процесу, а також організацією належного догляду за спорудами й устаткуванням і своєчасним їх ремонтом.

Нормальна робота очисних споруд можлива лише за умови, що склад стічних вод, що поступають на них не відхиляється значно від складу, передбаченого проектом і стічні води рівномірно розподіляються між окремими паралельно працюючими елементами споруд. Відсутність контролю за рівномірним розподілом стічних вод викликає перевантаження деяких з них і роботу з підвищеними швидкостями, що призводить до збільшеного винесення суспензії і порушення хімічного або біологічного процесів.

На кожну станцію, установку й окрему споруду для очищення стічних вод повинні бути складені технічні паспорти з вказівкою проектної продуктивності, режиму роботи і нормального складу води, що поступає і очищеної. Для запобігання перевантажень, що порушують нормальний режим роботи очисних споруд або їх окремих елементів, слід встановити систематичний або періодичний контроль і реєстрацію в журналі кількості й складу стоків, що поступають. У разі різкої зміни кількості й складу стічних вод керівний персонал цеху водопостачання повинен бути своєчасно про це попереджений, щоб спільно з виробничими цехами вжити необхідних заходів.

При систематичному перевантаженні очисних споруд у результаті збільшеного притоку або підвищеного забруднення стічних вод, що порушують нормальну їх роботу, необхідно розширити існуючі або побудувати додаткові споруди. Важливе значення має здійснення раціоналізаторських пропозицій.

Окремі елементи споруд виключають для ремонту за графіком, в якому враховують ступінь перевантаження і режим роботи елементів, що залишилися в дії на період ремонту. Режим такої роботи очисних споруд, якщо він погіршує ефект очищення, погоджують з виробничими цехами — споживачами оборотної води, а у разі випуску стічної води у водоймище — з місцевою Державною санітарною інспекцією. В останньому випадку виключення окремих елементів очисних споруд на ремонт, може відобразитися на ефекті очищення, що повинне проводитися в період паводку, коли дійсне розбавлення стічних вод, що скидають у водоймище, значно перевищує розрахункове.

У процесі експлуатації очисних споруд ведуть контроль за загальною кількістю стічної води, поступаючої на очищення і розподілом її за окремими елементами, за характером і кількістю забруднень, що містяться в стічних поступаючих водах і очищених, за витратою реагентів, електроенергії, змащувальних матеріалів і т. п., а також за кількістю і складом осаду (шламів) та інших продуктів, що вилучаються з води і їх видаленням (використовуванням).

Загальну кількість стічної води, що поступає на очисні споруди вимірюють і записують у спеціальний журнал. Характер і кількість забруднень у стічних водах, що поступають і очищених, визначають аналізами, які ділять на короткі (робочі), їх виконує обслуговуючий персонал очисних споруд на місці, і повні (лабораторні), що виконують у лабораторії цеху водопостачання або заводській лабораторії. Результати аналізів води і осаду заносять у спеціальний журнал.

Для забезпечення нормальної роботи відстійників необхідно регулярно стежити за:

- рівномірністю розподілу стічної води, що поступає між секціями чи окремим однотипними спорудами;
- рівномірністю розподілу води по всьому поперечному перетину відстійника (за допомогою розподільних лотків прямокутних відстійників, розподільних чаш круглих відстійників);
- рівномірним переливом проясненої води через водозливні кромки по всій довжині відстійника;
- своєчасно видаляти з відстійника осад (шлам) і речовини, що спливали;
- утримувати в чистоті розподільні і збірні лотки.

При цьому необхідно проводити вимірювання кількості води, що поступає і визначати вміст у ній важких (осідаючих) і легких (спливаючих) домішок.

Регулювання роботи відстійників

Рівномірний розподіл води у відстійнику для кращого використання його об'єму досягається наступними заходами:

1. Під час вступу води у відстійник через щілини і вікна в стінці відстійника, або через лотки повинні бути правильно встановлені розподільні напівзанурені дошки або відбійні щити. Відстань їх від вікон впускань, або лотків встановлюють у початковий період експлуатації і перевіряють при значних змінах у кількості стоків, що поступають у відстійник (наприклад, при розширенні заводу). Звичайно напівзанурену дошку розташовують не менше ніж у 0,5—0,8 м від вікон або лотка і занурюють на 0,5 м; верхнє ребро дошки повинне виступати над поверхнею води на 0,2—0,3 м.

2. Вода повинна поступати в розподільний лоток відстійника рівномірно через щілину лотка або переливатися рівним шаром по всій довжині зливного ребра лотка, що досягається суто горизонтальним положенням цього ребра. Нерівності щілини і ребра підштукатурюють цементним розчином. Якщо до ребра лотка прикріплена дошка, то її вирівнюють, підстругнувши фуганком. У радіальних відстійниках кромка кільцевого лотка може мати зубчастий водозлив, який повинен бути добре вирівняний по воді і завжди чистий від забруднень.

3. Під час вступу води в центр радіальних відстійників повинен бути забезпечений рівномірний розподіл її в радіальному напрямі, для чого застосовують розподільний пристрій (чашу). При перекосі чаші і при відкладеннях на стінках вікон або на дні чаші рівномірність розподілу води може бути порушена. В цьому випадку чашу потрібно виправити і прочистити.

Рівномірний збір відстояної води досягається при суто горизонтальному положенні переливного ребра збірної лотка. Щоб не порушувалися рівномірність і паралель розподілу струменів води у відстійнику, водозбірний лоток не повинен бути підтопленим, в іншому випадку відстійник працю-

ватиме зі зниженим ефектом. Основним показником роботи відстійників є кількість затримуваних завислих речовин і тих що виносяться водою, яка виходить.

9.3. Експлуатація радіальних відстійників доменної газоочистки

Експлуатація водоочисних споруд, як і всієї системи оборотного водопостачання доменної газоочистки, складається з досить складних процесів, особливо при очищенні газу від доменних печей, що виплавляють феромарганцевий чавун.

При експлуатації радіальних відстійників повинні бути забезпечені правильний розподіл стічних вод, що поступають і відведення освітлених вод. Накопичений осад з відстійників своєчасно повинен забиратися шламовою насосною станцією, при цьому повинна бути забезпечена безперебійна робота скребкової ферми, що обертається.

У процесі роботи відстійників можливі випадки погіршення ефекту освітлення за цілим рядом причин, зокрема в результаті:

- надмірного перевантаження його більш допустимого (приблизно можна вважати допустиме навантаження до $1,5\text{--}2 \text{ м}^3/\text{год}$ на 1 м^2 площі відстійника);
- неправильного розподілу води, що освітлюють за площею відстійника у разі порушення горизонтальності кромки зливного ребра збірного лотка. Цей дефект усувають підрівнюванням зливного ребра рубанком, не зупиняючи відстійник; для цього в переливну кромку лотка повинні бути встановлені дерев'яні бруски;
- неправильного розподілу води, що викликане затоплюванням збірного лотка відстійника значним перевантаженням порівняно з проектом. Цей дефект може бути усунений влаштуванням додаткового відведення води з периферійного лотка трубою у водоприймальну камеру насосної станції.
- надлишковою швидкістю обертання скребкової ферми, що скаламучує осад у відстійнику; як правило, редуктори повинні бути з таким передава-

льним числом, що б колова швидкість руху ферми була не більше 3–4 м/хв.

Для нормальної роботи радіального відстійника необхідно:

- не рідше 1–2 рази за зміну чистити грати, що вставлені перед відстійником, особливо в період чищення скрубера або електрофільтру, коли в стічні води поступають цілі шматки агломерованого осаду (вугільного пилу, часток руди, флюсів);
- безперервно очищати ребра збірної лотка відстійника гумовою щіткою, що прикріплена до скребкової ферми, що обертається;
- зупинка для огляду та ремонту скребкової ферми займає не менше 3–4 годин. Для запобігання довгого простою ферми - звукова або світлова сигналізація в машинний зал. Спостереження за обертанням ферми здійснює черговий машиніст шламової насосної станції не менше чотирьох разів на зміну;
- регулярно проводити змащування елементів скребкової ферми, що обертаються, звертаючи увагу на огляд і змащування центральної опори ферми;
- найбільшу увагу приділяти механізмам обертаючої частини ферми - контактним кільцям, що знаходяться на центральній опорі, які повинні бути герметично закриті. Утворення щілин у кожусі призводить до конденсації пари води, а взимку до утворення льоду на кільцях, унаслідок чого порушується живлення електродвигуна;
- не рідше 1–2 рази на рік очищати відстійники й оглядати споруди, що розташовані під водою, а також шламовий приямок;
- видаляти шлам з відстійників шламовими насосами безперервно або періодично з перервою не більше 2–3 год.;
- співвідношення твердого до рідкісного в перекачуванні пульпи підтримується в межах 1:3 – 1:5. Перш ніж почати відкачування шламу з одного або іншого відстійника, промивають шламовий затвор попередньо очищеною водою і не рідше 1–2 рази на зміну всмоктуючі трубопроводи.

Ці операції проводять так само, при переході на роботу з одного насоса на іншій.

Трубопроводи і лотки системи оборотного водопостачання доменної газоочистки чистять не рідше 2÷3 разу на рік або частіше, якщо не використовувати стабілізаційну обробку оборотної води. Найкращим способом очищення трубопроводів вважається гідровібраційний.

9.4. Експлуатація споруд для очистки стічних вод прокатних цехів

Первинні відстійники для осадження крупної окалини знаходяться у веденні прокатного цеху. В завдання цеху водопостачання входить тільки контроль за своєчасним очищенням первинних відстійників прокатними цехами щоб уникнути перекачування у вторинні відстійники води з великим вмістом окалини. Експлуатація всієї решти комплексу споруд (насосної станції і трубопроводів) здійснюється цехом водопостачання.

При експлуатації *вторинних відстійників* стічних вод прокатних цехів з великим числом секцій, необхідно рівномірно розподіляти воду, що поступає, між секціями, рівномірно скидати відстояну воду по всій довжині збірної лотка, своєчасно видаляти масло на поверхні й окалину з дна відстійника і, нарешті, періодично ремонтувати споруди і механізми.

Надходження води в кожен секцію відстійника регулюють шибєрним водозливом. При цьому слід мати на увазі, що в підвідних і розвідних воду лотках, вміст суспензії в потоці води не однаковий за глибиною: верхні шари містять найдрібнішу суспензію, а нижні — більш крупну.

Осад за довжиною відстійника розподіляється також нерівномірно: в першій чверті довжини відстійника з потоку води випадає завислих речовин 61% (за масою), на половині — до 17%, а в третій і останній чверті — до 11%.

Найбільш рівномірне розподілення осаду за секціями відстійника досягається при підведенні та розподіленні води трубами. За наявності у відстійнику заглибленої частини (прямка) вона заповнюється переважно більш

крупною окалиною, яку видаляють грейферними кранами. До заглибленої частини осад зі всієї площі відстійника може бути пересунутий скрепером.

Робота відстійника вважається нормальною, якщо в проясненій воді міститься не більше 80 мг/л завислих речовин (окалина) крупністю не вище 0,01 мм і масла не більше 20 мг/л, у виключних випадках допускається вміст масла після відстійників до 50 мг/л.

Масло, що сплигло і затримане напівзануреним щитом, видаляють періодично в міру його накопичення на поверхні води шаром 2—4 см. При видаленні масла рівень води у відстійнику дещо підвищують, скорочуючи відведення освітленої води з секції, при цьому масло переливається тонким шаром (2—4 мм) по всій довжині маслосбірного лотка.

Замість жолобів у відстійниках встановлюють також маслосбірні труби з боковим вирізом. Масло з поверхні води потрапляє через одну з кромek вирізу в трубі (при її повороті) і відводиться з неї боковим жолобом або гофрованим шлангом у масло збірний колодязь. Значна кількість масла збирається також і на початку відстійника, перед напівзануреним щитом. Це масло видаляють, знявши напівзанурений щит і підганяючи масло разом із речовинами, що сплигли до кінця відстійника.

Рівень осаду у відстійнику внаслідок його великої щільності заміряють безпосередньо рейкою. Секції виключають на очистку, коли глибина шару води над осадом становить менше 1 м вздовж приблизно половини відстійника. На час очистки секції відстійника від окалина воду в секцію не подають. Воду з відключеної секції перекачують у секцію тільки що очищену від окалина передвижним насосом.

Осад з відстійника вивантажують скрепером або грейфером на автомобільному чи залізничному крані і погрузають на залізні дорожні платформи або в автосамоскиди.

Очистку відстійників від осаду здійснює ремонтна бригада цеху водопостачання, склад якої визначається в залежності від способів видалення осаду, його кількості й числа секцій у відстійнику.

Вологість свіжого осаду в середньому можна вважати рівною 30%. При цьому щільність свіжого (вологого) осаду $1,5-2,2 \text{ т/м}^3$, щільність сухого осаду $3,7 \text{ т/м}^3$. На підставі багатократних замірів вважають, що на кожні 1000 м^3 води, яку очищають у відстійниках утворюється $0,1 \text{ м}^3$ вологого осаду при наявності первинного відстійника (ями для окалини) в цеху і до $0,2 \text{ м}^3$ – за відсутністю первинного відстійника.

При нерівномірному навантаженні на секції і нерівномірному розподілу потоку води в самій секції, а також при надмірному накопичуванні у відстійнику масла й осаду, вміст масла і завислих речовин у відстояній воді збільшується. Щоб уникнути цього, черговий машиніст насосної станції, який подає воду прокатним цехам, повинен періодично (через кожні 2 год) перевіряти проби води для встановлення вмісту в ній масла й осаду, порівнюючи для цього пробу води з еталонами, які приготовлені в лабораторії.

Ефективність роботи відстійника стічних вод прокатних цехів перевіряють, аналізуючи проби води, відібрані в підвідному та відвідному каналах порціями через кожні 2 год. Крім цього, один раз на добу аналізують усереднений склад з проб води, відібраних на добу.

Облік роботи відстійника ведуть у журналі за встановленою формою.

9.5. Експлуатація фільтрів

Фільтрувальні установки на заводах чорної металургії застосовують для доочищення стічних вод у циклі оборотного водопостачання доменного газоочищення (після радіальних відстійників) при виплавці феромарганцевого чавуну, а також у циклі оборотного водопостачання прокатних і \square нгі \square прокатних цехів (після вторинних відстійників).

Експлуатація фільтрів зводиться до регулювання швидкості фільтрування і періодичної промивки фільтруючого матеріалу від засмічень. Ці операції виконує черговий оператор по фільтрам.

Напірні фільтри є закритими вертикальними резервуарами, виконаними з листової сталі. Фільтри працюють при тиску води в них до 600 кН (6 атм.).

При роботі напірного фільтру в корпусі збирається повітря, для автоматичного випуску якого бажано встановити вантуз.

Експлуатація напірних фільтрів відрізняється від експлуатації відкритих фільтрів тим, що процес фільтрування в напірних фільтрах не можна спостерігати візуально, як у відкритих фільтрах.

Особливості експлуатації фільтрів на підприємствах чорної металургії наступні. При очищенні стічних вод, що містять колошниковий пил доменних газів, схильний до виділення нерозчинного карбонату кальцію, який відкладається у завантаженні, прогресивне забруднення призводить до утворення у завантаженні крупних плоских ком'їв. Запобігти цьому явищу можна тільки обробкою води, що фільтрується, соляною кислотою. В цьому випадку забруднення завантаження фільтрів зменшується, а іноді усувається повністю шляхом промивання її водою з повітрям.

При зменшенні пропускної здатності через засмічення завантаження фільтра можна обробити 3-5 % розчином інгібірованої соляної кислоти (при використанні сірчаної кислоти може утворитися гіпс, що небажано). В якості інгібітору можна застосувати уротропін або «Унікол» марок ПБ-5 чи ПБ-6 (концентрація розчину 1,5-2 г/л), а також формалін 40% НСОН (концентрація 5-8 г/л) або суміш 40% формаліну (%г/л) та 25% аміаку (3г/л). Розчином інгібірованої кислоти заливають завантаження в фільтрі на 8-16 год, при цьому її краще перемішувати повітрям або механічною мішалкою. Потім розчин випускають у ємкість, а фільтр промивають водою до усунення кислотності в промивній воді. Цей розчин після відстоювання та додавання в нього кислоти й інгібітору можна використовувати знову. Фільтр після регенерації знову включають у роботу, при необхідності, довантажують фільтруючим матеріалом.

При очищенні стічних вод, що містять масло й інші нафтопродукти, а також окалину і т. п., відбувається прогресивне забруднення завантаження, (особливо піску) за рахунок сорбції або липкими частинками. В результаті цього пропускна спроможність фільтру знижується. Запобігти або ослабити забруднення можна промивкою завантаження фільтру з великою інтенсивністю і теплою водою, причому чим вище температура промивної води, тим краще промивка.

Керування роботою фільтрів полягає в регулюванні надходження води на фільтри, регулюванні швидкості фільтрування води і проведенні промивки для видалення затриманих фільтром забруднень.

Промивку фільтру проводять у випадках, коли швидкість фільтрування при повністю відкритому регуляторі швидкості фільтрування зменшується нижче за розрахункову величину.

Для контролю за роботою фільтри обладнують відповідними приладами: показниками втрати напору, швидкості фільтрування, інтенсивності промивки.

9.6. Експлуатація охолоджувачів оборотної води

Ефективність роботи оборотних систем охолодження, їх техніко-економічні показники і вплив на навколишню екологічну обстановку, в значній мірі визначаються рівнем та якістю експлуатації охолоджувачів, на що слід звертати особливу увагу.

Експлуатація охолоджувачів складається з поточної експлуатації, призначення якої забезпечити найбільш ефективну роботу охолоджувачів, періодичних і капітальних ремонтів.

Основним завданням при експлуатації охолоджуючих пристроїв є забезпечення надійності їх роботи та підтримування охолоджуючого ефекту на рівні проектних показників. З цією метою необхідно щодня (не одного одного разу на зміну) здійснювати нагляд за станом елементів охолоджувачів. У денний час нагляд здійснює спеціально призначений персонал, а вночі відпо-

відальність за наглядом покладається на начальника зміни цеху, в веденні якого знаходиться охолоджувач.

Детальний огляд елементів з відключенням окремих зон зрошення (окрім водосховищ) повинен проводитися не менше двох разів на рік (перед літньою та зимовою експлуатацією).

Результати щоденного огляду необхідно заносити в журнал. На підставі детального огляду складається відомість дефектів зі вказівкою способів і строків їх усунення.

Контроль за роботою охолоджувачів здійснюють шляхом проведення випробувань (бажано в теплий період року). В залежності від поставленої мети розрізняють три види випробувань: приймальні, балансові й експлуатаційні.

Експлуатація *ставків-охолоджувачів* зводиться до:

- охорони та ремонту вузлу гідротехнічних споруд (гребель і водоскидів);
- регулювання кількісного (приток і скид води) режиму;
- підтримки рівня води в ставку;
- очищення ставка від осаду (шламу), особливо коли ставок служить і для прояснення води;
- вивчення теплового режиму та проведенню заходів з покращення ефекту охолодження (і прояснення) води.

При експлуатації ставків-охолоджувачів можуть відбуватися зміни теплового режиму викликані, як умовами експлуатації, так і зміною потужності підприємства. Значним недоліком ставків-охолоджувачів є заростання їх водною рослинністю, що призводить до утворення застійних зон, що порушують циркуляцію води, і погіршує охолоджуючу здатність ставків. Водна рослинність забиває сітки водоприймачів, забруднює теплообмінні апарати. Одним з головних завдань експлуатації ставків-охолоджувачів є боротьба з водною рослинністю, видаленням її за допомогою лебідок з тросами, скошування спеціальними водними косарками. Крім того, здійснюється введенням в оборотну воду або прямо в ставок-охолоджувач хімічних реактивів, що при-

гнічують розвиток водної рослинності. Для боротьби з водною рослинністю застосовують біологічні способи, наприклад, зарибнення ставків рослиноїдними рибами: білим амуром, товстолобиком і ін. Періодично ставок очищають від наносів, проводять кріпильні роботи на ділянках, схильних до розмивань, здійснюють інші профілактичні заходи, що підтримують належну якість води в ставку-охолоджувачі, збереження струмененапрямних гребель, систем випуску і забору води.

Експлуатація *бризкальних басейнів* полягає в:

- регулюванні роботи басейну залежно від сезонів року і технологічного режиму роботи охолоджуваної апаратури з метою отримання необхідної температури охолодженої води;
- прочищенні сопел, що забруднилися, ремонті та їх заміні, а також ремонті й заміні соплотримачів і розподільних труб (про забруднення сопел можна судити за формою факела – він стає нижче й інтенсивність викиду струй зменшується);
- періодичному очищенні басейну та ремонті стінок і днища;
- здійсненні планово-запобіжних ремонтів;
- вивченні теплового режиму, регулюванні роботи басейну та освіженню циркулюючої в оборотній системі води шляхом подачі відповідної кількості свіжої води;

Експлуатація *градирень* зводиться до:

- регулювання їх роботи з метою отримання необхідної температури охолодженої води
- замірів температури та оцінювання ефекту охолодження;
- періодичної очистки від механічних засмічень та ремонту лотків, розподільних труб, сопел лотків, жолобів, трубок зрошувача та резервуару під градирнею);
- боротьби з обмерзанням;
- проведення поточних і капітальних ремонтів.

Ефект роботи градирень передусім забезпечується за рахунок рівномірного розподілення води по всій поверхні зрошувача, що досягається регулюванням навантаження за допомогою засувки і шиберів розподільних пристроїв. Регулювання охолоджуючого ефекту вентиляторних градирень досягається зміною режиму роботи вентиляторів.

Належний догляд за градирнями підвищує надійність їх роботи.

На вентиляторних градирнях необхідно регулярно оглядати і змащувати вентилятори і їх приводи.

Водозбірний басейн не повинен мати течії. Перевірка його гідравлічної щільності повинна проводитися в перші два роки щорічно, а надалі — не рідше одного разу на три роки шляхом спостереження за рівнем води в резервуарі протягом двох — трьох діб при відключеній від решти охолоджувачів градирні та щільно закритих засувках на водоводах. Втрата води на фільтрацію не повинна перевищувати 3 л з 1 м² змоченої поверхні водозбірного басейну. При виявленні пошкоджень їх необхідно усунути.

Воронка для запобігання переповнюванню водозбірного басейну, повинна бути обладнана грубими сміттєстримуючими ґратами. Басейн треба очищати від мула і сміття не рідше 1 разу на два роки, для чого рекомендовано використовувати гідроелеватор з розпушувачем.

Водорозподільний пристрій. У випадку лоткового розподілення води при ремонті градирень особливу увагу слід звертати на горизонтальність встановлення лотків, оскільки порушення розподілу води за площею зрошування є однією з найбільш поширених причин незадовільної роботи градирні.

Рівень води в лотках у периферійній зоні не повинен відрізнятися від рівня в центральній зоні більше ніж на 15%. Якщо глибина води в лотку менше 120 мм, слід встановити зливні патрубки з меншим діаметром.

Необхідно не менше двох разів на рік здійснювати очистку лотків, відкладення, що утворилися на відбивних елементах видаляти зануренням їх у 10-15%-вий розчин соляної або сірчаної кислоти.

Для очистки напірної водорозподільної системи (не менше двох разів на рік) на кінцях розподільних труб повинні бути передбачені знімні заглушки, а для попередження засмічення основних розбризкувачів на кінцях розподільних труб слід встановлювати промивні евольвентні сопла діаметром 40 мм. Для запобігання утворенню відкладень вода перед подачею на градирні повинна проходити спеціальну обробку.

Зрошувач, що прийшов у непридатність, треба замінити. Для збільшення строку служби елементи, виконані з деревини, необхідно піддавати антисептичній обробці.

Башта повинна бути щільною і виключати підсмоктування повітря. В протилежному випадку частина повітря буде проходити мимо зрошувача, не стикаючись з водою і охолоджуючий ефект градирні знизиться. З цією метою треба здійснювати своєчасний ремонт зруйнованих ділянок, очистка і окраска металевих конструкцій. Указані заходи планують і здійснюють на підставі результатів періодичного обстеження елементів башти.

Для запобігання руйнування вентиляторів градирень від динамічної дії (вібрацій), викликаній роботою вентилятора, його лопаті слід ретельно балансувати. Крім того, вентилятор повинен бути забезпечений вібровимикачем, вимикаючим його, коли вібрації перевищать нормативну величину.

У зовнішній обшивці необхідно своєчасно ліквідувати щілини, що знижують тягу і які є причиною утворення льоду в зимовий період.

Експлуатація в зимовий період полягає в звільненні повітровхідних вікон і частини зрошувача від льоду. Крижані завіси, що утворюються на повітровхідних вікнах, значно зменшують кількість повітря, що поступає, і тим самим погіршують процес теплообміну.

У *вентиляторних градирнях* процес утворення крижаної завіси може привести до додаткових вібрацій будівельної конструкції. Попередити утворення крижаних завіс можна створенням водопроводів з теплою водою, трубопровід якої укладається над повітровхідними вікнами і зрошує крижану завісу.

У *багатовій градирні* для попередження утворення крижаної завіси перерозподіляють витрати води з центральної частини на периферію. Тим самим піднімається температура в повітрявихідних вікнах і не утворюється крижана завіса. Крижана завіса не утворюється, якщо температура води в градирні вище 12°– 15°C.

Боротьбу з обмерзанням градирень здійснюють наступними способами:

- рівномірним розподіленням охолоджуючої води по периферії зрошувача, що примикає до вхідних вікон;
- перерозподіленням гідравлічного навантаження між периферійною і центральною частинами зрошувача зі збільшенням її на периферії;
- відключенням верхнього ярусу розподільної системи (у відкритих градирнях) з метою зменшення тривалості охолодження;
- перекриттям частини повітрязабірних вікон спеціальними щитами;
- встановленням по периметру градирні поблизу вхідних вікон бризкальних сопел для підігріву повітря, що надходить ;
- відключенням вентиляторів, якщо зовнішня температура повітря більше -20, - 30°C;
- при низьких температурах можна використовувати пониження числа оборотів вентиляторів або реверс (періодична зміна напрямку тиску повітря);
- відключення окремих секцій.

У *радіаторних градирнях* для запобігання замерзанню радіаторів здійснюють:

- відключення частини радіаторів для підвищення теплових навантажень на працюючі радіатори;
- зменшення притоку повітря шляхом закриття радіаторів спеціальними жалюзіями;
- автоматичний підігрів охолоджуючої води при різкому зниженні теплового навантаження, зниженні температури або збільшенні швидкості вітру;

Розміщення градирень на плані промпідприємства здійснюють таким чином, щоб було безперешкодне підведення повітря до градирні. Відстань між градирнями визначається згідно зі СНиП II- 89-88.

Градирні є джерелом шкідливої дії на оточуюче середовище, як джерело шуму і шкідливих викидів речовин, за рахунок виносу бризків.

При будівництві градирень необхідне узгодження з санінспекцією. Тому необхідно передбачити заходи щодо зниження шуму:

- за рахунок конструктивних змін і місцевого розташування;
- облаштування екрану на шляху розподілу шуму.

Вплив аерозолів: вони зволожують поверхню землі й довколишніх споруд і можуть викликати обмерзання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аксенов В.И. Водное хозяйство промышленных предприятий: Справ. пособие – М.: Теплотехник, 2005. – 640с.
2. Иванов В.Г. Водоснабжение промышленных предприятий: Учеб. пособ. - СПб: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2003. – 537с.
3. Рациональное использование и защита водных ресурсов в черной металлургии / Красавцев Г.Н., Ильичев Ю.И., Кашуба А.И. - М.:Металлургия, 1989. – 288 с.
4. 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. - К.: Будівельник, 1981. – 246 с.
5. Соколов Л.И. Ресурсосберегающие технологии в системах водного хозяйства промышленных предприятий.- М.: Изд-во АСВ, 1997. – 256 с.
6. Яковлев С.В., Карелин И.Я., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В. Водоотводящие системы промышленных предприятий: Учеб. для вузов. - М.: Стройиздат, 1990.-
7. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод/ Учебник для вузов.- М.: АСВ, 2004. – 704 с.
8. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання: Підручник для вузів.- Рівне: РДТУ, 2001. – 429с.
9. Запольский А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води: Підручник. – К.: Вища шк., 2005. – 671 с.
10. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. - М.: Стройиздат, 1986.
11. Кучеренко Д.И., Гладков В.А. Обратное водоснабжение (системы водяного охлаждения).–М.: Стройиздат, 1980.– 168 с.
12. Клячко В.А., Апельцин И.Э. Подготовка воды для промышленного и городского водоснабжения.–М.: Гос.изд.лит. по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962.–819с.
13. Орлов В.О., Зошук А.М. Водоподготовка: Навч. посібник. - Рівне: НУВГП, 2004. – 215 с.
14. Вахлер Б.Л. Водоснабжение и водоотведение на металлургических предприятиях: Спр-к. – М.: Металлургия, 1977.– 320 с.
15. Левин Г.М., Пантелют Г.С., Ванштейн И.А., Супрун Ю.М. Защита водоемов от загрязнения сточными водами предприятий черной металлургии. – М.: Металлургия 1978. – 216 с.
16. Покровский В.Н., Аракчеев Е.П. Очистка сточных вод тепловых электростанций. – М.: Энергия, 1980.–256с.
17. Григорук Н.О., Пушкарев Г.П. Водоснабжение, канализация и очистка сточных вод коксохимических предприятий. -М.:Металлургия, 1987. – 120 с.

18. Шабалин А.Ф. Водоснабжение и водоотведение на предприятиях черной металлургии. – М.: Металлургия, 1975. – 611 с.
19. Ансеров Ю.М., Дурнев В.Л. Машиностроение и охрана окружающей среды. -Л.: Машиностроение, 1979. – 224 с.
20. Макаров В.М., Беличенко Ю.П., Галустов В.С. Рациональное использование и очистка воды на машиностроительных предприятиях. - М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
21. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности. - М.: Стройиздат, 1977.–
22. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Под ред. В.Н. Самохина. Изд 2-е. М.:Стройиздат, 1981. – 639 с.
23. Мацнев А.И. Водоотведение на промышленных предприятиях. – Львов: Вища школа, 1986. – 200 с.
24. Дикаревский В.С., Курганов А.М., Нечаев А.П., Алексеев М.И. Отведение и очистка поверхностных сточных вод. Л.: Стройиздат, 1990.– 224 с.
25. Молоков М.В., Шифрин В.Н. Очистка поверхностного стока с территории городов промышленных площадок. – М.: Стройиздат, 1977. – 104 с.
26. Алферова Л.А., Нечаев А.П. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов.–М.: Стройиздат, 1984.– 272 с.
27. Марукян Г.М. Охрана водных бассейнов от загрязнения сточными водами ТЭС // Энергетическое строительство.–1991.–№10.–С.22–25.
28. Рихтер Л.А., Волков Э.П., Покровский В.Н. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов ТЭС.–М.: Энергоиздат, 1981.– 296 с.
29. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: спр-к / Под общ. ред. В.А.Григорьева, В.М.Зорина. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 588 с. – (теплоэнергетика и теплотехника; кн.4).
30. Алферова Л.А. Основные принципы создания экономически рациональных замкнутых систем водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов // Матер. Всес. семин. «Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий».–М.–1978.– с.1-8.
31. Браславский И.И., Семенюк В.Д., Когановский А.М., Киевский М.И. Проектирование бессточных схем промышленного водоснабжения. – К.: Будівельник, 1977. – 204 с.
32. Зазулин В.А. Проектирование замкнутых систем водного хозяйства тепловых электрических станций // Матер. Всес. семин. «Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий».–М.–1978.–с.26–28.
33. Попов А.И., Малюта Г.Н. Безотходные системы очистки сточных вод и водоподготовок в промышленной энергетике. – Саратов: Изд-во университета. 1992.- 199 с.
34. Стерман Л.С., Лавыгин В.М., Тишин С.Г. Тепловые и атомные электрические станции. – 2-е изд., перераб. – М.: МЭИ, 2000. – 408 с.
35. Тепловые и атомные электрические станции: Спр-к /Под ред. В.А.Григорьева, В.М.Зорина.- 2-е изд., перераб.и доп.–М.: Энергоатомиздат, 1989.–608с.–.(теплоэнергетика и теплотехника; кн.3)

36. Мещерский Н.А. Эксплуатация водоподготовительных установок электростанций высокого давления. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1984.–407с.
37. Стерман Л.С., Покровский В.Н. Физические и химические методы обработки воды на ТЭС.–М.: Энергоатомиздат, 1991.–327с.
38. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами.–М.: Минздрав СССР, 1974.–53с.
39. Рекомендации по предотвращению загрязнения водных объектов производственными водами тепловых электростанций / Белоусов Н.П. и др.–М.: СПО «Союзтехэнерго», 1979.–31с.
40. Правила приема производственных сточных вод в системы канализации населенных пунктов. – М.: Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Панфилова, 1988.–102с.
41. Правила приема производственных сточных вод в систему канализации г.Харькова. – Харьков: Филиал МПП, 1990. – 24с.
42. Семенюк В.Д., Евстратов В.Н., Киевский Н.И., Пазюра В.С., Копейка В.И. Водоподготовка промышленных предприятий. – К.: Техніка, 1980.–119с.
43. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. – М.: Энергия. – 1989.– 128 с.
44. Мещерский Н.А., Быч Е.С., Фролов Ю.В. Эксплуатация водоподготовок в металлургии. – 3-е изд., перераб. и доп.–М.: Металлургия, 1988.–399 с.
45. Пантелят Г.С. Системы водоснабжения металлургических производств, исключаящих сброс отработанных вод в водоемы. Автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.23.04. – М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1985. – 49 с.
46. Водоподготовка / Фрог Б.Н., Левченко А.П.; Под ред. Г.И.Николадзе.–М.: МГУСА, 1996.–678с.
47. Николадзе Г.И., Минц Д.М., Кастальский А.А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. – М.: Высш. шк., 1984. – 368 с.
48. Управление водоподготовительным оборудованием и установками /В.М.Герзон, А.П.Мамет, Е.Б.Юрчевский.-М.: Энергоатомиздат, 1985. -232 с.
49. Фейзиев Г.К. Высокоэффективные методы умягчения, опреснения и обессоливания воды. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.
50. Амосова Э.Г. и др. Технология водоподготовки котельных с сокращенными солевыми сбросами // Водоснабжение и санитарная техника. – 1998. - №5.- С.15-16.
51. Мамет А.П., Юрчевский Е.Б. О возможных решениях проблемы стоков систем водоподготовки на ТЭС // Теплоэнергетика. - №8. – 1996. – С.2-6.
52. Мартынова О.И., Седлов А.С., Федосеев Б.С. Проблемы и некоторые пути экологического совершенствования водопользования на тепловых электростанциях // Теплоэнергетика. – 1990. - №7. – С.2-8.

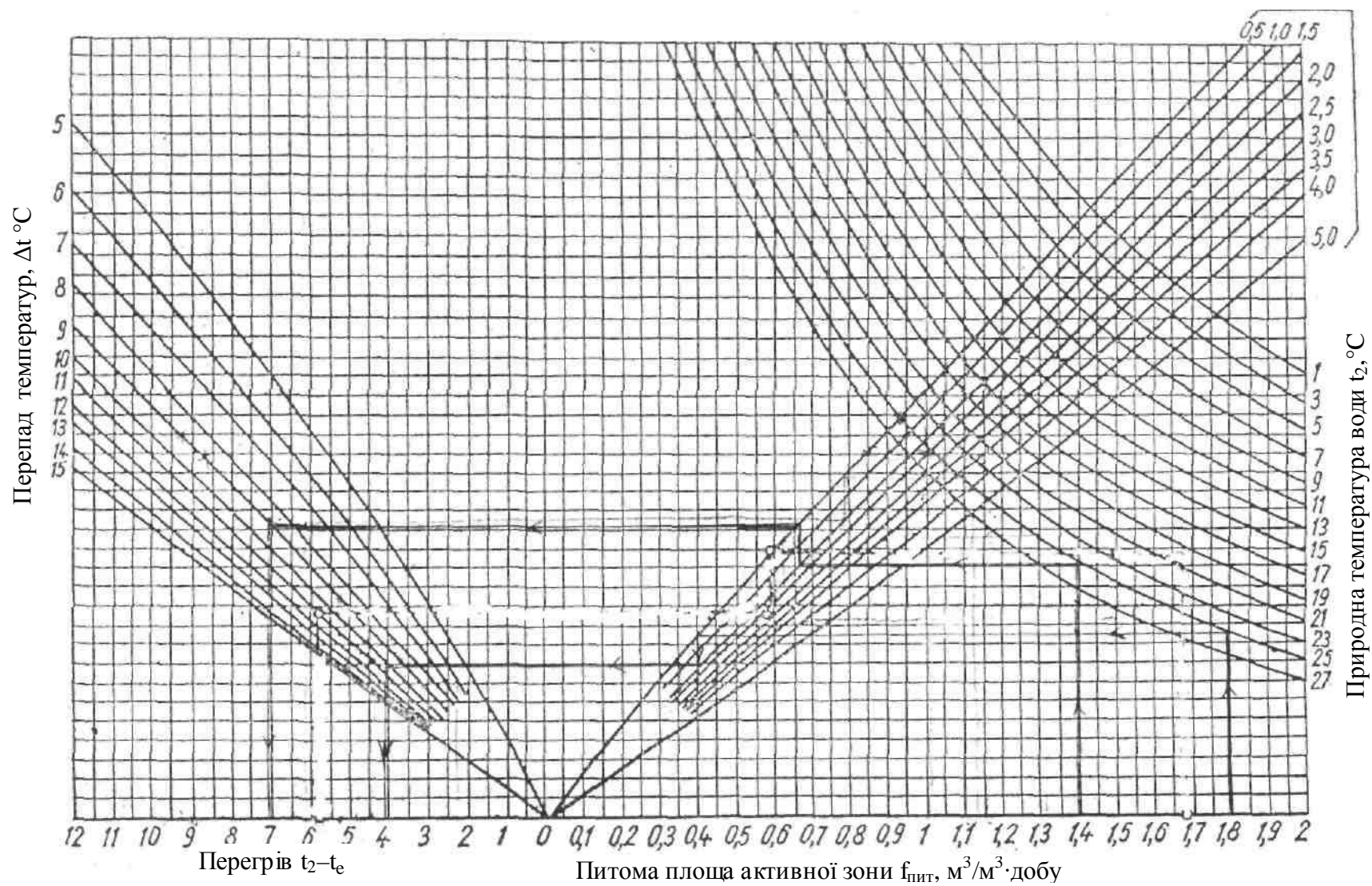


Рис. 1.1 – Графік розрахунку активної площі ставка-охолоджувача за методом Теплоелектропроекта

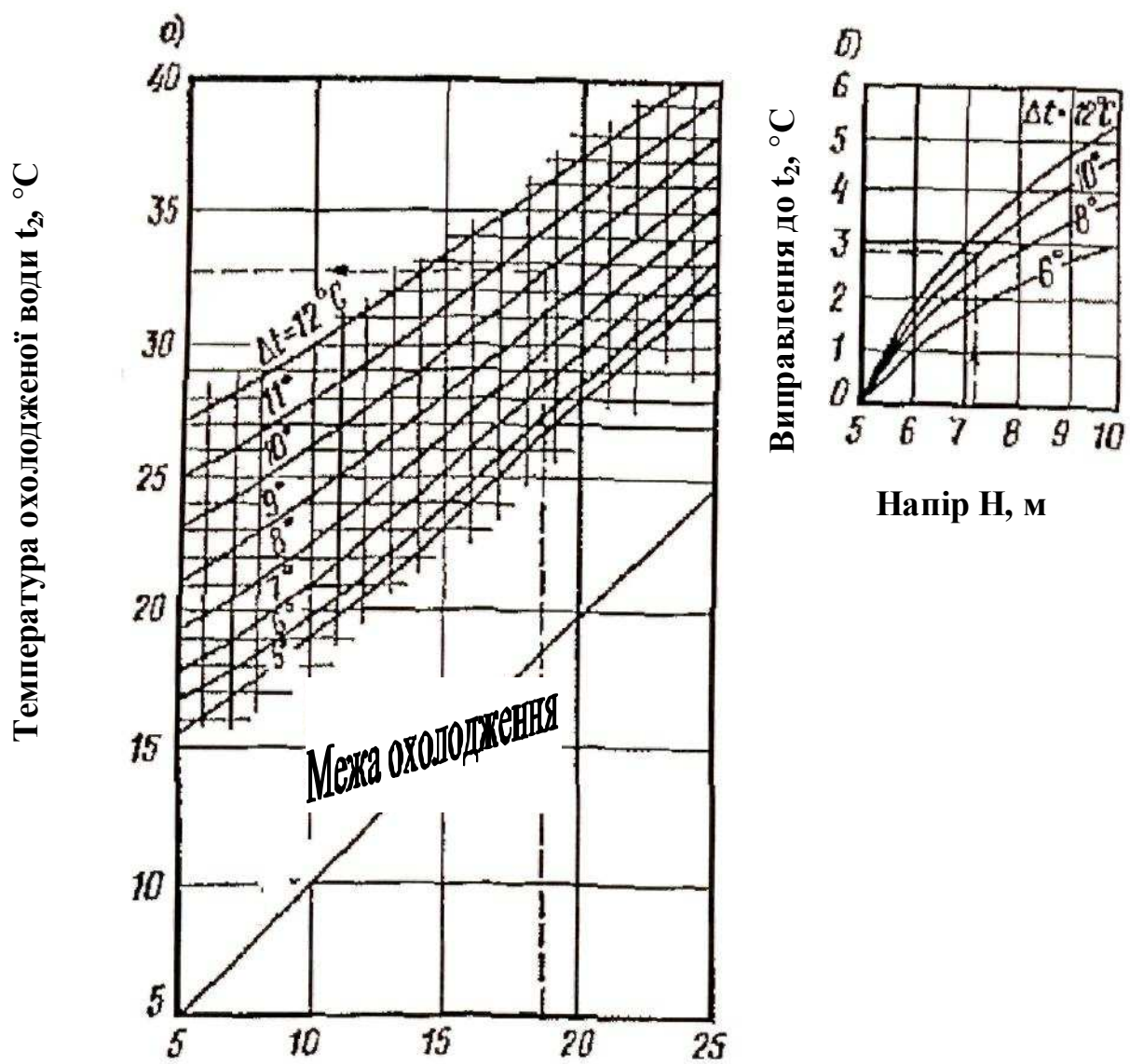


Рис.1.2 – Графік для розрахунку параметрів бризкального басейну

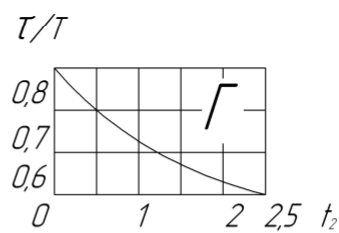
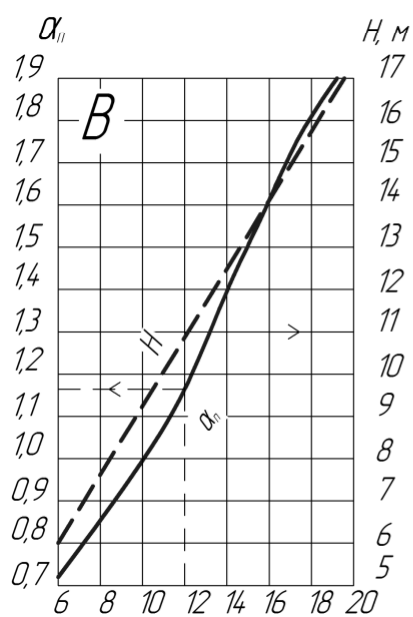
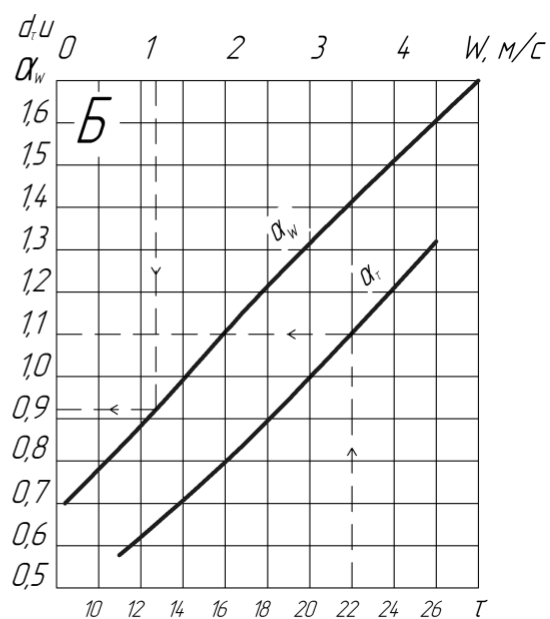
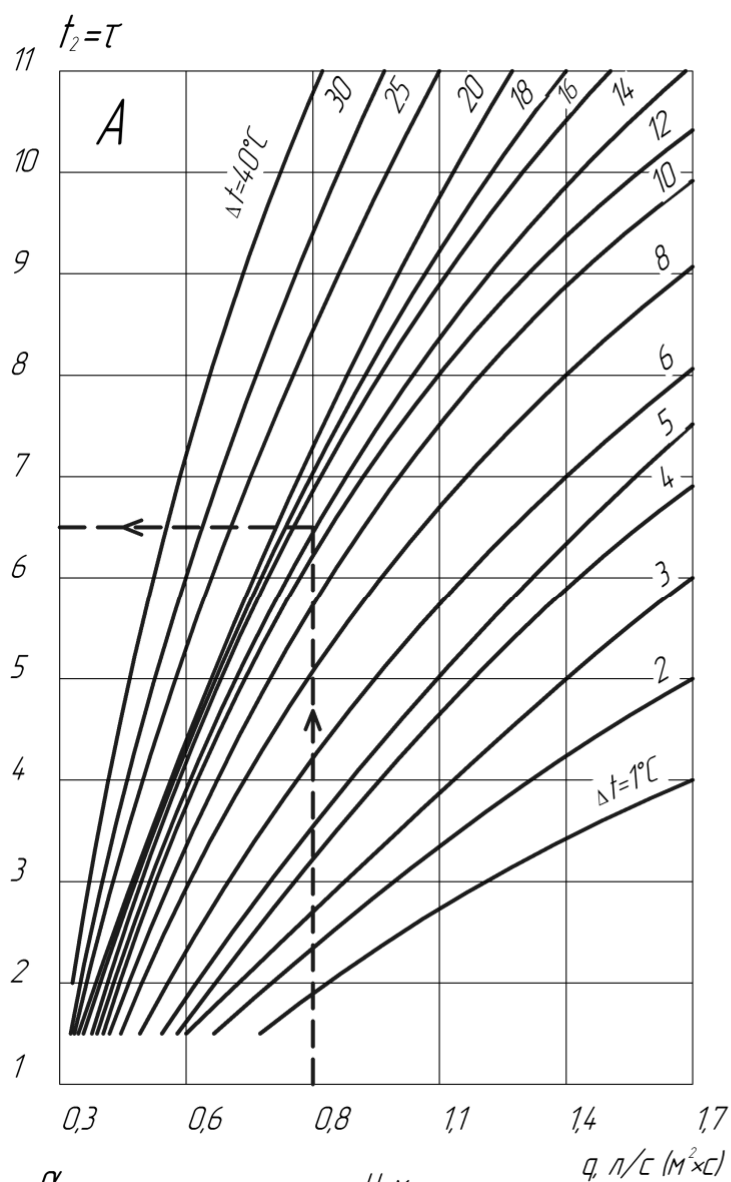


Рис.1.3 – Номограма для розрахунку відкритих краплинних градірень

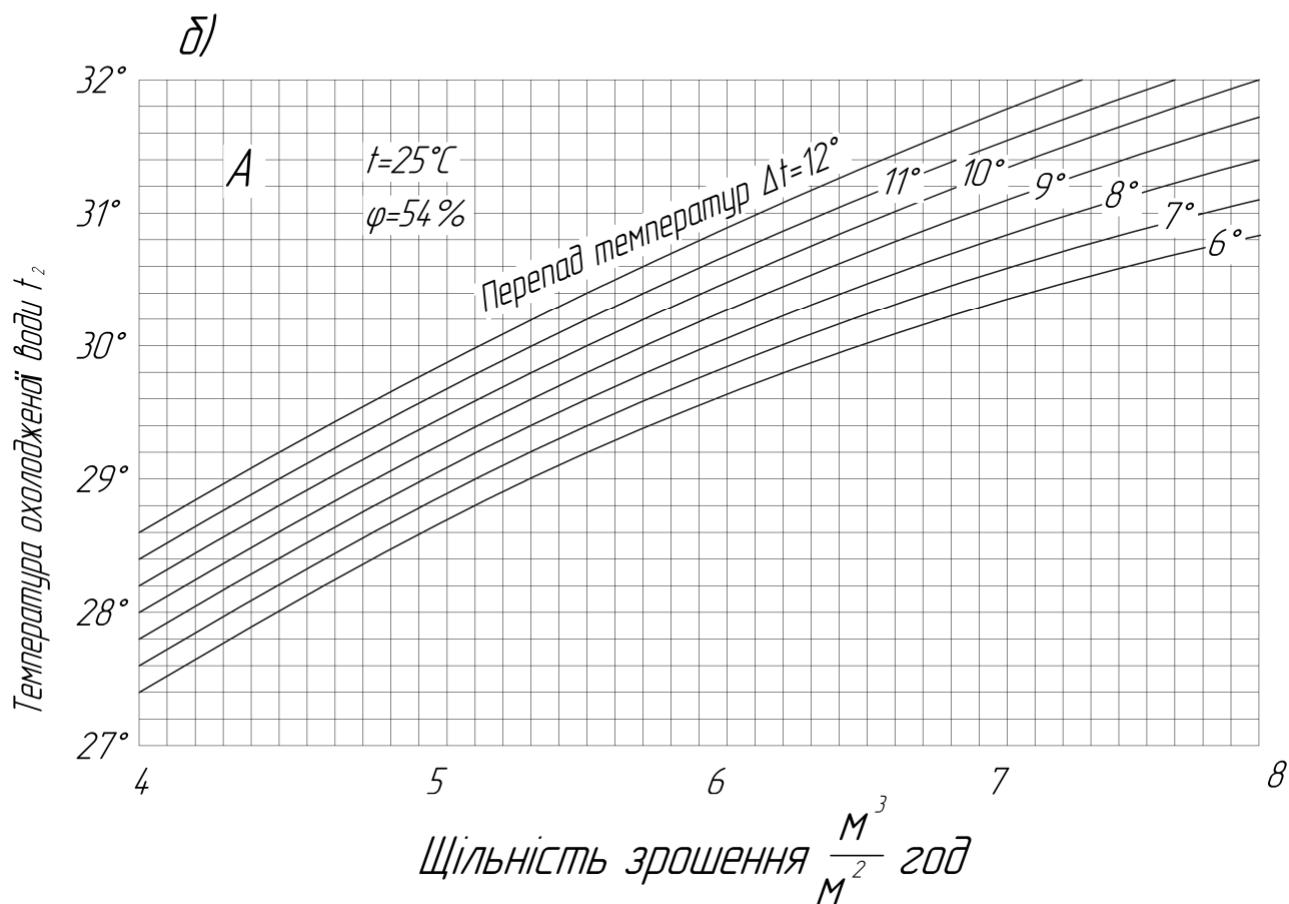
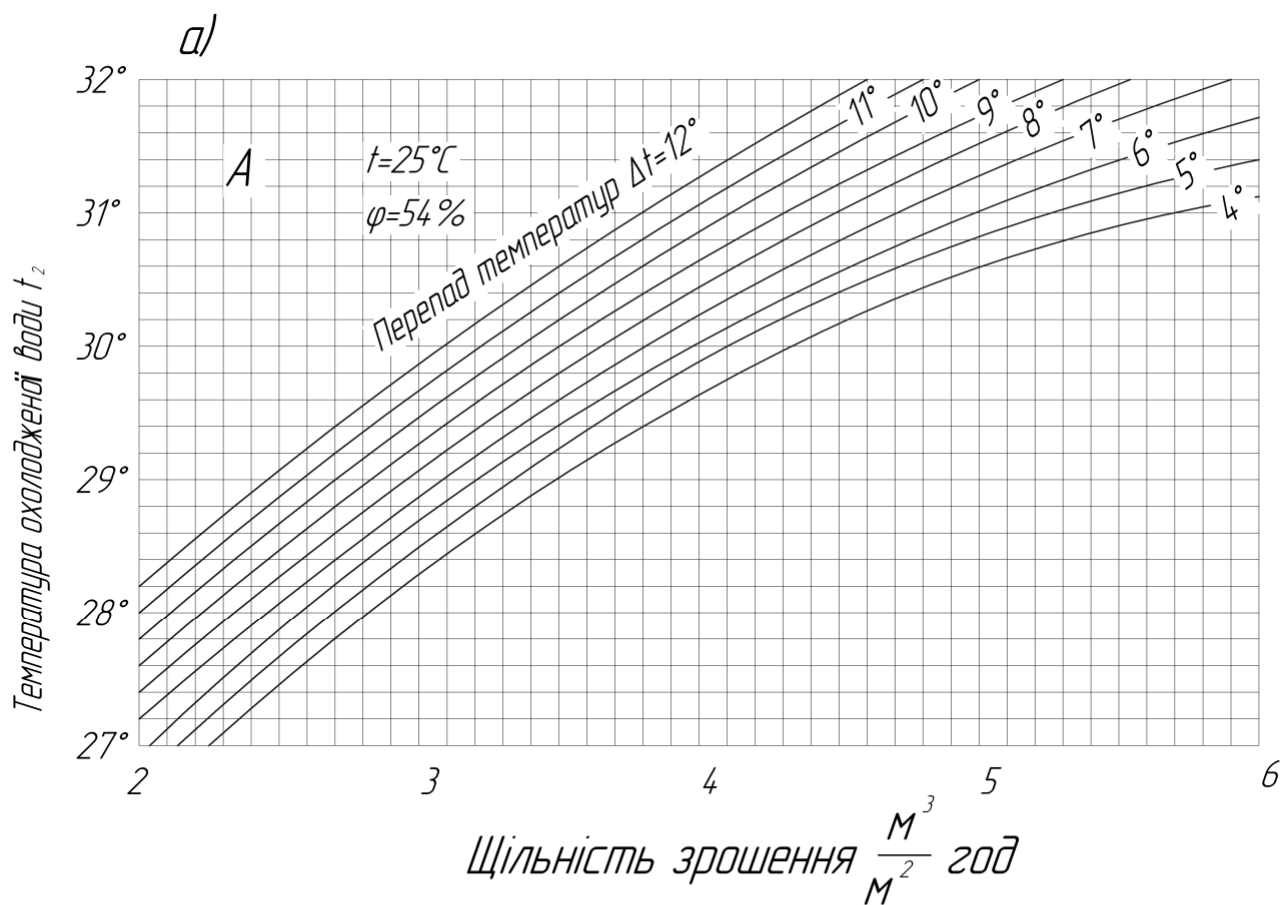


Рис.1.4 – Номограма для розрахунку баштових градирень
а – краплинні градирні б – плівкові градирні

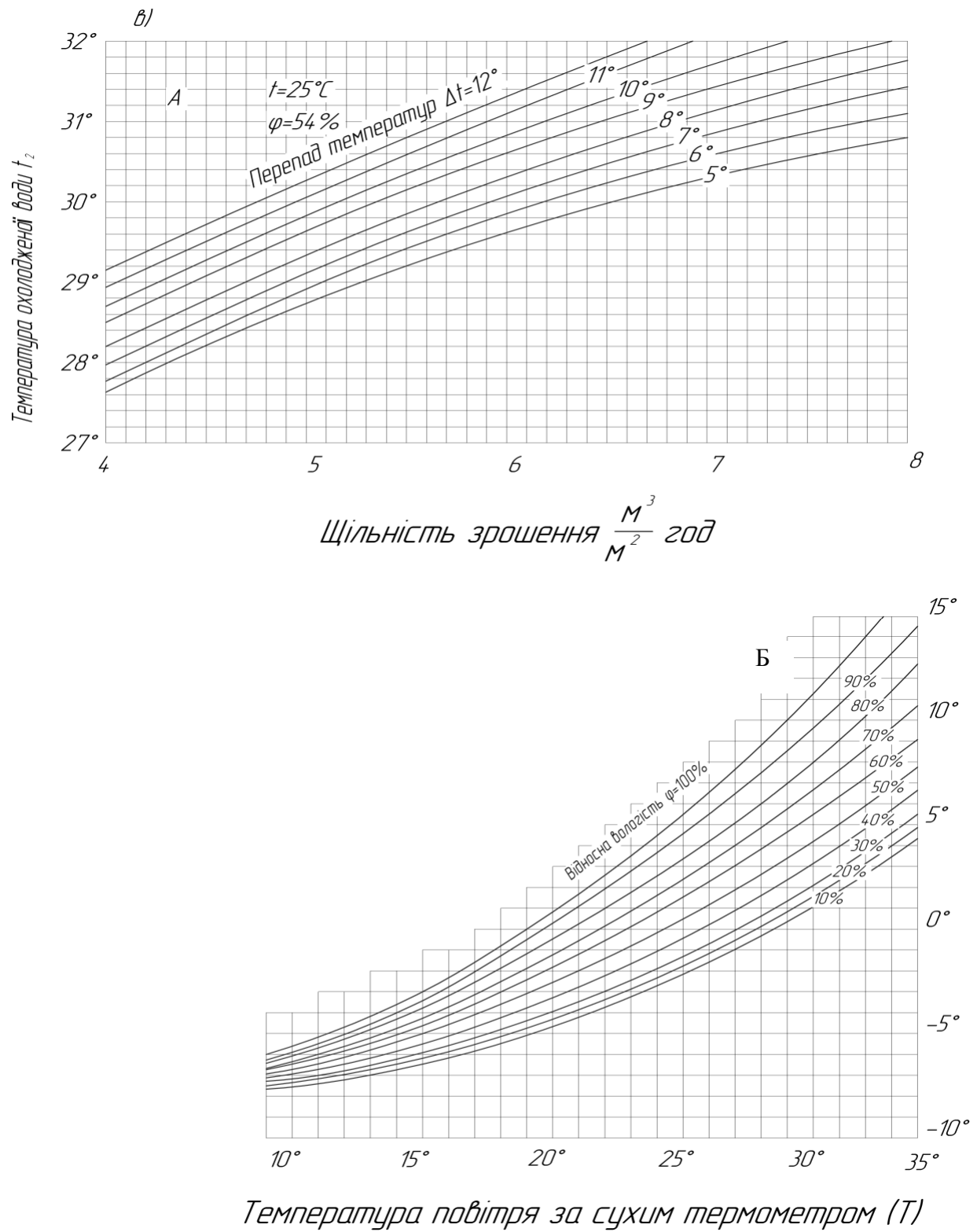


Рис. 1.5 – Номограма для розрахунку баштових градирень
в – краплинно-плівкові градирні

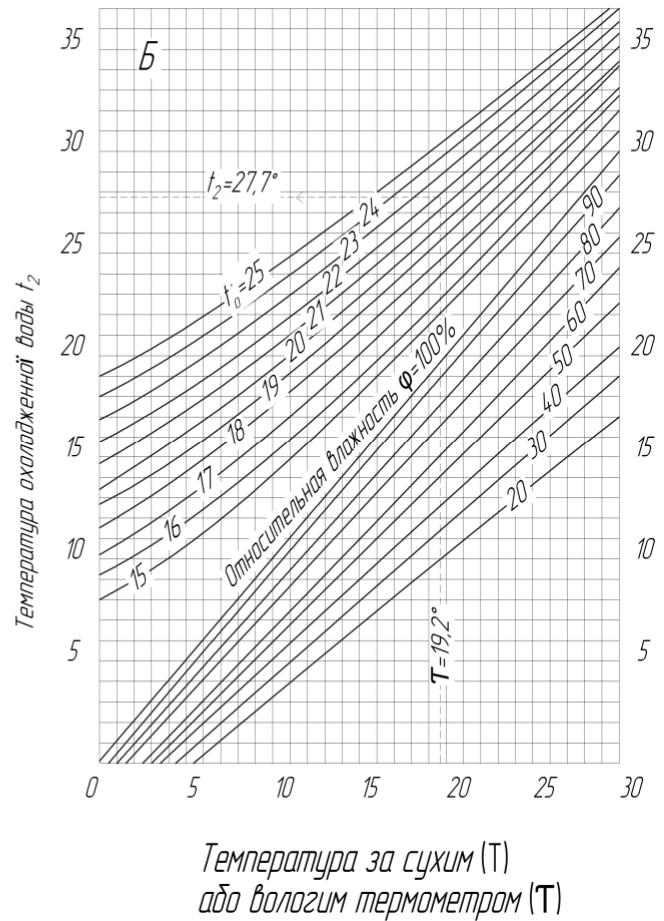
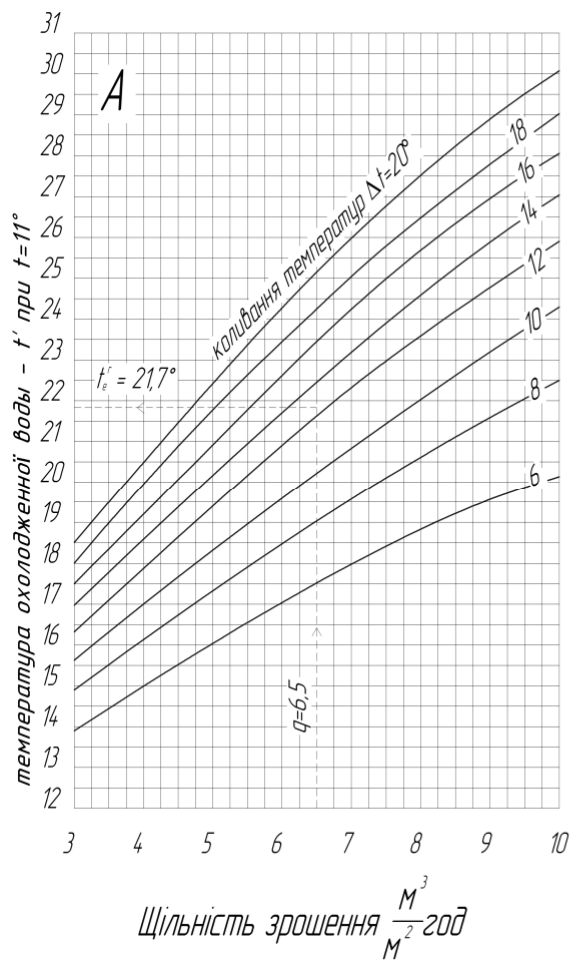


Рис. 1.6 – Графіки для теплового розрахунку вентиляторних плівкових градирень при середній швидкості повітря у зрошувачі 1,7-1,8 м/с

Таблиця 2.1 - Коефіцієнти $K_{\text{вип}}$ для градирень

| Температура повітря за сухим термометром, °C | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
|--|-------|--------|--------|--------|--------|
| $K_{\text{вип}}$ | 0,001 | 0,0012 | 0,0014 | 0,0015 | 0,0016 |

Таблиця 2.2 - Область застосування охолоджувачів

| Тип охолоджувача | Гідравлічне навантаження, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ | Теплове навантаження, $\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ | Ширина охолодження $\Delta t = t_1 - t_2$, °C | Глибина охолодження $\Delta t' = t_2 - \tau$, °C |
|---|--|---|--|---|
| Водосховища-охолоджувачі | 0,02-0,04 | 0,02-0,04 | 5-10 | 6-8 |
| Бризкальні басейни | 0,8-1,3 | 5-20 | 5-10 | 10-12 |
| Відкриті бризкальні градирні | 1,5-3 | 7-15 | 5-10 | 10-12 |
| Відкриті градирні з крапельним зрошувачем | 2-4 | 15-50 | 5-10 | 10-12 |
| Баштові градирні | 3-6 | 60-100 | 5-15 | 8-10 |
| Вентиляторні градирні | 6-8 | 80-100 і більше | 3-20 | 4-5 |
| Радіаторні градирні | — | — | 5-10 | 20-35 |

Таблиця 2.3 - Значення коефіцієнта К для вентиляторних градирень з краплинним зрошувачем або зрошувачем бризкального типу

| Напір води перед соплом, м | Температура повітря за вологим термометром, $t^{\circ}\text{C}$ | | | | | | | |
|---------------------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| $\Delta t = 5^{\circ}\text{C}$ | | | | | | | | |
| 4,5 | 442/395 | 461/408 | 485/422 | 506/436 | 528/450 | 549/466 | 570/485 | 592/505 |
| 3,5 | 420/380 | 441/392 | 461/406 | 481/419 | 502/433 | 522/448 | 543/467 | 563/486 |
| $\Delta t = 10^{\circ}\text{C}$ | | | | | | | | |
| 4,5 | 404/367 | 423/374 | 442/386 | 461/398 | 480/410 | 499/425 | 518/441 | 537/458 |
| 3,5 | 384/347 | 403/338 | 421/379 | 438/394 | 457/410 | 475/410 | 493/425 | 511/442 |
| $\Delta t = 15^{\circ}\text{C}$ | | | | | | | | |
| 4,5 | 363/324 | 380/335 | 397/346 | 414/357 | 432/370 | 450/384 | 457/398 | 484/417 |
| 3,5 | 344/311 | 361/321 | 377/332 | 394/343 | 411/355 | 428/369 | 448/383 | 461/402 |
| $\Delta t = 20^{\circ}\text{C}$ | | | | | | | | |
| 4,5 | 317/283 | 334/293 | 351/305 | 368/317 | 386/330 | 404/343 | 421 | 348/370 |
| 3,5 | 298/258 | 315/275 | 331/287 | 348/299 | 365/312 | 382/327 | 398 | 415/358 |
| 2 | 270/245 | 286/256 | 302/268 | 318/280 | 333/293 | 349/397 | 364 | 380/338 |

Таблиця 2.4 - Параметри атмосферного повітря

| Пункти спостереження | Забезпеченість параметрів атмосферного повітря, % | | | | | | | | |
|----------------------|---|-----------|--------|------|-----------|--------|------|-----------|--------|
| | 1 | | | 5 | | | 10 | | |
| | | φ | τ | | φ | τ | | φ | τ |
| Астрахань | 30,4 | 52 | 23,2 | 28,8 | 55 | 22,4 | 27,8 | 56 | 21,6 |
| Горький | 26,8 | 48 | 19,6 | 24,0 | 52 | 17,8 | 22,7 | 56 | 17,3 |
| Іркутськ | 22,0 | 63 | 17,6 | 20,5 | 68 | 16,9 | 19,7 | 71 | 16,5 |
| Казань | 26,8 | 43 | 18,7 | 24,6 | 51 | 18,2 | 23,4 | 55 | 17,8 |
| Краснодар | 28,0 | 55 | 21,6 | 26,5 | 57 | 20,6 | 25,5 | 59 | 20,1 |
| Красноярськ | 24,4 | 55 | 18,6 | 22,5 | 61 | 17,8 | 21,4 | 64 | 17,2 |
| Ленінград | 26,0 | 56 | 20,1 | 23,2 | 60 | 18,3 | 21,7 | 63 | 17,4 |
| Луганськ | 30,1 | 30 | 18,8 | 27,0 | 37 | 17,8 | 25,7 | 44 | 18,0 |
| Москва | 27,0 | 55 | 20,8 | 24,5 | 57 | 19,0 | 22,9 | 59 | 17,9 |
| Новосибірськ | 25,4 | 54 | 19,3 | 23,3 | 59 | 18,2 | 22,0 | 63 | 17,6 |
| Омськ | 27,4 | 44 | 19,4 | 24,1 | 50 | 17,6 | 22,5 | 55 | 17,0 |
| Свердловськ | 25,8 | 49 | 18,8 | 23,2 | 57 | 17,8 | 21,5 | 62 | 17,0 |
| Тула | 25,5 | 56 | 19,6 | 23,1 | 60 | 18,2 | 21,6 | 63 | 17,3 |
| Уфа | 27,6 | 44 | 19,5 | 25,3 | 48 | 18,3 | 23,8 | 53 | 17,8 |
| Харків | 28,5 | 38 | 19,2 | 26,4 | 45 | 18,8 | 24,9 | 52 | 18,6 |

Таблиця 2.5 - Типи вентиляторних градирень

| Площа секції, м ² | Розмір однієї секції, м ² | Вид зрошувача | Висота зрошувача, м | Тип вентилятора | Подача повітря вентилятором | Номер проекту |
|------------------------------|--------------------------------------|---------------|---------------------|-----------------|-----------------------------|---------------|
| 16 | 4 × 4 | плівковий | 3,81 | 2ВГ-25 | 140 | 901-6-56 |
| | | краплинний | 3,86 | | 110 | |
| | | бризкальний | 2,50 | | 140 | |
| 16 | 4 × 4 | плівковий | 3,42 | 2ВГ-25 | 140 | 901-6-59 |
| | | краплинний | 3,60 | | 110 | |
| | | бризкальний | 3,40 | | 135 | |
| 24 | 4 × 6 | бризкальний | 1,76 | 3ВГ-25 | 180 | 901-6-67.83 |
| 64 | 8 × 8 | плівковий | 3,36 | ИВГ-50 | 585 | 901-6-51 |
| | | краплинний | 3,48 | | 490 | |
| | | бризкальний | 3,00 | | 570 | |
| 64 | 8 × 8 | плівковий | 3,68 | ИВГ-50 | 580 | 901-6-29 |
| | | краплинний | 3,68 | | 465 | |
| | | бризкальний | 3,80 | | 550 | |
| 144 | 12 × 12 | плівковий | 3,36 | 2ВГ-70 | 1290 | 901-6-48 |
| 192 | 12 × 16 | бризкальний | 2,00 | 2ВГ-70 | 1425 | 901-6-62 |
| 192 | 12 × 16 | краплинний | 3,67 | 2ВГ-70 | 1130 | 901-6-61 |
| 192 | 12 × 16 | краплинний | 3,80 | 2ВГ-70 | 1240 | 901-6-43 |
| | | бризкальний | 3,60 | | 1400 | |

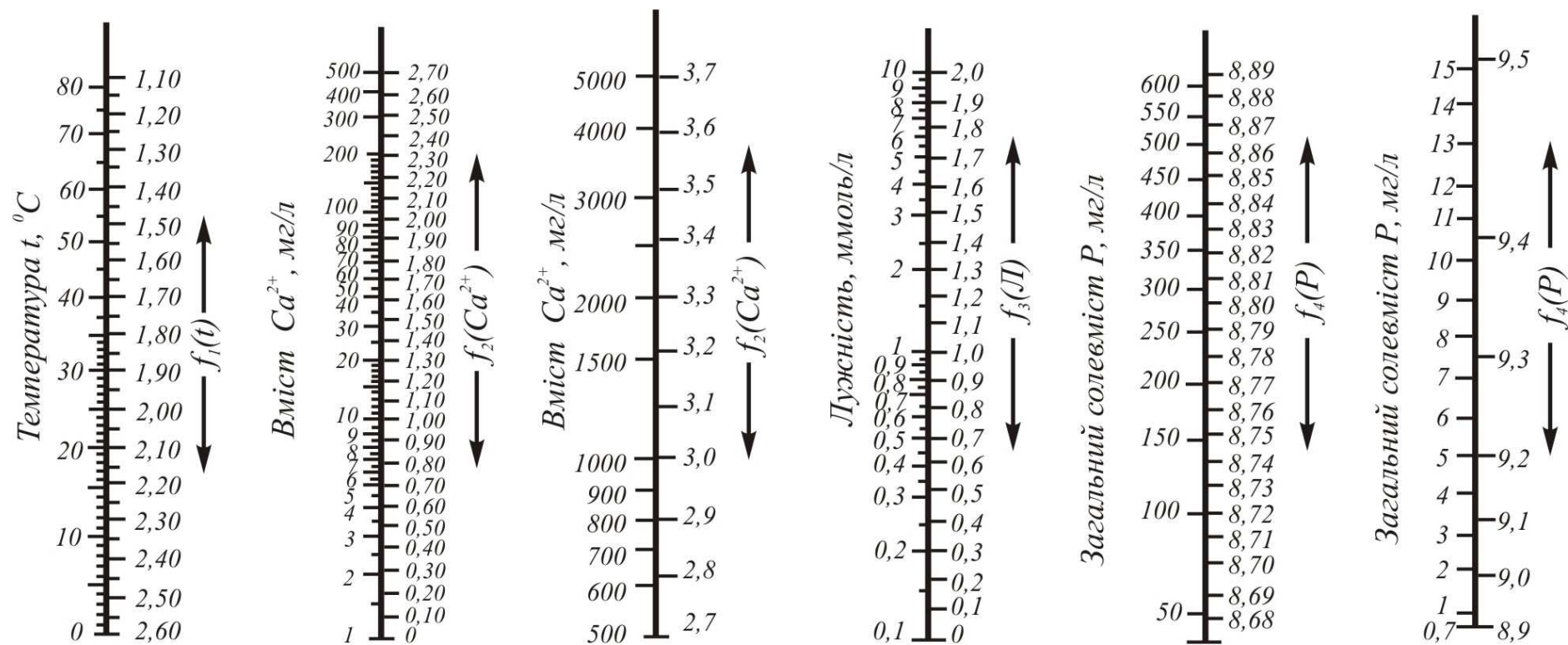


Рис. 3.1 - Номограма для визначення допоміжних величин індексу насичення води карбонатом кальцію

Таблиця 3.2 - Визначення коефіцієнту ψ

| Температура охлажденної води, t_2 °C | Солевміст охолодженої води, $S_{об}$, мг/л | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 | 4000 | 4500 | 5000 | 5500 | 6000 |
| 5 | 8,29 | 8,96 | 9,49 | 9,93 | 10,32 | 11,11 | 12,10 | 12,65 | 13,29 | 13,74 | 14,28 | 14,70 | 15,13 | 15,47 | 15,89 |
| 10 | 8,09 | 8,75 | 9,26 | 9,69 | 10,07 | 10,84 | 11,81 | 12,34 | 12,97 | 13,41 | 13,93 | 14,35 | 14,76 | 15,10 | 15,50 |
| 15 | 7,82 | 8,47 | 8,96 | 9,38 | 9,75 | 10,49 | 11,42 | 11,94 | 12,55 | 12,97 | 13,48 | 13,89 | 14,29 | 14,61 | 15,00 |
| 20 | 7,53 | 8,14 | 8,62 | 9,02 | 9,37 | 10,09 | 10,99 | 11,49 | 12,07 | 12,48 | 12,98 | 13,35 | 13,74 | 14,05 | 14,43 |
| 25 | 7,18 | 7,76 | 8,22 | 8,60 | 8,94 | 9,62 | 10,48 | 10,96 | 11,51 | 11,90 | 12,37 | 12,74 | 13,10 | 13,40 | 13,76 |
| 30 | 6,83 | 7,39 | 7,82 | 8,18 | 8,50 | 9,15 | 9,97 | 10,42 | 10,95 | 11,32 | 11,77 | 12,12 | 12,47 | 12,75 | 13,09 |
| 35 | 6,38 | 6,90 | 7,31 | 7,64 | 7,95 | 8,55 | 9,31 | 9,74 | 10,23 | 10,58 | 10,99 | 11,32 | 11,65 | 11,91 | 12,23 |
| 40 | 5,91 | 6,39 | 6,76 | 7,08 | 7,92 | 8,62 | 9,02 | 9,47 | 9,79 | 10,18 | 10,18 | 10,48 | 10,78 | 11,03 | 11,32 |

**Таблиця 3.1 – Технічні характеристики
напірних антрацито-кварцевих фільтрів НВО «Енергосталь»**

| Показники | Значення |
|---|------------------------------------|
| Швидкість фільтрування, м/год | до 50 |
| Продуктивність, м ³ /год: фільтр Ø3,0 м фільтр Ø2,0 м | до 350 до 160 |
| Робочий тиск, кгс/см ² (МПа) | до 6 (0,6) |
| Фільтруюче завантаження: підготовлений кварцовий пісок і антрацит | |
| Концентрація забруднень, мг/дм ³ у вихідній воді: - твердих завислих речовин - масел у фільтраті: - твердих завислих речовин - масел | до 150 до 100 до 10 до 10 |
| Габаритні розміри, м - діаметр - висота | 1,0 - 3,4 2,5 - 6,0 |

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики відкритих (безнапірних) гідроциклонів

| Види стічних вод | Діаметр апарата, м | Питоме гідравлічне навантаження, $\text{м}^3/\text{м}^2 \times \text{год}$ | Продуктивність, $\text{м}^3/\text{год}$ | Вміст завислих речовин мг/л | | Реагенти, що застосовуються і дози реагентів |
|--|--------------------|--|---|-----------------------------|---|--|
| | | | | У вихідній воді | у проясненій воді | |
| Стічні води газоочисток мартенівських печей | 6 | 8 - 10 | 240 - 300 | 3000 - 5000 | 150 - 300 | Вапно, флокулянт (наприклад ПАА) до 1 мг/л |
| Стічні води газоочисток електросталеплавильних печей | 6 | 3,0 - 5,0 | 90 - 120 | 2000 - 3000 | 150 - 300 | Вапно, флокулянт (наприклад ПАА) до 1 мг/л |
| Стічні води дрібносортних прокатних станів | 6 | 2,5 - 4,0 | 75 - 120 | 100 - 200 | 50 - 80 | Катіон-активні флокулянти |
| Інші види стічних вод з малою витратою води | 2,5 - 5 | 3 - 10 | У залежності від виду і витрати стічних вод | | У залежності від характеристики стічних вод | |

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики радіальних відстійників з вбудованою камерою флокуляції

| Показники | Значення |
|---|--|
| Навантаження | до 4 м ³ /м ² ч |
| Вміст завислих речовин у проясненій воді: - при очищенні стічних вод газоочисток доменних печей - при очищенні стічних вод газоочисток конвертерів - при очищенні стічних вод прокатних станів | до 150 мг/л до 300 мг/л 50 - 100 |
| Завислих речовин масел | мг/л 20 - 30 мг/л |
| Потужність електроприводу | 7,5 кВт |
| Діаметр | 30 м |

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики флокуляторів

| | |
|------------------------|--|
| Діаметр | 6 – 12 м |
| Виробничість | 600 – 1000 м ³ /год – при очищенні стічних вод газоочисток; 300 – 350 м ³ /год - при очищенні стічних вод МБЛЗ та сортопрокатних станів. |
| Вміст завислих речовин | до 150 мг/л - при очищенні стічних вод газоочисток доменних печей; до 300 мг/л - при очищенні стічних вод газоочисток конвертерів; 50 – 100 мг/л - при очищенні стічних вод сортопрокатних станів та МБЛЗ. |
| Вміст масел | 20 – 30 мг/л- при очищенні стічних вод прокатних станів. |

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики тонкошарових флокуляторів

| Вид стічних вод | Питоме навантаження, м ³ /м ² ×год | Вміст завислих речовин у проясненій воді |
|--|--|--|
| Стічні води газоочисток конвертерів (з обробкою флокулянтами) | до 12 | до 300 мг/л |
| Стічні води газоочисток доменних печей (з реагентною обробкою) | до 12 | до 150 мг/л |

ЗМІСТ

| | Стор. |
|---|-------|
| Вступ | 3 |
| Розділ I. ОСОБЛИВОСТІ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ . | 7 |
| 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 | 10 |
| 1.3. Джерела водопостачання | 12 |
| 1.4. Витрати води на промислових підприємствах | 14 |
| 1.5. Вимоги споживачів до якості води | 17 |
| 1.6. Рациональне використання води на промислових підприємствах . . | 23 |
| 2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ З ПРОЕКТУВАННЯ | |
| СИСТЕМ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ | 28 |
| 2.1. Основні схеми виробничого водопостачання та водовідведення . . | 28 |
| 2.2. Вибір і техніко-економічне обґрунтування системи | |
| виробничого водопостачання | 36 |
| 2.3. Основні принципи створення замкнених систем | |
| водопостачання промислових підприємств | 38 |
| 2.4. Втрати води в оборотних циклах водопостачання | 43 |
| 2.5. Водно-хімічний режим оборотних систем | 44 |
| 2.6. Баланси води і солей в оборотних циклах водопостачання | 45 |
| 2.6.1. Поняття коефіцієнта концентрування добре розчинних солей. | |
| Визначення цього коефіцієнта на підставі водного балансу систем . . . | 47 |
| 2.6.2. Визначення коефіцієнта концентрування через сольовий | |
| баланс системи | 48 |
| 3. ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДИ | 51 |
| 3.1. Системи охолодження промислових агрегатів. | 51 |
| 3.2. Техніко-економічні показники систем охолодження | 57 |
| 3.3. Споруди для охолодження води | 59 |
| 3.3.1. Водосховища-охолоджувачі. | 62 |
| 3.3.2. Бризкальні басейни | 65 |
| 3.3.3. Класифікація градирень та їх конструкції. | 69 |
| 3.3.4. Розміщення градирень на майданчику. | 83 |
| 3.3.5. Розрахунок градирень. | 84 |
| 3.4. Втрати води в охолоджувачах | 88 |
| 3.5. Вибір типу охолоджувача. | 89 |
| 4. ОБРОБКА ВОДИ ДЛЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ КОРОЗІЇ | |
| ТА ЗАРАСТАННЯ ТРУБОПРОВІДІВ І ОБЛАДНАННЯ | |
| СИСТЕМ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ | 92 |
| 4.1. Причини та види заростання труб і обладнання. Поняття | |
| стабільності води | 92 |
| 4.2. Існуючі методи запобігання сольових відкладень | 98 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.1. Підкислення води | 103 |
| 4.2.2. Фосфатування | 107 |
| 4.2.3. Метод комбінованої фосфатно-кислотної обробки води. | 108 |
| 4.2.4. Рекарбонізація оборотної води | 109 |
| 4.3. Стабілізаційна обробка води для попередження корозії. | 109 |
| 5. ОЧИСТКА ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД | 112 |
| 5.1. Класифікація стічних вод, що відводяться від промислових підприємств | 112 |
| 5.2. Склад і властивості виробничих стічних вод. Режим водовідведення | 113 |
| 5.3. Характеристика та умови утворення виробничих стічних вод | 115 |
| 5.4. Методи очистки виробничих стічних вод. | 118 |
| 5.5. Відстійники для очистки виробничих стічних вод. | 119 |
| 5.6. Відкриті гідроциклони, флокулятори. | 129 |
| 5.7. Сучасні споруди для очистки промислових стічних вод | 135 |
| 5.8. Фільтрування води | 139 |
| 5.9. Хімічні й фізико-хімічні методи очистки промислових стічних вод | 154 |
| 6. ПОВЕРХНЕВИЙ СТІК – РЕЗЕРВ ЗАМКНЕНИХ СИСТЕМ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ | 163 |
| 6.1. Особливості складу поверхневого стоку. | 163 |
| 6.2. Приклади використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання | 168 |
| Розділ II ОСОБЛИВОСТІ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ ПІДПРИЄМСТВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ. | 173 |
| 7.1. Споживачі води на ТЕС | 173 |
| 7.2. Системи технічного водопостачання | 177 |
| 7.3. Підготовка води на ТЕС. Вимоги до якості води. | 184 |
| 7.4. Методи і споруди для підготовки води. | 189 |
| 7.4.1. Попереднє очищення води від механічних домішок. | 189 |
| 7.4.2. Обробка води методом іонного обміну. | 192 |
| 7.4.3. Спеціальні методи обробки води. Очистка від розчинених газів | 195 |
| 7.5. Стоки водопідготовчих установок та їх вплив на навколишнє середовище | 202 |
| Розділ III ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО ПІДПРИЄМСТВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ | 208 |
| 8.1. Споживачі води на підприємствах чорної металургії. | 208 |
| 8.2. Системи виробничого водопостачання металургійних підприємств. | 210 |
| 8.3. Збагачувальні фабрики руд і нерудних копалин. | 212 |
| 8.4. Водопостачання агломераційної фабрики. | 213 |
| 8.5. Водопостачання доменного цеху | 213 |
| 8.6 Водопостачання сталеплавильного виробництва | 217 |
| 8.7. Установки безперервного розлиття сталі. | 218 |

| | |
|--|-----|
| 8.8. Водопостачання прокатних цехів. | 218 |
| 8.9. Очистка та використання стічних вод металургійних підприємств | 220 |
| 8.9.1. Стічні води гірничорудних підприємств. | 220 |
| 8.9.2. Стічні води збагачувальних фабрик. | 222 |
| 8.9.3. Агломераційні виробництва. Фабрики з виробництва окатишів | 222 |
| 8.9.4. Стічні води установок очистки доменного газу | 223 |
| 8.9.5. Стічні води від підбункерних приміщень, установок грануляції шлаку та розливальних машин | 228 |
| 8.9.6. Стічні води сталеплавильних цехів | 229 |
| 8.9.7. Стічні води установок безперервного розлиття сталі | 234 |
| 8.9.8. Стічні води прокатних цехів | 235 |
| 8.9.9. Стічні води, що утворюються під час травлення чорних металів | 236 |
| 8.10. Коксохімічне виробництво. | 237 |
| Розділ IV ЕКСПЛУАТАЦІЯ СПОРУД ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ Й ОХОЛОДЖЕННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД | 240 |
| 9.1. Організації експлуатації водного господарства | 240 |
| 9.2. Загальні відомості з експлуатації очисних споруд | 242 |
| 9.3. Експлуатація радіальних відстійників доменної газоочистки | 246 |
| 9.4. Експлуатація споруд для очистки стічних вод прокатних цехів | 248 |
| 9.5. Експлуатація фільтрів. | 250 |
| 9.6. Експлуатація охолоджувачів оборотної води. | 252 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ. | 259 |
| ДОДАТКИ | 262 |

Навчальне видання

Айрапетян Тамара Степанівна

ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Редактор *З. М. Москаленко*

Комп'ютерне верстання *Є. Г. Панова*

Дизайн обкладинки *Т. Є. Клочко*

Підп. до друку 12.03.2010 р. Друк на ризографі

Формат 60x84 1/16

Ум.друк. арк. 11,7

Тираж 500 пр.

Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК №731
від 19.12.2001



АВТОР:

Айрапетян Тамара Степанівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та очищення вод Харківської національної академії міського господарства. Автор 42 наукових праць. Фахівець в галузі очистки природних і виробничих стічних вод. Переможець III обласного конкурсу «Найкращий молодий науковець Харківщини» за напрямом архітектура та будівництво.