

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

Т. С. АЙРАПЕТЯН

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
З ДИСЦИПЛІНИ
«ЗВОРОТНІ І БЕЗСТІЧНІ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ»**

(для студентів 5 курсу денної форми навчання
спеціальності 8.06010302 – «Раціональне використання і охорона
водних ресурсів»)

**Харків
ХНУМГ
2014**

Айрапетян Т. С. Конспект лекцій з дисципліни «Зворотні і безстічні системи водопостачання промислових підприємств» (для студентів 5 курсу денної форми навчання спеціальності 8.06010302 – «Раціональне використання і охорона водних ресурсів»). / Т. С. Айрапетян; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 103 с.

Автор: Т. С. Айрапетян

Рецензент: зав. кафедри, проф. С.С. Душкін

Рекомендовано кафедрою водопостачання,
водовідведення та очистки вод,
протокол № 9 от 28.03.13 р.

ВСТУП

На даний час дуже актуальною є проблема запобігання забрудненню водоймищ стічними водами. Вирішення цієї проблеми ведуть за наступними напрямками: раціональне використання води на промислових підприємствах, перехід на безводні технологічні процеси, повторне використання виробничих і міських стічних вод, оборотне водопостачання. Кінцевою метою є створення систем водного господарства підприємств без скиду або систем з мінімальним скидом стічних вод у водойми.

Високі темпи розвитку промисловості вимагають значного вдосконалення систем промислового водопостачання, і в першу чергу збільшення долі зворотного водопостачання, розробки технологій, що забезпечуватимуть зменшення об'ємів скиду стічних вод під час продувки зворотних систем і зменшення їх забрудненості, скорочення питомого водоспоживання свіжої води.

До води, що використовується у зворотному водопостачанні для відведення надлишкового тепла від апаратури, ставляться певні вимоги, дотримання яких зменшує корозію матеріалів, усуває в більшому чи меншому ступені замулювання й обростання труб, арматури, інкрустацію теплообмінників.

ЗМ 1.1 ВОДОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

ТЕМА 1. ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

1. Системи промислового водопостачання.
2. Використання води в промисловості. Типи водоспоживання.
3. Схеми виробничого водопостачання.
4. Вимоги споживачів до якості води

1. Системи промислового водопостачання

Система водопостачання промислових підприємств являє собою комплекс споруд, устаткування і трубопроводів, що забезпечують забір води з природного джерела, очищення й 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 системи водопостачання: виробничі, господарсько-питні і протипожежні.

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 й протипожежного і окрему систему технічного водопостачання. Протипожежні потреби можна забезпечити водою з виробничого або господарсько-питного водопроводу.

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

На промислових підприємствах у залежності від якості води, можна влаштовувати як об'єднані, так і окремі системи господарсько-питного, виробничого та протипожежного водопроводів. Протипожежний водопровід здебільшого об'єднують з господарсько-питним. На підприємствах з підвищеною небезпечністю влаштовують окремі протипожежні водопроводи. У разі потреби в якісній воді (кращій ніж питна) для якогось цеху можна робити локальні установки поліпшення якості води.

У деяких випадках, наприклад, на підприємствах харчової промисловості, де значна доля води повинна відповідати вимогам ГОСТ 2874-82 «Вода питна» створюють єдину систему водопостачання.

Іноді система виробничого водопостачання значно ускладнюється коли окремі виробничі споживачі, що входять до складу підприємства, ставляють різні вимоги до якості води або до напору, під яким вона надходить. Тому доводиться споруджувати декілька систем виробничих водопроводів.

2. Використання води в промисловості. Типи водоспоживання

Промислові підприємства витрачають значну кількість води. Воду на підприємствах використовують як у основних виробничих технологічних циклах, пов'язаних з отриманням кінцевої продукції, так і в допоміжних виробничих циклах, не пов'язаних на пряму з отриманням кінцевої продукції.

Значні обсяги споживання води в промисловості потребують особливої уваги до питань її економії та раціонального використання, усунення втрат води з витокami і в охолоджувачах зворотної води. Для зворотних систем водопостачання промислових підприємств важливо розрізняти витрати зворотної води, необхідні для виробництва продукції і витрати «свіжої води», що забирають з джерела водопостачання для поповнення втрат води на виробництві. Для підвищення ефективності роботи системи водного господарства промислових підприємств і захисту навколишнього природного середовища необхідно прагнути до зниження витрат свіжої води і зменшення об'ємів стічних вод, що скидають у водойми.

Вода, яку використовують на промислових підприємствах, може бути різної якості.

Водоспоживання підприємств залежить від ряду чинників:

- характеру використання води;
- об'єму й виду продукції, що випускають;
- технології виробництва;
- типа системи промислового водопостачання.

Вода у виробничих процесах може виконувати різні функції. В 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 втрат 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 волокна. Промивання водою сировини або продукції здійснюють, наприклад, на таких підприємствах, як шкіряні, консервні, овочесушильні, цукрові тощо.

Пару, яку одержують на різноманітному за потужністю та конструкцією 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. Прикладами можуть бути харчова промисловість, будівельна індустрія. Це стосується виготовлення консервів і продукції на овочесушильних виробництвах, молочних заводах, виготовлення цегли на цегляних заводах тощо.

У залежності від ролі, що виконує вода в системах виробничого водозабезпечення, 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 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 й розчинними домішками, але не нагрівається.
- *Воду III категорії* використовують також як середовище, що поглинає та транспортує механічні й розчинні домішки, з нагріванням (вода також виконує роль теплоносія). В 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.

3. Системи виробничого водопостачання

Існують 3 основні системи виробничого водопостачання (СВВ): прямоточна система, система з повторним використанням води і зворотна. Існують також комбіновані системи водопостачання.

Ту чи іншу систему СВВ реалізують залежно від:

- потужності джерела та його характеристики (поверхневі або підземні води, якість води в них та ін.);
- віддаленості джерела води від промислового майданчика;
- вимог споживачів до якості води;
- характеру забруднення води після її використання;
- кліматичних місцевих умов.

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 зворотних 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 витратами.

Найбільш цінними з екологічного погляду є оборотні системи без скиду продукції – **безстічні** системи. В безстічних (замкнених) системах водопостачання на підприємствах замість свіжої води використовують доочищену, до норм якості технічної води, суміш промислових і побутових стічних вод, що попередньо пройшли біологічне очищення. Біологічно очищені стічні води, використовувані в технічному водопостачанні, повинні відповідати технічним, економічним і санітарно-гігієнічним вимогам. Але і при дотриманні відповідних норм таку воду не можна використовувати в харчовій, м'ясо-молочній і фармацевтичній промисловості.

При *прямоточній схемі* (рис.1.1, а) всю необхідну для підприємства воду забирають безпосередньо з джерела водопостачання. Відпрацьовану воду після використання на промисловому підприємстві скидають у водойму без очищення, якщо вона не забруднена або після очищення.

Така схема досить проста і дешева. Великим недоліком прямоточної системи є значне навантаження на водойму як з точки зору відбирання свіжої води на одиницю продукції, так і скиду відпрацьованої води, що 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 й 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.

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.

а)

б)

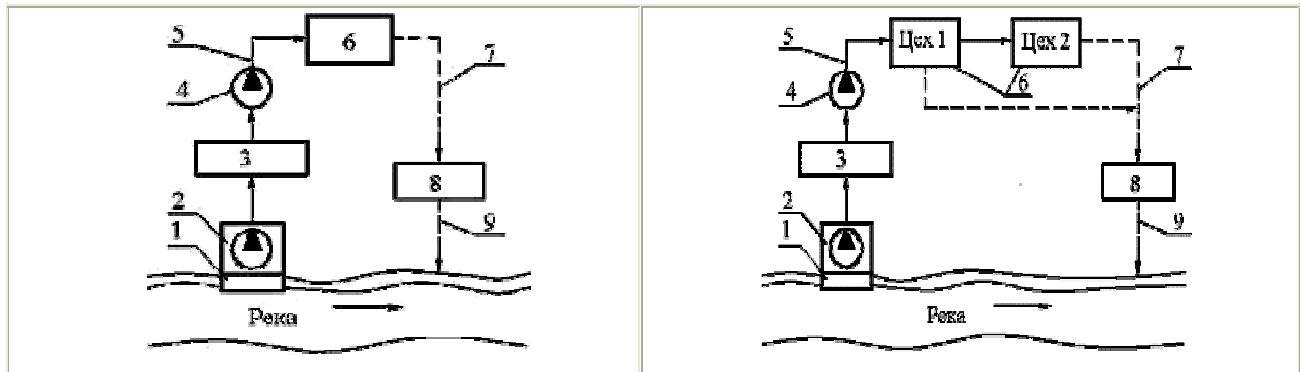


Рис. 1.1 — Системи виробничого водопостачання:

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

Система повторного використання води являє собою систему водного господарства, в якій свіжа вода після використання в технологічному циклі на одному з виробництв, бере участь у технологічному процесі іншого виробництва. Для застосування такої системи необхідно, аби якість води після використання на першому підприємстві задовольняла вимогам технологічного процесу другого виробництва. Інакше потрібна її попередня обробка на очисних спорудах або охолоджувачах.

Застосування цієї системи дозволяє скоротити сумарну витрату свіжої води. Її можна розглядати як вдосконалену прямоточну систему, коли джерело водопостачання не може повністю забезпечити необхідну витрату води або далеко розташоване.

Прикладом застосування такої системи може служити використання води, для охолодження конденсаторів паротурбінних установок на крупних теплоенергетичних об'єктах, оскільки ця вода тільки нагрівається і не забруднюється якимись компонентами. Тому її можуть повторно використовувати інші споживачі, які забруднюють цю воду і не пред'являють завищених вимог до температури. Після використання вони скидають свої стічні води після відповідної очистки. Завдяки такому рішення, відпадає необхідність подачі води іншому споживачу безпосередньо з джерела. Таким чином, економиться електроенергія на підймання води на висоту ΔH (на цю висоту вода вже була піднята при наданні її першому споживачу).

Ця система 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 витратах на спорудження приймального

резервуару або охолоджувача і насосної станції II підйому. Однак і ця система не скорочує кількості забруднень, що потрапляють у водні об'єкти.

З метою скорочення забору свіжої води з джерел водопостачання і захисту їх від забруднень широке вживання знаходять *зворотні системи водопостачання*. У зворотній системі воду після використання в технологічному процесі не скидають у систему водовідведення і далі в природні водні об'єкти, а піддають обробці, потім знову повертають на підприємство. 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% від кількості оборотної води (в залежності від характеру виробничого процесу). Звичайно воду, що повторно використовують, необхідно кожен раз охолоджувати, очищати, щоб вона відповідала технологічним вимогам.

У процесі використання вода може як нагріватися, так і забруднюватися. Залежно від цього в схему включають або охолоджувачі, або очисні споруди, або те й інше.

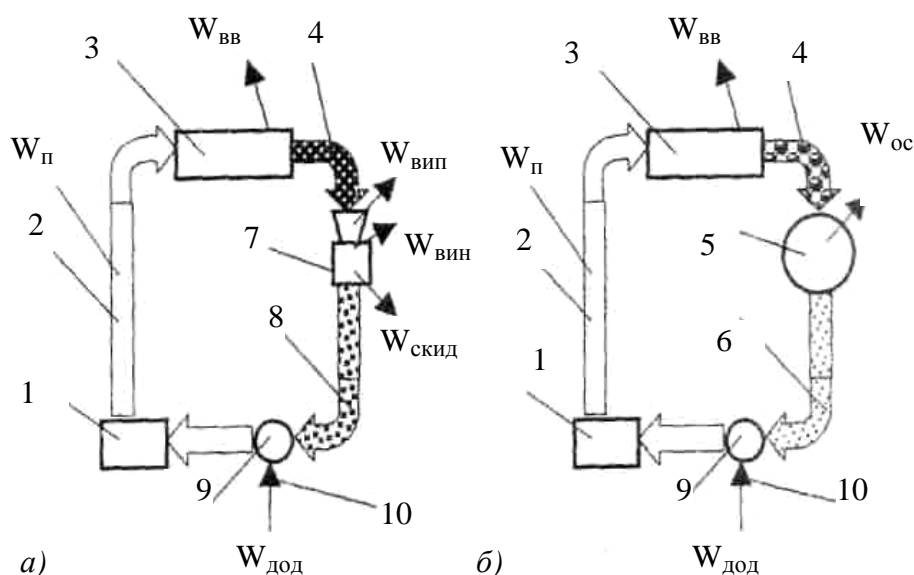


Рис. 1.2 — Зворотні системи водопостачання

а — зворотна система з охолодженням; б — зворотна система з очищенням води

1 — насосна станція; 2 — подача чистої води; 3 — підприємство; 4 — відведення відпрацьованої води; 5 — очисні споруди; 6 — відведення очищеної води; 7 — охолоджувач; 8 — подача 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

Переваги зворотних систем водопостачання в порівнянні з прямооточною:

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

- більша надійність (безперебійність) водопостачання, оскільки в цьому випадку завжди є деякий запас води на майданчику підприємства.
- Недоліки зворотних систем:
- ускладнення в роботі систем;
- необхідність, у багатьох випадках, застосування хімічної обробки води для запобігання корозії, боротьби з відкладеннями й біологічними обростаннями;
- великі безповоротні втрати води.

Зворотне водопостачання можна здійснювати у вигляді єдиної системи для всього промислового підприємства (централізована схема), або у вигляді окремих циклів для єдиного цеху або групи цехів (децентралізована схема).

Втрати води на випаровування $Q_{\text{вип}}$ в середньому складають 2,5 %, краплинне винесення води з вітром $Q_{\text{вин}}$ – від 0,3 до 0,5 % від об'єму зворотної води. Втрати води при очищенні $Q_{\text{оч}}$ коливаються в значних межах, залежно від способу її очищення. Для запобігання накопиченню солей у зворотній воді частину її, в кількості від 5 до 10 % скидають у водоймище (продувка або скид $Q_{\text{скид}}$).

Окремим варіантом зворотної системи водопостачання є *замкнена система виробничого водопостачання*, коли скид відпрацьованої води за межі підприємства відсутній. Воду з джерела або іншої системи додають у неї лише для поповнення втрат. З точки зору захисту навколишнього середовища та захисту водоймищ від забруднення стічними водами ця система найбільш прогресивна.

У сучасній літературі, при розгляді систем використання води у виробництві, зустрічається багато різних термінів, таких, як безстічні системи водокористування, повністю замкнені, максимально замкнені системи, замкнені системи з мінімальним скидом.

Під *замкненою системою водного господарства* промислового підприємства розуміють систему, в якій воду використовують у виробництві багато разів або без очищення, або після відповідної обробки, що виключає утворення будь-яких відходів і скидання стічних вод у водоймище.

У замкнених системах водопостачання на підприємствах замість свіжої води використовують охолоджену незабруднену або очищену стічну воду. Підживлення замкнених систем свіжою водою допускається у разі, якщо очищених стічних вод недостатньо для компенсації втрат води в цих системах; допускається добавка свіжої води в технологічних операціях, коли очищені стоки не можуть бути використані за умовами технологічного процесу. Свіжу воду витрачають лише для питних і господарчо-побутових потреб.

Однак при повністю замкненій системі дуже складно забезпечити стабільність води у зворотному 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. Однією з основних причин, що перешкоджають повному використанню забруднених або нагрітих стічних вод у обороті є утворення щільних солевих відкладень по тракту руху води – в одних випадках і корозійні процеси – в інших. Дуже часто ці обидва процеси протікають одночасно і нерозривно пов'язані.

4. Вимоги споживачів до якості води

Основними показниками, що визначають придатність води для різних категорій споживачів води є склад і концентрація домішок, що містяться в ній. За специфікою вимог до якості очищеної води розрізняють воду, що використовують для господарсько-питних потреб робочих і службовців промислових підприємств, для охолодження елементів технологічних агрегатів, підживлення парових котлів, технологічних потреб промисловості та ін.

Якість і властивості води 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 сприяти біологічному обростанню;
- 5) не повинна погіршувати техніко-економічні показники виробничого процесу.

Вода для охолодження. В промисловості найбільшу кількість води використовують для охолодження технологічного обладнання, пари, рідких і газоподібних продуктів, конденсаторів парових турбін, металургійних печей. При цьому застосовують прямоточні й зворотні системи водопостачання.

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

Для запобігання утворенню накипу у зворотних системах при нагріві води нормують як карбонатну тимчасову жорсткість, так і некарбонатну жорсткість. Присутність у воді солей марганцю й заліза, а також біогенних елементів азоту й фосфору може сприяти розвитку біологічних обростань апаратів і труб (зменшенню живого перерізу і внаслідок цього збільшенню втрат напору).

В охолоджуючій воді нормують рН (6,5–8,5), обмежують вміст сульфатів і хлоридів, при підвищеному вмісті яких вода становиться агресивною по відношенню до бетону. Окремі вимоги такі – карбонатна жорсткість повинна бути не більшою ніж 5 мг-екв/л, вміст завислих речовин допустимий для коробчастих конденсаторів – 30–50 мг/л, трубчастих – 100 мг/л, вміст сірководню – 0,5 мг/л, заліза – 0,1 мг/л.

Особливу роль у охолоджуючій воді грають розчинені гази й кисень, вуглекислота, сірководень, метан. Вуглекислота, кисень, сірководень за певних умов надають воді корозійні властивості по відношенню до металу і бетону. 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. В поверхневих водах наявність вуглекислоти виключена, а в підземних може бути значною. Наявність у воді сірководню та кисню інтенсифікує процес корозії металів.

Вода для технологічних цілей промисловості. Вимоги до води, що використовують для технологічних процесів, відрізняються значним різноманіттям обумовленим специфікою виробництва. 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 додержання вимог відносно вмісту у воді різних речовин. Так, наприклад, лімітують жорсткість води при її використанні на підприємствах паперової і текстильної промисловості, виробництві штучних волокон. Вміст заліза й марганцю строго обмежують у воді, що використовують при виробництві пластмас, кіноплівки й фотопаперу. В харчовій і текстильній промисловості обмежують 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, яку використовують 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 й сортуванні сировини повинні бути відсутні грубодисперсні домішки.

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

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

Вода для паросилового господарства. До води, яку використовують у теплоенергетичних процесах пред’являють більш жорсткі вимоги в порівнянні з водою, що використовують для охолодження. Вода повинна бути звільнена від завислих речовин, солей жорсткості й розчиненого кисню. Для котлів високого тиску її повністю звільнюють від кременевої кислоти та знесолюють.

Теплові електростанції з котлами високого й надвисокого тиску, на відміну від інших технічних споживачів води, є дуже вимогливими до її якості. Отримання водяної пари при високій температурі забезпечується в парових котлах різної продуктивності й різних параметрів (у першу чергу, тиску) за умов, коли окремі домішки живильної води, присутні навіть у самих незначних кількостях, можуть призвести до аварійного стану котельних агрегатів і тривалого виходу їх з ладу.

При використанні води для потреб паросилового господарства вона не повинна утворювати накип, викликати корозію металу, спінюватися, призводити до забруднення пари і відкладення різних домішок на лопатках турбін. Норми якості живильної води для сучасних парових котлів залежать від їх типу й тиску в цих котлах.

Використання жорсткої води призводить до утворення відкладень накипу на поверхні нагріву котлів, 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.

Найбільшу небезпеку представляють солі, розчинність яких зменшується з підвищенням температури: карбонат кальцію, сульфат кальцію, силікати магнію і

кальцію. Присутність у воді інших солей, наприклад, хлоридів, сульфатів, сульфату натрію, що створюють пухкі відкладення, при достатньо великих концентраціях їх у воді, знижує розчинність солей кальцію і магнею, сприяє утворенню накипу.

Отже вода для живлення парових котлів проходить спеціальну обробку для надання їй складу та властивостей таких, що відповідають вимогам. Поповнення втрат живильної води на ТЕС здійснюють хімічно знесоленою водою або дистиллятом.

Питання для самоперевірки:

1. Які споруди входять до складу систем промислового водопостачання?
2. Як класифікують системи виробничого водопостачання?
3. Поясніть схеми зворотного водопостачання з очисткою і охолодженням води. Наведіть приклади.
4. Як класифікують споживачів води?
5. Які вимоги ставлять різні категорії споживачів до використовуваної води?
6. Від яких параметрів залежить вибір схеми виробничого водопостачання?
7. Критерії використання води у виробництві.

ТЕМА 2. ЗВОРОТНІ ТА БЕЗСТІЧНІ СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Раціональні схеми використання води на промислових підприємствах.
2. Критерії ефективності використання води промисловими підприємствами.
3. Основні принципи створення зворотних і повністю замкнених (безстічних) систем водного господарства промислових підприємств.

1. Раціональні схеми використання води на промислових підприємствах

Різноманіття промислових виробництв зумовлює структуру водозбері-гаючих заходів, спрямованих на зменшення питомої витрати води і споживання свіжої води. Насамперед під час розроблення раціональних систем і схем водозабезпечення промислових підприємств прагнуть застосовувати маловодні технології виробництва.

Зменшити споживання води з природних джерел можна також завдяки багаторазовому їх використанню в промисловості та утилізації стічних вод. У разі повторного 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 води дасть змогу визначити умови її використання та розробити комплекс керування системою багаторазового використання води в технологічних процесах.

Заміна водяного охолодження повітряним, застосування систем і споруд сухого очищення газів, застосування випарного охолодження, протитечіно-каскадних систем промивання, пневматичних і пневмогідравлічних систем транспортування дають змогу зменшити питоме водоспоживання в середньому на 20 — 30 %. Застосування систем автоматичного керування і контролю процесами водоспоживання, укрупнення одиничних потужностей агрегатів, боротьба з втратами й витіканнями скорочують витрати води ще на 10-15 %.



Рис. 2.1 – Структура водозберігаючих заходів

Наявність зворотних систем водного господарства є одним з найважливіших показників технічного рівня промислових підприємств. Упровадження систем зворотного водопостачання дозволяє значно зменшити кількість стічних вод, що скидаються та скоротити споживання свіжої води, що дає значний економічний і екологічний ефект.

Найбільш цінними з екологічного погляду є зворотні системи без скидання стічних вод з продувкою – *безстічні* системи. В безстічних (замкнених) системах водопостачання на підприємствах замість свіжої води використовують доочищену до нормативів якості технічної води суміш промислових і побутових стічних вод, що попередньо пройшли біологічне очищення. Біологічно очищені стічні води, що використовують у технічному водопостачанні, повинні відповідати технічним, економічним і санітарно-гігієнічним вимогам.

Замкнені системи водоспоживання (ЗСВ) сьогодні – єдине раціональне вирішення проблеми використання води в промисловості.

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

При розробці технічних завдань зі створення ефективно функціонуючих зворотних циклів водопостачання необхідно враховувати такі принципові питання, як:

- прогнозування складу води й можливості утворення щільних сольових відкладень;
- мінімізація витрати підживлюючої води;
- раціональне поєднання локальних і зворотних циклів з загальною зворотною системою підприємства;
- застосування нових розробок ефективних очисних споруд і апаратів для очистки води;
- використання сучасних методів стабілізаційної обробки води;

– спеціальна підготовка води для підживлення зворотних систем.

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

2. Критерії ефективності використання води промисловими підприємствами

Ефективність використання води на виробництві може бути оцінена наступними показниками.

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

$$P_{об} = \frac{Q_{об}}{Q_{об} + Q_{дж} + Q_{сир}} \cdot 100\% . \quad (2.1)$$

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

$$K_{вик} = \frac{Q_{дж} + Q_{сир} - Q_{скид}}{Q_{дж} + Q_{сир}} \leq 1 \quad (2.2)$$

3. Безповоротне споживання і втрати води

$$P_{сп} = \frac{Q_{дж} + Q_{сир} - Q_{скид}}{Q_{дж} + Q_{сир} + Q_{посл} + Q_{об}} . \quad (2.3)$$

У цих формулах $Q_{дж}$ і $Q_{сир}$ – кількість води, що забирають з джерела і спрямовують у систему водопостачання з сировиною та іншими матеріалами; $Q_{скид}$ – кількість стічних вод, що скидають у водойму; $Q_{посл}$ та $Q_{об}$ – кількість води, що використовують послідовно і в обороті.

Оцінку систем водного господарства однотипних цехів і підприємств у цілому треба проводити 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.

3. Основні принципи створення зворотних і повністю замкнених (безстічних) систем водного господарства промислових підприємств

Перехід від частково зворотних систем до повністю замкнених зворотних систем пов'язаний не тільки з додатковими капітальними витратами на будівництво відповідних очисних споруд, але і з вирішенням двох основних завдань: усуненням мінералізації і покриттям втрат оборотної води. Повністю замкнена система водозабезпечення передбачає постійний кількісний і якісний склад води, запобігання корозії устаткування, забруднення системи як мінеральними, так і біологічними

відкладеннями, відсутність скидання забруднених вод у водоймища, ліквідацію скидів іншими способами.

Створення економічно обґрунтованих замкнених систем водного господарства є досить важким завданням. Складний фізико-хімічний склад стічних вод, різноманітність хімічних сполук, які в них містяться роблять неможливим підбір універсальної структури повністю замкнених (безстічних) схем, придатної для застосування в різних галузях народного господарства.

Розробку замкнених систем водного господарства промислових підприємств краще здійснювати поетапно, з поступовим збільшення частки води, що використовується у обороті. Питанням першочергової важливості при створенні замкнених зворотних систем є розробка науково-обґрунтованих вимог до якості води, що використовуються у всіх технологічних процесах і операціях.

При створенні замкнених зворотних систем водопідготовку та очищення стічних вод треба розглядати як єдину систему. Проектування замкнених систем проводити одночасно з проектуванням основного виробництва.

Переведення на замкнений режим роботи може бути здійсненим тільки на підприємстві з достатньо розвиненим зворотним водопостачанням.

Максимальне залучення води у зворот досягається шляхом додаткових інженерних рішень:

- значним скороченням об'єму стічних вод, що скидають з продувкою зворотних систем за рахунок водопідготовки підживлюючої води й стабілізаційної обробки зворотної води;
- послідовно-повторним застосуванням води при використанні 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 з метою повторного використання з поверненням їх у початок ланцюга;
- очисткою і використанням поверхневого стоку з території підприємства у системі зворотного водопостачання.

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

Оскільки в процесі роботи замкнених систем водопостачання спостерігається зростання солевмісту у воді, істотне значення набуває кратність використання такої води в циркуляційній системі і технологічних процесах.

При підвищенні солевмісту у воді зворотного циклу збільшується небезпека виникнення сольових відкладень і корозії у трубопроводах.

Один з методів зниження імовірності утворення сольових відкладень в комунікаціях і теплообмінниках - це перехід на підживлення зм'якшеною водою зворотних систем водопостачання.

Кондиціонування підживлюючої води натрій-катіонуванням дозволяє повністю виключити відкладення солей жорсткості в широкому діапазоні температур.

При заповненні зворотної системи зм'якшеною водою з'являється можливість припинити скидання вод з продувкою або зробити цей скид періодичним залежно від прийнятого регламенту по загальному солевмісту для даної зворотної системи.

Для характеристики замкнених систем застосовують критерії кратності використання води:

$$n = \frac{Q_{исх}}{Q_{заб}}, \quad (2.4)$$

де n – критерій кратності;

$Q_{исх}$ – загальний об'єм води, що використовують на підприємстві ($\text{м}^3/\text{год}$);

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

Чим більше кратність використання води, тим більш досконалою є схема водопостачання.

Отже створення зворотних й замкнених систем водного господарства промислових підприємств базується на наступних принципах:

1. Водопостачання і каналізація повинні розглядатися в єдиному комплексі, коли на підприємстві створюється єдина система водного господарства, що включає водопостачання, водовідведення і очищення стічних вод, як підготовку для повторного використання; При цьому необхідно встановити науково обґрунтовані вимоги до якості споживаної у виробництві води й води, що відводиться.

2. Використовувати для водопостачання замість свіжої води очищені виробничі і міські стічні води, а також поверхневий стік. Свіжу воду з джерел використовувати для особливих цілей й поповнення втрат;

3. Забезпечувати очищення стічних вод і регенерацію відпрацьованих технологічних розчинів з метою їх повторного використання у виробництві. Створення замкнених систем водозабезпечення повинне поєднуватися з організацією маловідходного виробництва, технологія якого орієнтована на максимальне витягання з сировини основних продуктів з одночасною регенерацією цінних компонентів і доведенням відходів, що утворюються, до товарного продукту або вторинної сировини при мінімальних матеріальних і енергетичних витратах;

При розробці зворотних систем охолодження, в першу чергу необхідно розглядати технічну і економічну доцільність використання повітряного охолодження замість водяного, основна перевага якого перед охолодженням на градирнях, бризкальних басейнах і водосховищах-охолоджувачах полягає у відсутності втрат води на випаровування і віднесення вітром.

При охолодженні апаратів, конструкцій, що працюють в зонах високих температур, найбільш економічним є використання установок випарного охолодження. Вони дозволяють отримувати водяну пару для енергетичних і технічних цілей і різко понизити витрату води на охолодження.

Питання для самоперевірки:

1. Якими факторами обумовлюється необхідність і доцільність створення замкнених систем виробничого водопостачання?

2. На яких принципах базується створення зворотних і повністю замкнених систем водопостачання?

ТЕМА 3. БАЛАНСИ ВОДИ І СОЛЕЙ В СИСТЕМАХ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Втрати води у зворотних системах. Водний і сольовий баланси зворотних систем.
2. Поняття коефіцієнта концентрування солей або коефіцієнта випаровування (упарювання). Визначення K_k на підставі водного балансу системи.
3. Визначення коефіцієнта концентрування через сольовий баланс системи. Рівняння водно-сольового балансу.
4. Водно-хімічний режим зворотних систем.

1. Втрати води у зворотних циклах водопостачання. Водний і сольовий баланси зворотних систем

У відкритих системах зворотного водопостачання відбуваються втрати води за рахунок випаровування в охолоджувачах частини води і винесення дрібних крапель води повітрям. У результаті випаровування в середньому втрачаєтьсядесь 0,15% води, що охолоджується при зниженні її температури на 1°C, виноситься повітрям в градирнях 0,2—0,3% води.

Для поповнення безповоротних втрат води й підтримки постійного складу води, в систему зворотного водопостачання постійно надходить деяка кількість свіжої, так званої підживлюючої води, обробленої у тому чи іншому ступені.

Крім того, зазвичай зворотна вода освіжається продувкою, що сприяє зниженню загального солемісту і концентрації окремих іонів. В результаті впливу всіх цих факторів досягається свого роду рівновага, за якої концентрації, що встановилися залежать від співвідношення між кількістю води, що надходить до системи й видаляється з неї і кількістю розчинених речовин.

Отже *продувка* – це освіжіння зворотної води за рахунок скиду частини води, що призводить до зниження рівня забруднень циркулюючої в системі води. Втрати води з продувкою системи залежить від продуктивності системи зворотного водопостачання, карбонатної жорсткості води, що додається до системи і способу її обробки. Для сучасних систем зворотного водопостачання втрати води з продувкою становлять 1-3 % від витрати циркулюючої у системі води.

Однак, такий скид і добавка води доцільні у випадку, коли карбонатна жорсткість (або загальний солеміст) води, що додається до системи, менше за карбонатну жорсткість (солеміст) зворотної води.

Співвідношення величин втрат води під час її використання й охолодження (випаровування, краплинне винесення вітром, втрати у виробництві, з осадом, що видаляється з очисних споруд, втрати з продувкою системи) характеризує водний режим зворотного циклу водопостачання.

Для будь-якої системи водопостачання повинен дотримуватись баланс води, що надходить до системи і втраченої в системі води.

$$\sum Q_{\text{НАДХ}} = \sum Q_{\text{ВТР}} \cdot \quad (3.1)$$

При проектуванні систем промислового водопостачання складають водний баланс, який показує витрати води для всіх категорій споживачів і втрати води в системах. Споживачів води згруповують за районами їх розташування, напором,

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

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

Принципи складання водного балансу:

1. Кількість води у зворотній системі підтримують постійною. Втрати води в системі компенсуються за рахунок додавання свіжої води.
2. Встановлюють джерела надходження і втрати води.
3. Визначають кількісні характеристики кожного джерела.
4. Аналізують якісні характеристики води джерел, їх можливий вплив на склад і властивості зворотної води, ефективність роботи системи водопостачання.
5. Визначаються групи споживачів, що потребують воду однакової якості.
6. Для зменшення кількості свіжої води, що забирають з джерела, виявляють можливість послідовного використання відпрацьованої води однієї групи споживачів для водопостачання інших.

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

2. Поняття коефіцієнта концентрування добре розчинних солей (K_k) або коефіцієнта упарювання. Визначення K_k на підставі водного балансу системи

При використанні й охолодженні води у системах зворотного водопостачання, частина її втрачається на випаровування, краплинне винесення, у виробництві, з осадом, що видаляється з очисних споруд, зі скидом води з системи (продувкою).

Вважають, що розчинені солі води, які випарилися (повністю або частково) залишаються у зворотній воді і підвищують їх концентрацію. Всі втрати води в системі оборотного водопостачання компенсуються додаванням свіжої води.

Ступінь підвищення концентрації розчинених у воді речовин називають коефіцієнтом концентрування солей або коефіцієнтом упарювання. Чисельне значення цього коефіцієнта може бути виражено за випаровуванням води як

$$K_y = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{P_2 + P_3 + P_4} = \frac{P_d}{P_d - P_1}, \quad (3.2)$$

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

P_2 – втрати води на краплинне винесення при охолодженні води;

P_3 – продувка системи;

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

Усі величини втрат визначають у відсотках від витрати циркулюючої в системі води.

Рівняння (3.2) можна представити в спрощеному вигляді:

$$K_y = 1 + \frac{P_1}{P_2 + P_3 + P_4}. \quad (3.3)$$

Таким чином, в системах зворотного 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 зворотного 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:

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

3. Визначення коефіцієнта концентрування через сольовий баланс системи. Рівняння водно-сольового балансу

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

$$C_{зб} = K_K \cdot C_n \quad (3.4)$$

$$K_K = \frac{C_{зб}}{C_n}, \quad (3.5)$$

де $C_{об}$ - концентрація добре розчинних солей у зворотній воді; C_n - концентрація добре розчинних солей у свіжій воді, що додається до системи.

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

Стабілізація сольового складу відбувається за умови, якщо кількість солей, що виводяться з системи з продувкою та в результаті винесення крапель води з охолоджувача дорівнюватиме кількості солей, що надходять з підживлюючою водою.

Солі, що надходять до системи водопостачання розділяють на дві основні групи:

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

Зазвичай для контролю складу води у системах зворотного водопостачання використовують коефіцієнт концентрування хлоридного іона $K_{Cl} = \frac{Cl_{зб}^-}{Cl_n^-}$, величину якого порівнюють з коефіцієнтами концентрування карбонатної жорсткості $K_{ж.к} = \frac{Ж_{к.зб}}{Ж_{к.п}}$, кальцію $K_{Ca} = \frac{Ca_{зб}^{2+}}{Ca_n^{2+}}$ чи інших іонів.

Порівнюючи величину коефіцієнтів концентрування хлоридного іона, карбонатної жорсткості або інших речовин, отримані по воді та обчислені за даними аналітичного визначення, можна отримати уявлення про надходження нових речовин та випадіння їх в осад (відкладання), тобто про термостабільність води.

Рівняння водно-сольового балансу систем

$$\frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{P_2 + P_3 + P_4} = \frac{C_{36}}{C_n} \quad (3.6)$$

Співвідношення (3.6) характеризує зв'язок водного і сольового балансів системи зворотного водопостачання.

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:

$$C_{36} (P_2 + P_3) = C_n (P_1 + P_2 + P_3) \quad (3.7)$$

$$C_{36} = C_n \left[1 + \frac{P_1}{(P_2 + P_3)} \right] \quad (3.8)$$

Якщо концентрацію солей жорсткості в циркуляційній воді прийняти максимально допустимою, то з наведеного рівняння (3.10) можна визначити мінімально необхідну витрату продукції:

$$P_3 = \frac{C_n \cdot P_1}{C_{36} - C_n} - P_2, \quad (3.9)$$

де C_n – концентрація солей жорсткості у воді, що додають до системи (підживлюючій воді), мг-екв/л;

C_{36} – максимально допустима концентрація солей жорсткості в циркуляційній (зворотній) воді, мг-екв/л;

P_1 , P_2 і P_3 – втрати води внаслідок випаровування, винесення вітром і з продукцією системи, м³/год;

Загальна витрата підживлюючої води

$$P = P_1 + P_2 + P_3. \quad (3.10)$$

Однак рівняння (3.8) неприйнятно для балансових розрахунків стосовно до системи зворотного водопостачання, в яких вода входить в контакт з продуктом, що охолоджується та очищається, наприклад, газоочисток металургійних агрегатів. Для таких випадків необхідно користуватися іншою залежністю, яка враховує збільшення концентрації того або іншого компонента:

$$C_{36} = C_n \left[1 + \frac{P_1}{(P_2 + P_3)} \right] + \frac{Q \cdot \Delta C}{P_1 + P_3}, \quad (3.11)$$

де $\Delta C = C_{36} - C_n$ – збільшення солевмісту зворотної води внаслідок випаровування, мг/л; Q – загальна витрата води, що подається споживачу, наприклад на газоочистку металургійного агрегату, м³/год.

При стабільності зворотної води (відсутності інкрустації поверхонь відкладаннями CaCO_3 , Mg(OH)_2 або зміни складу води за рахунок продуктів корозії труб і теплообмінної апаратури) зберігається рівність коефіцієнтів випаровування, які визначаються за поступовим підвищенням у зворотній воді концентрацій різних іонів – хлоридів, сульфатів тощо.

$$K_{\text{вин}} = \frac{[Cl^-]_{36}}{[Cl^-]_n} = \frac{[SO_4^{2-}]_{36}}{[SO_4^{2-}]_n} = \dots = \frac{C_{36}}{C_n} = \frac{C_n + \Delta C}{C_n} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3} \quad (3.12)$$

де P_1, P_2, P_3 – втрати води на випаровування, винесення крапель води повітрям і стабілізаційна витрата;

$C_{зв}$ – солевміст зворотної води, мг/л;

C_n – солевміст підживлюючої води, мг/л;

$\Delta C = C_{зв} - C_n$ – збільшення солевмісту зворотної води внаслідок випаровування.

4. Водно-хімічний режим оборотних систем

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

Основними параметрами водно-хімічного режиму зворотного циклу є продувка, добавка свіжої води до системи 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 зворотного водопостачання полягає в тому, що у системі повинні бути відсутні карбонатні відкладення і корозія устаткування та трубопроводів.

У системах водяного охолодження теплонавантажених елементів утворюються переважно відкладання карбонату кальцію при втраті вільної вуглекислоти через нагрівання води. При цьому відбувається розкладання бікарбонатних іонів HCO_3^{3-} з утворенням карбонатних CO_3^{2-} , що реагують з іонами Ca^{2+} і створюють малорозчинні з'єднання CaCO_3 , що осаджуються на стінках трубопроводів:



Якщо таке розкладання у системі відсутнє, то має місце співвідношення

$$L_{зв} = K_K L_n \quad (3.13)$$

де $L_{зв}, L_n$ – лужність відповідно зворотної і підживлюючої води, мг-екв/л.

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

$$\Delta L = K_K L_n - L_{зв} \quad (3.14)$$

Питання для самоперевірки:

1. Назвіть безповоротні втрати води у відкритих системах зворотного водопостачання.
2. Які труднощі виникають у зворотних системах при зменшенні продувки? Що являє собою продувка і з якою метою її здійснюють?
3. Що характеризує коефіцієнт концентрування добре розчинних солей і чому дорівнює його величина?
4. Наведіть рівняння водно-сольового балансу систем зворотного водопостачання

5. Наведіть вираз для визначення коефіцієнта концентрування добре розчинних солей через водний баланс.
6. За якої умови в системах зворотного водопостачання буде спостерігатися стабілізація сольового складу?
7. Наведіть рівняння водно-сольового балансу, що застосовують для розрахунків зворотних систем газоочисток металургійних печей.

ТЕМА 4. ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДИ

1. Класифікація систем охолодження
2. Система водяного охолодження, принцип і схеми;
3. Випарне охолодження, принцип і схеми.
4. Техніко-економічні показники систем охолодження

1. Класифікація систем охолодження

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 елементу. 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 .

Системи охолодження існують наступні:

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

При водяному охолодженні відведення теплоти від охолоджуваних елементів здійснюється холодною проточною водою. При цьому витрата води повинна забезпечити, по можливості, безнакипний режим. Однак ця умова важко здійснима, оскільки технічна вода містить накипеутворювальні солі, які при нагріві води випадають на стінках деталей, перешкоджаючи відведенню від них тепла.

Кожна з названих систем має свої переваги й недоліки стосовно забезпечення якості охолодження, а також їх економічності та ефективності.

Все більшого поширення отримує система випарного охолодження металургійних печей (доменних, мартенівських, електроплавильних, нагрівальних печей і вагранок), розроблена д-ром техн. наук, проф. С. М. Андоньєвим.

При випарному охолодженні тепло від нагрітих елементів печі відводиться водою, яка нагрівається до утворення пароводяної емульсії. При цьому використо-

вується скрита теплота пароутворення, тобто тепло, що відбирається охолоджуючою водою, витрачається на її випаровування.

2. Система водяного охолодження. Принцип і схеми

Водяне охолодження холодною водою. Систему водяного охолодження застосовують там, де температура води визначає технологічний процес. Сутність системи водяного охолодження полягає у тому, що холодна вода надходить до охолоджуваного елемента і відводить від його стінки тепло, нагріваючись при цьому на 25 °С без зміни агрегатного стану. Охолодження відбувається тільки за рахунок конвективного теплообміну, тобто руху потоку води.

На перший погляд, ця система надзвичайно проста в експлуатації, однак незначний нагрів води призводить до різкого збільшення її витрати. При цьому необхідно значне збільшення комунікацій, обладнання і споруд, що збільшує капіталовкладення й експлуатаційні витрати. Подача великої витрати води ускладнює її обробку та призводить до випадіння на стінках охолоджуваних елементів відкладень, які погіршують охолодження.

Незначний ступінь нагріву води при водяному охолодженні робить практично неможливим використання тепла, що відводиться з водою.

Отже, система проста, але вона не дозволяє використовувати тепло, а підвищення перепаду температури може привести до відкладення солей жорсткості. Витрати води залежать від кількості тепла, що відводиться, величини температурного перепаду та якості води.

Система водяного охолодження може бути прямоточна або зворотна.

За прямоточною схемою водяного охолодження природну воду подають споживачу після очистки для покращення якості (забезпечення стабільності), якщо необхідно, і після використання (нагріву на декілька градусів) скидають у водойму. Таку схему застосовують при наявності потужного джерела, коли температура нагріву після розбавлення у водному джерелі не підвищується більше ніж на 1°С і відсутні будь-які побічні забруднення, що надходять в систему охолодження.

На даний час, особливо у зв'язку з комплексним підходом до використання водних ресурсів на підприємствах, цю схему застосовують все рідше, оскільки не забезпечує захист водоймищ від забруднень.

Сутність зворотної схеми водяного охолодження полягає у тому, що з джерела забирається свіжа вода тільки для покриття безповоротного споживання і втрат, які у разі необхідності перед подачею споживачу проходять очистку. Вся основна вода циркулює безперервно між споживачем, охолоджувачем і очисними спорудами.

Зворотна схема є основною схемою сучасного водяного охолодження. Її застосовують у тих випадках, коли можливо термальне забруднення джерела і коли вирішуються загальна схема комплексного водного господарства підприємства – створюються локальні оборотні цикли з поступовим використанням стічних вод одного споживача іншим, тобто забезпечується безстічна система водного господарства.

Водяне охолодження гарячою водою (без кип'ятіння). Температура охолоджувального продукту знижується від 120°С до 80-90°С. У цій схемі використовують хімічно очищену воду. Нагріта до 90-95°С вода може використовуватись для гарячого водопостачання, або для підігріву конденсату, теплофікації. Циркуляційний

контур охолоджуючої води виконують замкненим. Втрати води в системі поповнюють хімічно очищеною водою.

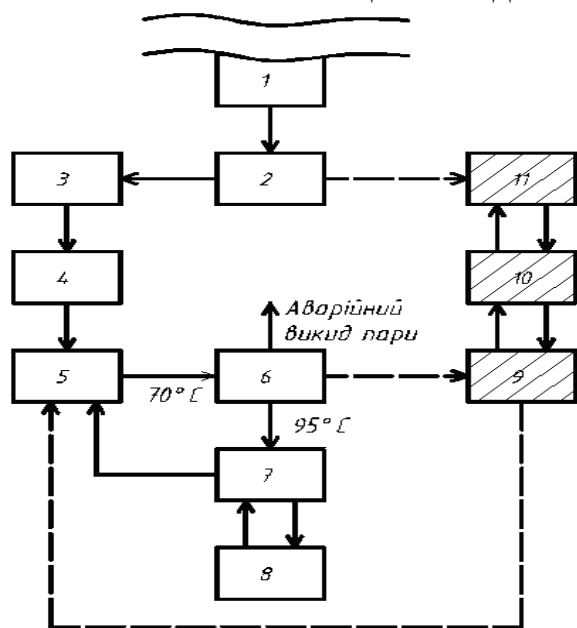


Рис. 4.1 – Охолодження гарячою хімічно очищеною водою:

1 – водозабірна споруда; 2 – насосна станція; 3 – хімічно очищення; 4 – запасна ємкість; 5 – насосна станція охолодженої води; 6 – охолоджуючий елемент; 7 – бойлер; 8 – споживач пари

Ця схема працює у випадку, коли є споживач гарячої води. За відсутності споживачів гарячої води у наведену схему включаються: 9 – теплообмінник; 10 – циркуляційна насосна станція; 11 – охолоджувач

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.

3. Випарне охолодження (охолодження водою, що кипить)

Сутність випарного охолодження полягає у відведенні тепла від охолоджуючої стінки деталі киплячою водою за рахунок зміни її агрегатного стану (за рахунок скритої теплоти пароутворення). 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 деталей при їх роботі в зоні високих температур (металургійні печі, печі будівельної індустрії тощо).

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.

Системи охолодження з паротворенням усередині деталі. В таких системах випарного охолодження (рис. 4.2) 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.

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

Вода, що відводиться у вигляді пари, поповнюється хімічно очищеною водою, яка подається у 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:

- забезпечується надійність роботи печей, збільшується термін служби охолоджуваних деталей, виключаються ремонти через прогар 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;
- менші об'єм споруд і потужність системи водопостачання, відповідно зменшуються капіталовкладення і спрощується експлуатація системи через зменшення витрати води на охолодження.

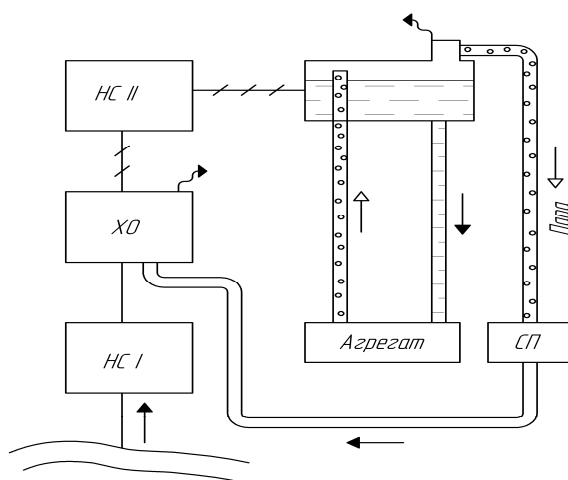


Рис. 4.2— Схема випарного охолодження металургійних печей з природною циркуляцією: ХО - станція хімічного очищення; СП - споживач пари; БС - бак-сепаратор; НС I і НС II – відповідно насосна станція I та II підйому

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

Системи охолодження з паротворенням поза деталлю. Різновидом схеми випарного охолодження, наведеної на рис. 4.2, є схема 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 охолод-

ження. Сутність замкненої системи водяного охолодження з винесеним випарником полягає в тому, що тиск води в охолоджуваній деталі вище, ніж у баку-сепараторі, тому в деталі не утворюється пара, скипання відбувається в баку-сепараторі.

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

Системи охолодження високо киплячим теплоносієм (ВТ) застосовують коли немає необхідності дуже знижувати температуру нагрітої деталі. Охолоджуючі деталі охолоджуються циркулюючим ВТ, а сам ВТ охолоджується шляхом випарного охолодження водою, тобто в цій схемі два охолоджуючих контури (рис. 4.3).

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 й високій температурі теплоносія, тепло якого використовується у теплообміннику бака-сепаратора для отримання пари високого тиску.

Система може працювати як з примусовою, так і з природною циркуляцією. Двохконтурна 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.

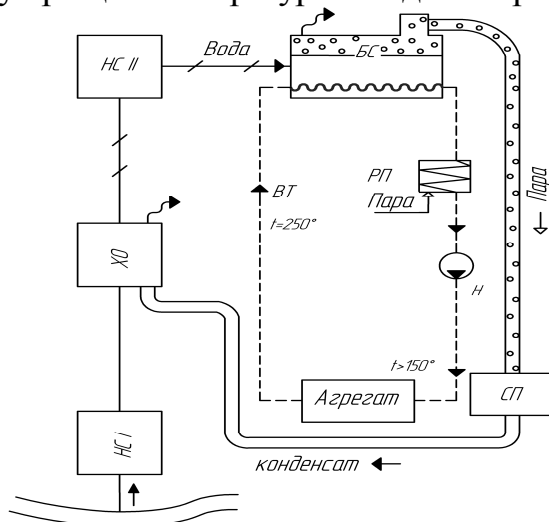


Рис. 4.3 – Система охолодження металургійних печей з висококиплячим теплоносієм (ВТ): *ХО* – станція хімводоочистки; *СП* – споживач пари; *РП* – резервний підігрівач; *ВТ* – висококиплячий теплоносій *НС I* і *НС II* – відповідно насосна станція I та II підйому

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.

4. 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: найбільш тривалий 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. 4.1.

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 10-30 разів більші, 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 охолоджуючого 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 та ін.) і при обмеженості водних ресурсів.

Таблиця 4.1 – Основні техніко-економічні показники систем водяного й 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 зворотному 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%

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, треба використовувати за економічно вигідною схемою.

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

Питання для самоперевірки

1. Наведіть класифікацію систем охолодження води.
2. Від чого залежить витрата охолоджуючої води?
3. Як здійснюють охолодження холодною водою?
4. У чому полягають переваги випарного охолодження в порівнянні з водяним?

ТЕМА 5. ОХОЛОДЖУВАЧІ ВОДИ

1. Процеси охолодження в охолоджувачах.
2. Класифікація споруд для охолодження води.
3. Якісні та кількісні характеристики роботи охолоджувачів.
4. Водосховища-охолоджувачі.
5. Бризкальні басейни.
6. Типи градирень та їх конструкції.

1. Процеси охолодження в охолоджувачах

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

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

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

Охолодження води повітрям відбувається за рахунок наступних процесів:

1. Передача тепла повітрю зіткненням

$$Q_{\text{зіткн}} = \alpha \cdot F \cdot (t - \tau), \text{ кДж/год}, \quad (5.1)$$

де α - коефіцієнт теплопередачі зіткненням, кДж/м²×год;

F - площа зіткнення води й повітря, м²;

t - температура охолоджуваної оборотної води, °С;

τ - температура повітря, °С.

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

2. Передача тепла за рахунок випаровування води. Кількість тепла, яке віддає вода при випаровуванні, визначають за рівнянням

$$Q_{\text{вип}} = \beta \cdot F \cdot (1 - \varphi/100), \quad (5.2)$$

де β - коефіцієнт теплопередачі випаровуванням;

F - площа зіткнення води і повітря, м²;

φ - відносна вологість повітря, %.

Аналізуючи рівняння, можна зробити висновок, що чим менше вологість повітря і більше площа зіткнення води з повітрям, тим вище ефект охолодження.

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

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

2. Класифікація споруд для охолодження води

Для отримання необхідної температури відпрацьовану зворотну воду безпосередньо або після попередньої очистки від забруднень перед наступним її використанням охолоджують в спеціальних спорудах (водосховищах-охолоджувачах, бризкальних басейнах і градирнях).

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

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 відбувається за рахунок передачі тепла води трубкам радіатора, а від них – повітрю, тобто немає безпосереднього контакту з повітрям.

До відкритих охолоджувачів належать 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 градинні можуть бути обладнані нагнітальним чи всмоктувальним вентилятором, що забезпечує інтенсивний рух повітря.

3. Якісні та кількісні характеристики роботи охолоджувачів

Необхідна площа контакту в бризкальних охолоджувачах створюється розбризкуванням води через спеціальні сопла або насадки. В краплинних, плівкових і 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.

Кількісними характеристиками охолоджувача є гідравлічне й теплове навантаження.

Гідравлічне навантаження (щільність зрошення) показує кількість води ($\text{м}^3/\text{год}$), що доводиться на м^2 активної (робочої) площі охолоджувача в плані.

Теплове навантаження охолоджувача відображає кількість тепла, що віддає вода повітрю на м^2 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

$$\Delta t = t_1 - t_2, \quad (5.3)$$

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).

4. Водосховища-охолоджувачі

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

У водосховищах-охолоджувачах охолодження води відбувається головним чином унаслідок випаровування частини води й безпосередньої передачі тепла повітрю з водної поверхні. Охолодження води здійснюється під час руху її від місця випуску до місця водозабору, але не весь ставок бере участь у охолодженні. Величина активної зони водосховища менша за площу дзеркала водосховища.

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

$$K_B = \frac{W_{акт}}{W_г}, \quad K_B = 0,5-0,95. \quad (5.4)$$

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.

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 водосховищ-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 й 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.

5. 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 й сопел (рис. 5.1). Необхідна площа контакту в бризкальних охолоджувачах створюється розбризкуванням води через спеціальні сопла або насадки. 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. Зазвичай, їх використовують в умовах, коли не потрібно постійно низької температури.

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

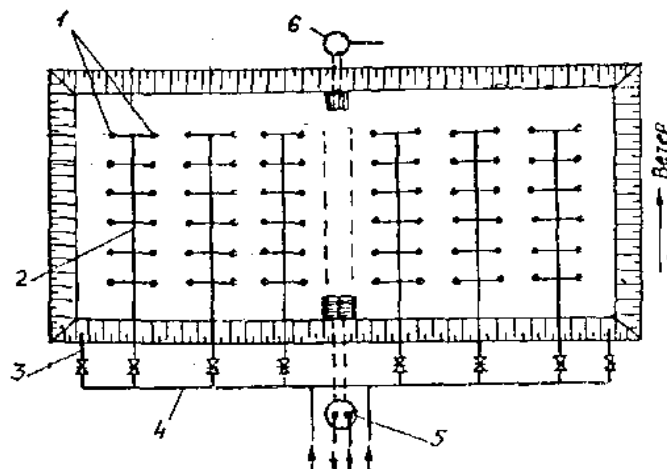


Рис. 5.1 – Схема бризкального басейну:

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

Бризкальний басейн обладнують грязьовим випуском, для спорожнення басейну, й переливною лінією. При проектуванні бризкальних басейнів передбачають випуски води безпосередньо в басейн для скидання її без розбризкування 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 зазвичай 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.

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

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

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

Басейн обладнують водоприймальним і водоспусковим колодязями. У водоприймальний колодязь, розташований на відстані 5 - 6 м від брівки басейну йде самотісна лінія. На кінці її в басейні знаходяться грубі ґрати, а у всмоктувальному колодязі встановлено очисну сітку.

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

Розбризкуючі сопла або насадки є найважливішим елементом бризкальних басейнів. Їх призначення полягає в рівномірному розподіленні води над басейном і створенні однакових за розміром дрібних краплин. Сопла повинні забезпечувати максимальне розбризкування води. Це забезпечується формою сопла й напором води перед ним.

Конструкція сопла й 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.

6. Типи градирень та їх конструкції

Градирні використовують у системах оборотного водопостачання, де потрібне стійке та глибоке охолодження води. Градирні – це більш удосконалені 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.

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, встановленими над водозбірним басейном. Вони менш ефективні ніж градирні з краплинним чи плівковим зрошувачем, оскільки площа поверхні контакту води з повітрям у них значно менша.

За способом подачі повітря градирні поділяють на наступні три основних типа: відкриті, баштові й вентиляторні.

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

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

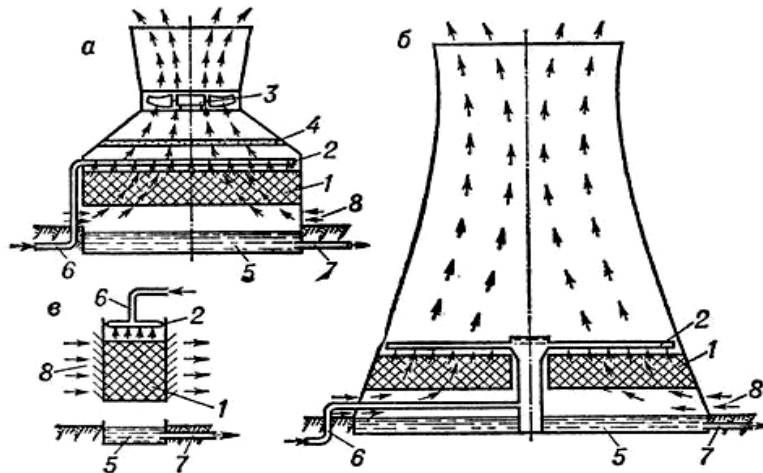


Рис. 5.2 – Градирні: а — вентиляторна; б — баштова; в — відкрита
1 — зрошувач; 2 — водорозподільувач; 3 — вентилятор; 4 — водоуловлювач;
5 — резервуар; 6 — підведення води; 7 — відведення води; 8 — вхід повітря

За типом зрошувача, градирні поділяють на:

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

Особливим видом градирень є радіаторні градирні, в яких охолоджена вода віддає своє тепло повітря, 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.

Водорозподільні й зрошувальні устрої градирень. Охолоджуюча вода розподіляється над зрошувачем градирні по системі дерев'яних або залізобетонних лотків,

у дні яких маються отвори, в які вставлені трубочки – гідравлічні насадки. Струмені води, що витікають з насадок, падають на розбризкувальні тарілки й утворюють фонтани бризок, які зрошують розташований нижче зрошувач. Гідравлічні насадки й тарілочка 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 викликають заростання зазорів між елементами. Плівкові зрошувачі застосовують при концентрації нафтопродуктів меншій за 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 більшій за 120 мг/л – бризкальні.

Зрошувач забезпечує подрібнення потоків стікаючої води і контакт їх з повітрям. У залежності від умов протікання води їх поділяють на краплинні, плівкові й комбіновані.

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

Сучасні конструкції краплинних зрошувачів виготовляють з полімерних плоских ґрат або штампованих сітчастих (перфорованих) елементів з поліетилену. Термін служби зрошувачів і 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 в монтажу і легші за азбестоцементні й дерев'яні.

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

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

Відкриті бризкальні градирні являють собою невеликий, витягнутий у плані, бризкальний басейн, що з усіх боків огорожений жалюзійною решіткою, виконуючою роль водоуловлювачів і перешкоджає виносу бризг за межі градирні.

Вітер вільно продуває жалюзійну решітку й обдуває низхідні потоки води. Розбризкувальні 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, у довжину 20–30 м.

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

Відкриті градирні використовують при невеликих витратах води від 300 до 1500 м³/год і забезпеченні невисокого охолоджуючого ефекту. Ефект охолодження значно зменшується при відсутності вітру.

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

Площа баштових градирень може бути до 4000 м², а продуктивність – від 10 до 32000 м³/год. Щільність зрошення приймають 4–8 м³/год на м².

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

Гідравлічне навантаження для баштових градирень вище, ніж для відкритих і складає зазвичай 3–6 м³/м²·год.

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

Башти градирень споруджують циліндричної, гіперболоїдної і наближеної до неї форм, 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 м² над водорозподільним пристроєм, додатково влаштовують водоуловлювач. При збільшенні площі зрошувача башту проектуєть більш високою.

Градирні великої продуктивності виконують з баштами гіперболоїдної форми, які володіють хорошими аеродинамічними показниками й стійкістю. Висота таких градирень досягає 135 м, площа зрошувача до 6000 м², а продуктивність до 50000 м³/год.

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

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

Вентиляторні градирні – споруди для охолодження води у зворотних 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 вентиляторних градирнях нижча, ніж в баштових, за однакових умов на 3–5°C.

Вентиляторні градирні дозволяють підвищувати щільність зрошення до 10–14 м³/год на м². Вентиляторні градирні поділяють на баштові, обладнані 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 наведено на рис. 5.3. 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 у зоні теплого повітря і в зимовий період не обмерзає. Крім того, в градирнях з витяжним вентилятором повітря рівномірно розподіляється по перетину зрошувача і його рециркуляція, що здійснюється вітром, значно менша. Нагнітальні вентилятори розміщуються знизу, що дає можливість швидко проводити ремонт і огляд. Але нагнітальні градирні застосовують рідко і тільки при малих витратах, хоча монтаж і їх обслуговування простіші, від витяжних.

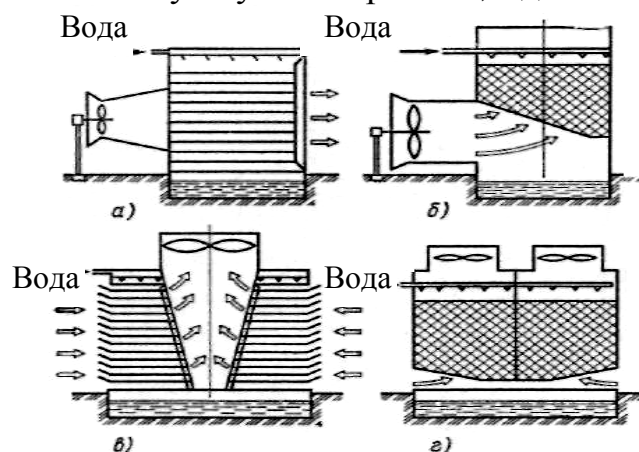


Рис. 5.3 – Схеми вентиляторних градирень

*а), б) – з нагнітальними вентиляторами; в), г) – з витяжними вентиляторами;
а), в) – з поперечним рухом повітря, б), г) – з протиточним рухом повітря*

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

постійно шумить, може з'являтися туман над землею, який несприятливо впливає на технологічне обладнання. В районах із низькою температурою і високою відносною вологістю зовнішнього повітря вони можуть бути не рентабельними. Звичайно вентиляторні градирні використовують в умовах, коли потрібна низька й стабільна температура води.

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

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

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 типом і матеріалом зрошувачів і водоуловлювачів, системам розподілення води, підведення повітря, типом і розташуванням вентиляторів. Так, у градирнях типу «Одеса» застосовують зрошувач у вигляді завислих у висхідному потоці повітря кульок 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 більші приблизно в три рази. В більшості малогабаритних градирень застосовують традиційні розподільвачі, зрошувачі й водоуловлювачі сучасного типу з широким використанням полімерних матеріалів.

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. 5.4). Діаметр трубок, зазвичай, дорівнює 15мм, а ребра — товщиною 0,3 мм. Повітря продувається, як і у вентиляторних градирнях, відсмоктувальними вентиляторами.

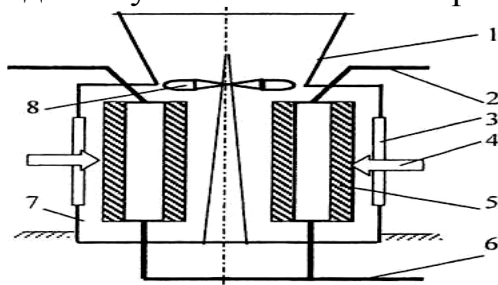


Рис. 5.4 – Радіаторна градирня:

- 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 її практично не змінюється. В той же час витрачається більше повітря, більші габарити градирні, в спекотну 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.

Питання для самоперевірки

1. Класифікація споруд для охолодження води за способом передачі тепла й підведення повітря.
2. За яких умов доцільне застосування водосховищ-охолоджувачів?
3. Переваги й недоліки застосування водосховищ-охолоджувачів і бризкальних басейнів.
4. Типи градирень.

5. Водорозподільні системи й зрошувальні устрої градирень.
6. Типи зрошувачів.
7. Як відбувається охолодження води в градирнях відкритого типу?
8. Конструкція та умови використання баштових градирень.
9. В яких випадках застосовують вентиляторні градирні.
10. Малогабаритні градирні для охолодження води.

ТЕМА 6. ОБРОБКА ВОДИ В СИСТЕМАХ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Причини та види заростання труб і теплообмінних апаратів.
2. Поняття стабільності води, рівняння вуглекислотної рівноваги.
3. Методи обробки води для попередження карбонатних відкладень, корозії труб і теплообмінних апаратів.

1. Причини та види заростання труб і теплообмінних апаратів

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. Усе це вище назване 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. Вони 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 у звороті, коли вона виконує роль теплоносія (охолоджувача).

Співвідношення між різними формами вуглекислоти залежить при даній температурі води від активності іонів водню (рН розчину) (рис. 6.1).

У природних водах вуглекислота може знаходитись у наступних формах:

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

Як видно з рис. 6.1, при $\text{pH} \leq 4$ уся вуглекислота, що міститься у воді знаходиться в формі вільної CO_2 . При збільшенні рН до 8,3 вміст вільної вуглекислоти зменшується практично 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 рН 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.

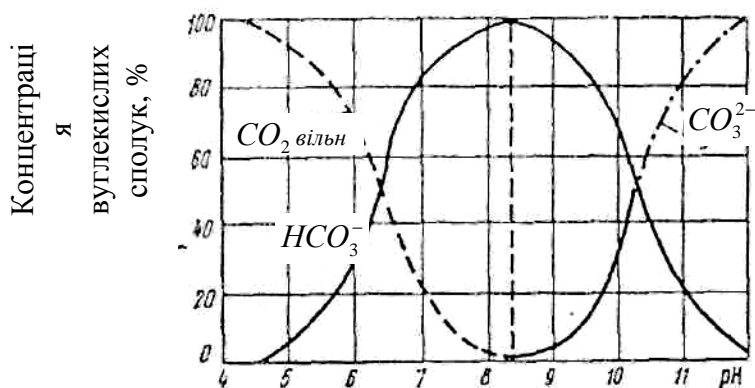


Рис. 6.1 – Співвідношення різних форм вуглекислоти і рН води при температурі 25°C

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 утворюють 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 карбонату кальцію не відбувається.

Крім температури на стабільність води впливає її хімічний склад. Причому, якщо температура впливає на рівноважну лужність однозначно (з підвищенням температури рівноважна лужність знижується), то залежність рівноважної 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.

2. Поняття стабільності води, рівняння вуглекислотної рівноваги

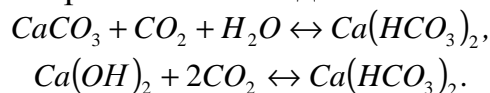
Стабільність є одним з основних показників якості води.

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

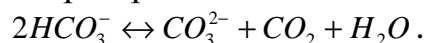
такої стабільності є співвідношення між розчиненою у воді вільною вуглекислотою й іонами кальцію.

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

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



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



У присутності іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} в 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 С*. Існують два метода визначення цього показника: основний і допоміжний. При визначенні основним методом показник стабільності C_o знаходять за формулою:

$$C_o = \frac{L_{вих}}{L_{нас}}, \quad (6.1)$$

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_d знаходять за формулою:

$$C_d = \frac{pH_{вих}}{pH_{нас}}, \quad (6.2)$$

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 Ланжелє», розрахованому за рівнянням:

$$J = pH_{вих} - pH_{нас}. \quad (6.3)$$

Величину $pH_{нас}$ розраховують на підставі даних про дисоціацію вугільної кислоти і розчинність карбонату кальцію при певній температурі води $f_1(t)$, концентрацію іонів кальцію $f_2(Ca^{2+})$, лужність $f_3(L)$ і загальний солевміст води $f_4(P)$. Значення $pH_{нас}$, що відповідає рівноважному стану системи за цих умов, розраховують за формулою:

$$pH_{нас} = f_1(t) - f_2(Ca^{2+}) - f_3(L) + f_4(P). \quad (6.4)$$

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 й 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.

3. Методи обробки води для попередження карбонатних відкладень, корозії труб і теплообмінних апаратів

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 зі зворотних 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 «заростання» апаратів газоочисток відбувається внаслідок взаємодії насиченої вапном води з кислими складовими газів (CO_2 , SO_2).

Найбільш поширеним методом стабілізації охолоджуючої води є продувка систем водяного охолодження – відведення частини оборотної води з заміною її свіжою. При здійсненні продувки відбувається загальне зниження концентрації всіх домішок, у тому числі хлоридів і сульфатів, що сприяє послабленню процесів корозії в оборотній системі охолодження.

Оскільки основним призначенням продувки є підтримання карбонатної жорсткості зворотної води менше гранично допустимої $J_{к. \text{ гран.}}$, значення цієї продувки можна отримати з рівняння балансу:

$$J_{к. \text{ гран.}}(P_2 + P_3) = J_{к. \text{ доб.}}(P_1 + P_2 + P_3),$$

звідки

$$P_3 = \frac{P_1 \cdot J_{к. \text{ доб.}}^K}{J_{к. \text{ гран.}}^K - J_{к. \text{ доб.}}^K} - P_2 \quad (6.5)$$

де $J_{к. \text{ доб.}}$ – карбонатна жорсткість свіжої води, що додається в систему;

P_1 і P_2 – втрати зворотної води при охолодженні за рахунок випаровування і винесення вітром, %;

P_3 – продувка системи, %.

Однак зазвичай стабілізація охолоджуючої води суміщає комплекс заходів, що включають як продувку, так і обробку води хімічними реагентами. До хімічних методів обробки охолоджуючої води відносяться підкислення, рекарбонізація, фосфатування.

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

$$L_n \cdot K_K \geq 3, \quad (6.6)$$

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.

Продувка системи ефективна тільки в тому випадку, якщо карбонатна жорсткість доданої води значно нижча за карбонатну жорсткість води в системі. Інакше потрібна настільки велика витрата підживлюючої води, що додавання її буде просто неекономічним і тому вигідніше буде застосовувати хімічну обробку води. Підживлюючу воду обов'язково треба очищати від зависі й 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 виробничих стічних вод, наприклад, металургійних заводів, можуть бути застосовані відходи виробництва. Для запобігання випадінню карбонатних відкладень у системі зворотного водопостачання, установки очистки доменного газу застосовують обробку води вуглекислотою, що міститься в димових газах. У 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 й катіонітне пом'якшення, знесолювання. До другої групи – фосфатування, додавання комплексонів, фізичні методи. Кислотно-фосфатна обробка води є комбінованим методом запобігання випадінню щільних сольових відкладень.

Підкислення води проводять з метою часткового зниження карбонатної жорсткості води до значення, що дорівнює або декілька нижче $J_{K, \text{гран.}}$. Для цього використовують сірчану кислоту як найбільш дешевий і доступний реагент.

Процес підкислення небажаний при великій лужності вихідної води, оскільки при цьому значно підвищується концентрація сульфатів у обробленій воді, й зростає

небезпека утворення відкладень CaSO_4 у трубках конденсаторів і посилення сульфатної корозії бетону – основного матеріалу сучасних градирень.

Слід також відмітити, що відомі методи запобігання щільним сольовим відкладенням, які застосовують у практиці водопостачання (підкислення, карбонізація) несприйнятливі в системах водопостачання газоочисток конверторних цехів унаслідок низької ефективності і великих витрат реагентів.

Більш ефективнішим для подібних систем зворотного 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 зворотного 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 35°C 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.

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

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

- нанесення різних захисних покриттів з використанням матеріалів, що традиційно для цього застосовують (захисні лаки, емалі, фарбування поверхні 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.

Питання для самоперевірки

1. Основні причини порушення водно-хімічного режиму роботи систем зворотного водопостачання.
2. Що таке вуглекислотна рівновага? Які води називають стабільними?
3. Визначення стабільності води.
4. Назвіть основні методи запобігання щільним сольовим відкладенням у зворотних системах водопостачання.

ЗМ 1.2 ОЧИСТКА Й ПОВТОРНЕ (БАГАТОРАЗОВЕ) ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД У СИСТЕМАХ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

ТЕМА 7. ЗВОРОТНІ ТА ЗАМКНЕНІ СИСТЕМИ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ

1. Водне господарство підприємств чорної металургії.
2. Обробка стічних вод на локальних очисних спорудах.
3. Підготовка води в системах промислового водопостачання, конструкції споруд для очищення виробничих стічних вод.

1. Водне господарство підприємств чорної металургії

До складу металургійного комбінату входять наступні виробництва:

- Агломераційна фабрика (підготовка (ошматкування) руди і шихти для доменних печей – сировини для виробництва чавуну).
- Коксохімічний завод (виробництво коксу, призначеного для відновлення руди).
- Доменні печі (виробництво чавуну).
- Сталеплавильний цех (виробництво сталі різних сортів).
- Цех безперервного розлиття сталі (формування слябів і блюмів – заготівок для виробки кінцевої продукції).
- Цех гарячої прокатки (виробництво листів, брусків, проволочи тощо);
- Цех холодної прокатки (виробництво готової продукції (тонкий лист різних сортів)).

У комплексі цих виробництв організовано роздільну систему водовідведення. Очистка стічних вод вирішується самостійно для окремих виробництв.

Основну кількість води на металургійних заводах використовують на охолодження й очистку газів, що виділяються під час плавки металу, охолодження обладнання, гідротранспорт, промивку металу після травлення і знежирювання, охолодження прокатних станів.

За наявності сольових відкладень в трубопроводах і обладнанні зворотні системи водопостачання працюють з продувкою, яка становить 3–5% від загальної витрати води в системі, досягаючи максимуму в окремих випадках до 10%.

2. Обробка стічних вод на локальних очисних спорудах.

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.

При доменному цеху в самостійний комплекс виділяють споруди з очистки доменного газу та з обробки стічних вод, що утворюються при його очищенні. Водне господарство доменної газоочистки приймають за замкненим зворотним циклом. У цехах очистки доменного газу вода служить поглиначем механічних домішок, розчинником газів, а також охолоджувачем і транспортує середовищем поглинених домішок.

Стічні води доменної газоочистки, склад і властивості яких залежать від складу шихти й тиску газів під колошником, освітлюють зазвичай в радіальних відстійниках різних конструкцій з застосуванням коагулянтів і флокулянтів. Освітлену воду після охолодження і стабілізаційної обробки використовують повторно, осад зневоднюють і утилізують.

Температура води, що відходить від газоочистки становить 45–55°C. Для цієї води характерний високий вміст завислих речовин за рахунок часток пилю, 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.

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 (м. Нікополь, м. 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 солеміст - 40 г/л (з них сульфатів і хлоридів 1,2 г/л), а саме головніше – в стоках з'являються дуже токсичні речовини: ціаніди (100–200 мг/л) і роданіди (220–1160 мг/л). Обробка таких стоків потребує подальшого очищення – знешкодження хімічними методами за допомогою реагентів або фізико-хімічними, електрохімічними методами.

Стічні води від очищення газу доменних печей, що виплавляють феромарганцевий чавун, очищають від завислих речовин у радіальних відстійниках зі знешкодженням ціанідів залізним купоросом з подальшим підлугуванням для підтримки рН води в межах 9–10. При цьому необхідні великі витрати залізного купоросу та вапна.

Для систем зворотного водопостачання газоочисток доменних печей характерний складний водно-хімічний режим. У системі зворотного водопостачання доменної газоочистки відбувається інтенсивне забруднення нижньої частини газоочисних скрубєрів, краплинного зрошувача градирень і трубопроводів карбонатними відкладеннями у вигляді CaCO₃, заліза та ін., а на деяких заводах також і ZnCO₃. У результаті забруднення швидко падає охолоджуючий ефект градирень і знижується пропускну здатність скрубєрів і трубопроводів.

Причиною утворення карбонатних відкладень є висока концентрація вільної вуглекислоти (CO₂) та відповідний їй вміст бікарбонатних (HCO₃⁻) і карбонатних (CO₃²⁻) іонів.

Для запобігання або зменшення інтенсивності карбонатних відкладень на поверхнях, що контактують зі стічними водами, попередження корозійного руйнування устаткування (скрубєрів високого тиску та ін.) у системах зворотного водопостачання доменних газоочисток знаходять застосування такі методи, як фосфатування, рекарбонізація води, добавки ІОМС.

Шлак, що утворюється під час плавки чавуна відводять від доменних печей до грануляційних установок. Грануляція шлаку полягає в перетворенні його з рідкого стану у твердий зернистий матеріал шляхом швидкого охолодження водою. Стічні води в залежності від складу 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.

На даний час прибирання пилу, що осідає і просипу у підбункерних приміщеннях здійснюють гідравлічним засобом. *Стічні води від підбункерних приміщень* та машин для розлиття чавуна доменного виробництва відрізняються від стічних вод газоочистки значним вмістом вапна. Обробку цих стічних вод здійснюють за замкненою схемою з проясненням води у горизонтальних відстійниках.

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 чавуна. Водопостачання розливальних машин зворотне. Середню концентрацію завислих речовин у стічній воді при розрахунку очисних споруд приймають 2000 мг/дм³.

Сталеплавильні цехи. Стічні води сталеплавильного виробництва утворюються при очищенні газів мартенівських, електросталеплавильних і киснево-конвертерних цехів. Їх відмітна особливість полягає в значній зміні складу стоку в процесі плавки. Очищення стічних вод здійснюють шляхом виділення зважених речовин у відкритих гідроциклонах, флокуляторах і радіальних відстійниках.

Сталеплавильні цехи мають зазвичай два цикли зворотного водопостачання. В одному з них вода виконує роль теплоносія, в іншому – охолоджувача та середи, що поглинає й транспортує механічні домішки до водоочисних споруд (металевий пил, окалину та ін.).

Водопостачання конверторного цеху здійснюють тільки за зворотною схемою.

Газоочистка конверторів. Стічні води від очистки конвертерного газу забруднені твердими частками й 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. У зв'язку з цим збільшується гідратна лужність зворотної води.

Очистку газів здійснюють мокрим способом.

Система водопостачання газоочисток конверторів зворотна. Передбачається попереднє уловлювання завислих часток крупністю більше 500 мкм, віддувка у разі необхідності вільного оксиду вуглецю, прояснення в радіальних відстійниках або флокуляторах і наступне охолодження на градирнях. Віддувка вільного оксиду вуглецю потрібна для того, щоб поблизу прояснювачів приземна її концентрація не перевищувала рівня, шкідливого для обслуговуючого персоналу. Питоме гідравлічне навантаження на радіальні відстійники приймають 1 м³/год × м².

На схемі зворотного водопостачання газоочистки (рис. 7.1) стічні води від газоочисних установок самопливом надходять у приймальну камеру 1, куди також підводиться пара. 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 в камері 2, відводяться в двохсекційний горизонтальний відстійник 7, з якого осад періодично видаляється 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. Усі флокулятори діаметром 12 м і висотою відстійної зони 10 м, конструкція їх розроблена НВО "Енергосталь".

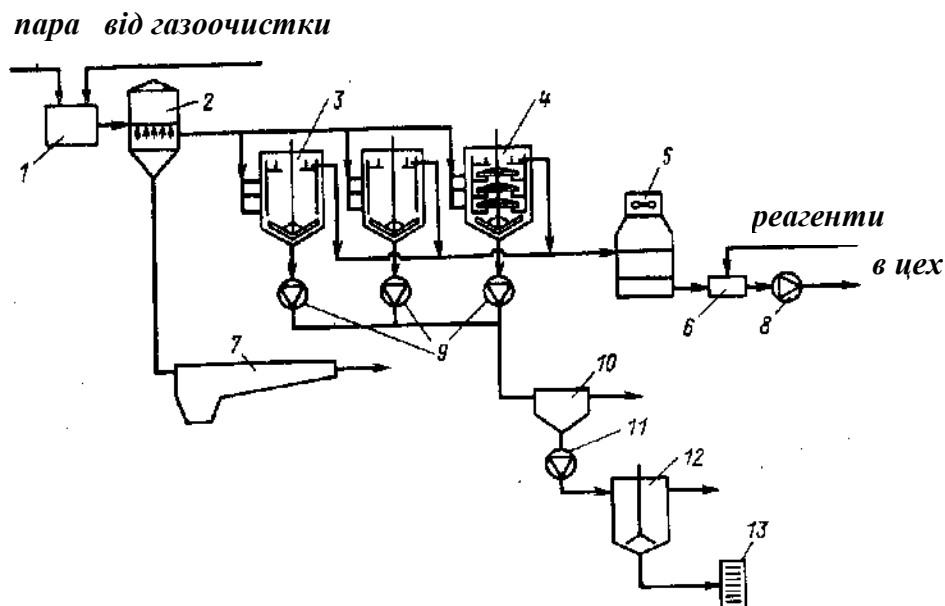


Рис. 7.1 – Схема оборотного водопостачання газоочисток киснево-конверторного цеху металургійного комбінату «Азовсталь»

При питомому гідравлічному навантаженні $6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$ і 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. Продуктивність 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 перемінні за ходом плавки вміст пилу, різної величини частки пилу і зміни температури. Для очистки газів застосовують як суху газоочистку (електрофільтри), так і мокру.

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 питоме 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 у електричних печах, плавка металу відбувається під дією електричного току за рахунок електричної дуги, що утворюється між електродами. В процесі плавки сталі з електропечей також відходить велика кількість газів, які очищаються найчастіше за допомогою води. 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 виплавленої сталі. У зв'язку з цим, для повторного використання цих стічних вод у системах зворотного 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 вод найбільш доцільно здійснювати в 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.

Стічні води установок безперервного розлиття сталі. Систему водопостачання вторинного охолодження застосовують зворотну, з трьохступеневою очисткою стічних вод і охолодженням води на градирнях.

В якості першого ступеня очистки застосовують ями для окалини, подібні тим, що влаштовують у цехах гарячої прокатки. Гідравлічне навантаження на них приймають у 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-кварцових фільтрах, після яких досягається остаточний вміст завислих речовин у зворотній 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 $30 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$.

Прокатні стани. Умовно чиста вода утворюється при охолодженні нагрівальних печей. На всіх інших операціях утворюється брудна вода. В процесі гарячої прокатки металу утворюються стічні води від охолодження металу, що прокачують, 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 її охолодження, 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.

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

Очищення стічних вод здійснюють у три етапи. Первинну очистку від крупних часток окалини здійснюють в ямах для окалини (первинні відстійники), час перебування 5–8 хвил. Вторинне очищення від зважених речовин і масел здійснюють у горизонтальних і радіальних відстійниках або гідроциклонах. Залишкова концентрація завислих речовин – 30–90 мг/л, масел 12–20 мг/л. Доочистка – на фільтрах із зернистим завантаженням підвищеної брудоемкості (піщаних або гравійних фільтрах), фільтрах з плаваючим завантаженням, сітчастих фільтрах. Прояснену воду використовують повторно.

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 й затрати на очистку. Очищають ці стічні води звичайно методом флотації, потім нейтралізують до $\text{pH}=7\text{--}7,5$. Кількість стічних вод від станів холодної прокатки порівняно невелика і складає від 100–200 $\text{м}^3/\text{год}$.

3. Підготовка води в системах промислового водопостачання, конструкції споруд для очищення виробничих стічних вод

Очистку виробничих стічних вод організовують з метою використання їх у системах зворотного, послідовного або замкненого водопостачання, забезпечення умов приймання до міської системи водовідведення або скиду до водних об'єктів.

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

Основні завдання, що стоять перед металургами на даний час, полягають у тому, щоб в умовах подальшого зростання обсягів виробництва забезпечити зниження витрат води та кількості стічних вод, зменшити скиди у водні басейни, знизити кількість твердих відходів і виключити негативний вплив виробничої діяльності металургійного виробництва на навколишнє середовище.

На даний час основні завдання в галузі з підготовки води в системи водопостачання мають спрямованість на максимальне використання води у зворотних системах і створення замкнених систем водопостачання окремих цехів, виробництв і підприємств у цілому. В замкнених системах (системах без скиду вод передбачають використання у виробництві очищених побутових вод, поверхневого стоку, а також повну утилізацію всіх відходів. Замкнені системи водопостачання пов'язані не лише з прогресивними вирішеннями за схемами й спорудами водного господарства, але й із створенням принципово нових і вдосконаленням існуючих технологічних процесів, різкого скорочення відходів виробництва, в тому числі у вигляді стічних вод.

На даний час у галузі практично вирішені питання очищення стічних вод усіх металургійних виробництв 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 і пінополістирольним завантаженням та ін.

Розвиток робіт в області механічного очищення стічних вод здійснюють шляхом подальшої інтенсифікації з одночасним зменшенням капітальних і експлуатаційних витрат у 1,5–2 рази за рахунок упровадження апаратів великої одиничної потужності (радіальний відстійник діаметром 50 м, напірні фільтри 5 м та ін.). Розроблені й упроваджені нові типи коагулянтів і флокулянтів на підставі високомолекулярних реагентів (поліетиленамін, триетаноламін), що унеможливають додаткового підвищення солевмісту в системах, перехід з триступінчастих схем очищення стічних вод прокатного виробництва і відділень безперервного розливання сталі (первинні відстійники, вторинні відстійники, фільтри) на двоступінчасту (первинні відстійники, фільтри або вторинні відстійники).

Для очистки стічних вод промислових підприємств застосовують головним чином:

- механічні методи (проціджування, відстоювання у відстійниках, піскоуловлювачах, нафтовловлювачах; гідроциклонах, осаджувальних центрифугах і фільтрування води);
- хімічні методи (нейтралізація, коагуляція, флокуляція);
- фізико – хімічні методи (флотація, сорбція, екстракція, евапорація) ;

- електрохімічні методи, пов'язані з накладанням електричного поля –електро-коагуляція, електрофлотація;
- комбіновані методи.

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.

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 видаляють 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, влаштовано масло утримуючий щит. За висотою у відстійнику виділяють дві частини: верхню, яку називають робочою частиною, там відбувається осідання завислих речовин (зона осідання) і нижню, де накопичується й ущільнюється осад, що випадає.

Тривалість відстоювання залежить від дисперсності часток, їх форми, тобто величини гідралічної крупності (швидкість осідання 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 типа відстійників необхідно мати на увазі їх деякі експлуатаційні особливості. При значних витратах води горизонтальні відстійники доводиться влаштовувати багатосекційними, бо звичайно ширину однієї секції приймають 5–6 м (продуктивність – 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. Розподіл твердої і рідкої фаз у вертикальних відстійниках відбувається за рахунок зменшення швидкості потоку і зміни його напрямку на 180°. Вертикальні відстійники більш компактні, однак їх ефективність на 10—20 % нижче, ніж у горизонтальних.

У конструкції *радіального відстійника* реалізовано принцип дії вертикального й горизонтального відстійників. Радіальний відстійник – зазвичай, круглий у плані

резервуар, вода в якому в процесі очистки рухається за радіусом 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 менша за 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 в центральний приямок, звідки видаляється за допомогою шламових насосів. Ефективність прояснення в радіальних відстійниках досягає 60%. Глибина відстійника дорівнює від 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 упродовж багатьох років використовують для очищення стічних вод газоочисток доменних печей та інших металургійних агрегатів при питомому гідравлічному навантаженні $0,4\text{--}2\text{ м}^3/\text{м}^2\text{хгод}$.

Залежно від виду плаваючих домішок, що видаляються, відстійники можуть називатися нафтауловлювачами, жирууловлювачами. Ефективність видалення з води плаваючих домішок складає 95-96 %. Домішки, що спливали 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 очищають, 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. Шлам з горизонтальних відстійників видаляється періодично або безперервно. Для періодичного видалення шламу застосовують ковші грейферів, якими обладнано 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 типа скребкового конвеєра.

Уловлене масло й інші нафтопродукти системою лотків відводяться в ємкість, з якої перекачують у 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 зазвичай працюють періодично. У відстійниках, призначених для уловлювання як масла, так і осідаючих речовин, маслосгінний пристрій зазвичай 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 за $0,8\text{--}1,1 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{хгод}$, а в умовах роботи замкнених систем зворотного водопостачання $0,4\text{--}0,8 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{хгод}$, що вимагає значних виробничих площ для розміщення очисних споруд.

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

- низька продуктивність (питомі гідравлічні навантаження знаходяться в межах $1\text{--}2 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{хгод})$);
- непристосованість для роботи з коагуляцією і флокуляцією;
- недосконалість конструкції (коефіцієнт використання об'єму 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 розглянуто конструкції сучасних апаратів і споруд для очистки стічних вод, розроблених УкрДНТЦ «Енергосталь», у яких найкращим чином реалізовані флокуляційні властивості завислих речовин. Врахування флокуляційних властивостей завислих речовин дозволяє значно збільшити продуктивність споруд та апаратів, що призначені для прояснення води.

Для очистки значних витрат стічних вод доцільно застосовувати *відстійники з вбудованою камерою флокуляції гідроциклонного типу* (рис. 7.2). Діаметр відстійника – 30 м. Камера пластівцеутворення має циліндричну форму діаметром 10 м.

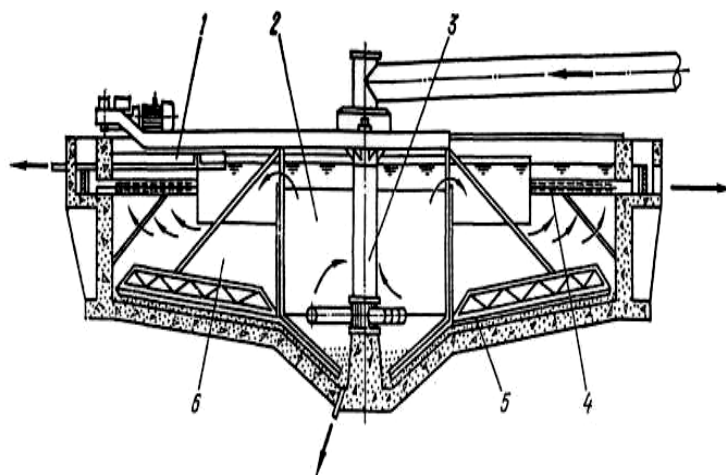


Рис. 7.2 – Відстійник з камерою пластівцеутворення гідроциклонного типу: 1 – маслозбірний пристрій; 2 – камера пластівцеутворення; 3 – розподільчий пристрій; 4 – водозбірна система; 5 – скребкова ферма; 6 – зона осадження

Цей відстійник можна застосовувати для очистки стічних вод, які містять окрім завислих речовин, масло (наприклад, для очистки стічних вод цехів гарячої

прокатки сталі, що містять окалину та масло), 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 й флокулянти. Як коагулянти найчастіше використовують хлорне й сірчаноокисле залізо, сірчаноокислий алюміній, вапно та ін., як флокулянти - різні високомолекулярні органічні сполуки, наприклад, поліакриламід (ПАА), активована кремнекислота та 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 поєднанні з іншими нерозчинними домішками, в тому числі й важкими. В цьому випадку у всіх спеціальних відстійниках передбачають спеціальні пристрої для збору й видалення легких і важких домішок. Одними з таких споруд є тонкошарові відстійники, нафтовловлювачі з тонкошаровими блоками, маслосмолоуловлювачі та ін.

Відкриті гідроциклони, флокулятори

У відкритих гідроциклонах використовуються переваги відстійних апаратів і напірних гідроциклонів.

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

Відокремлення зависі від води відбувається 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, в нього тільки відсутня центральна труба, а підведення води здійснюється тангенціально в нижній частині апарату.

Відкритий гідроциклон (рис. 7.3) складається з трубопроводу подачі стічних вод, що очищаються, тангенціального до циліндричної частини апарату та циліндричного корпусу з витягнутим униз конічним днищем. Вода рухається в апараті, обертаючись уверх, проходить через отвір у конічній діафрагмі, збирається в кільце-

вий водозбірний лоток і відводиться з апарату. Осад випадає в кінчну частину апарата.

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

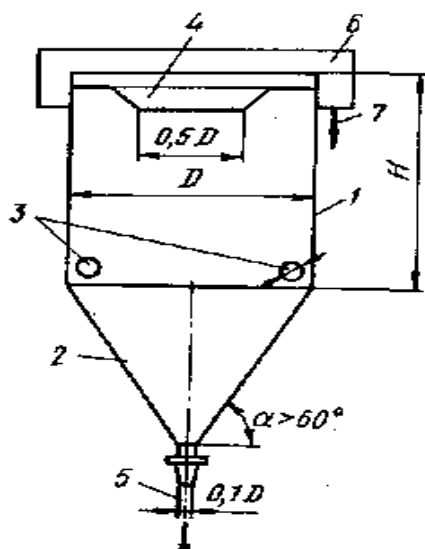


Рис. 7.3 – Відкритий гідроциклон:
1 – корпус; 2 – конічне днище; 3 – патрубки підведення забрудненої води; 4 – діафрагма;
5 – відведення иламової пульпи; 6 – кільцевий лоток; 7 – відведення проясненої води

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, яку очищують 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 в порівнянні з іншими спорудами для механічної очистки вод відрізняються високою продуктивністю, компактністю, економічні у виготовленні та експлуатації.

Відкриті гідроциклони виготовляють діаметром 2,5 - 8 м.

Для підвищення ефективності конструкцію гідроциклону доповнюють 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 α , який для відкритих гідроциклонів дорівнює 0,8. При відсутності конічної діафрагми коефіцієнт $\alpha = 0,5-0,6$.

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

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

де U_0 - гідравлічна крупність часток, мм/с;

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

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

Ефект роботи гідроциклону значно збільшується при використанні коагулянтів. Так, відносно 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 м³/м²×год, а з застосуванням коагулянтів – 12 м³/м²×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 цехів заводу "Дніпрспецсталь" та ін. Застосування відкритих гідроциклонів особливо доцільне на заводах зі стиснутою площиною.

Багатоярусний гідроциклон з периферійним відбором проясненої води являє собою апарат, у якому застосована комбінована схема руху води й осаду в кожній робочій парі ярусів. Як показав досвід експлуатації подібних багатоярусних гідроциклонів на стічній воді станів гарячої прокатки, при гідравлічному навантаженні 2,5 м³/м²·год відбувається уловлювання часток окалини з крупністю до 0,3 мм, залишковий вміст у проясненій воді завислих речовин складає в 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, у якому суміщені конструктивні елементи відкритого гідроциклону й радіального відстійника. Діаметр флокулятора і висота 12 м. При очищенні стічних вод газоочисток питомі гідравлічні навантаження на апарат складають 7–8 м³/м²×год, концентрація суспензії в очищеній воді – до 100 мг/л (при вихідній концентрації 3–4 г/л); концентрація масел в очищеній воді не перевищує 40 мг/л при вихідній концентрації 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. Як коагулянти можуть бути використані: хлорне й сірчанокиисле залізо, сірчанокислений алюміній, в якості флокулянта – поліелектроліти: поліакриламід (ПАА), поліетиленімін та ін.

Встановлено, що у 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 10-11 $\text{м}^3/\text{м}^2 \times \text{ч}$. Флокулятори такої конструкції встановлені і тривалий час знаходяться в експлуатації в системі оборотного водопостачання газоочистки киснево-конверторного цеху «Азовсталь».

На рис. 7.4-а наведено флокулятор з розподільною камерою. Підведення води до нього передбачено тангенціальними 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

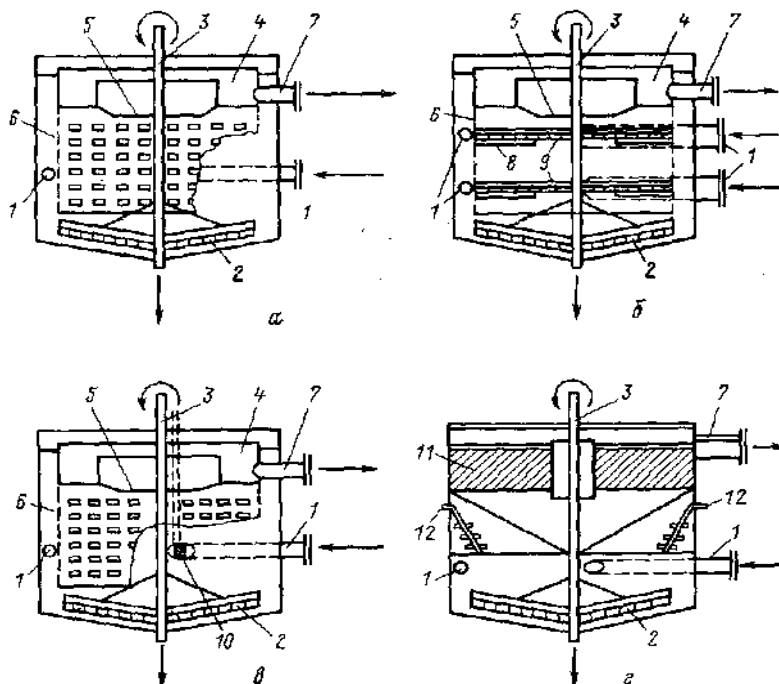


Рис. 7.4 – Принципові схеми флокуляторів:

а – флокулятор з розподільною камерою; б – ярусний флокулятор; в – флокулятор з пристроєм для корегування швидкості; г – тонкошаровий флокулятор;

1 – тангенціальний патрубок; 2 – ферма; 3 – вал; 4 – лоток; 5 – діафрагма;

6 – перфорована перегородка; 7 – відвідний патрубок; 8 – проміжні діафрагми;

9 – додаткові ферми; 10 – пристрій для корегування швидкості потоку;

11 – тонкошарові модулі; 12 – труби з соплами для змивання осаду

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. 7.4, 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. 7.4, в), що розташований у корпусі на вході тангенціальних патрубків.

На базі вищезгаданих очисних апаратів розроблено також тонкошаровий флокулятор (рис. 7.4, г). У цьому апараті суміщено безперервне механізоване збирання шламу за допомогою обертаючої скребкової ферми з максимальним ступенем заповнення поперечного перерізу апарата пластинчастими тонкошаровими модулями.

Гідроциклони та флокулятори, що володіють завищеною продуктивністю в порівнянні зі звичайними відстійними спорудами, полегшують створення локальних систем зворотного 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 застосування для очищення стічних вод практично на всіх об'єктах, що реконструюють і 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.

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.

Фільтрування води. Конструкції фільтрів

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 в 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.

Найбільш широко застосовують такі фільтруючі матеріали, як кварцовий пісок, подрібнений антрацит, мармур, керамічна крихта, доломіт, магнетит та ін.

Останніми роками широкого застосування 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 числом фільтруючих шарів застосовують одношарові, багатошарові та каркасно-засипні фільтри (рис. 7.5), які є різновидом багатошарових фільтрів з завантаженням у вигляді каркасу з гравію або щебеню й засипки дрібнозернистого матеріалу в 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 й розміру зерен знизу вгору.

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

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

Швидкі безнапірні фільтри. Застосовують одношарові, багатошарові й каркасно-засипні фільтри (рис. 7.5), які є різновидом багатошарових фільтрів з завантаженням у вигляді каркасу з гравію або щебеню та засипки дрібнозернистого матеріалу в поруватому просторі каркаса, приблизно, на половину його висоти.

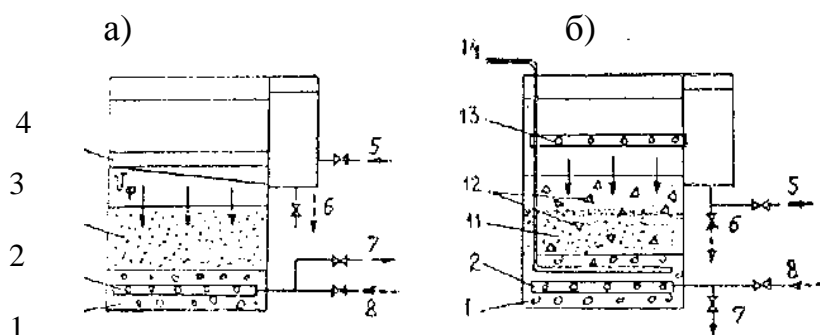


Рис. 7.5 – Схема одношарового швидкого фільтра (а) і каркасно-засипного (б:)

1 – підтримуючий гравійний 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 – гравійний каркас; 11 – трубчатая 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. Основні елементи напірних фільтрів такі самі, як у безнапірних фільтрах – фільтрувальне завантаження і підтримуючі шари, дренажна система, призначена для відведення проясненої води й подачі промивної води, розподільним пристроєм для стислого повітря та ін. 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.

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 1 м² 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.

Підтримуючі шари насипають 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.

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 (d₃ = 0,8 – 1,1 мм), керамзит, полістирол, для нижніх шарів – пісок (d₃ = 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 вища в 2-4 рази, а тривалість фільтроциклу - в 2 - 3 рази, від одношарових фільтрів.

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

У системах зворотного 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, він змонтований на кришці фільтра. Швидкість фільтрування за проектом – біля 50 м/год. Фільтр призначено для очистки стічних вод прокатного виробництва, що містить окалину й масла. Продуктивність його відносно невелика – 150 м³/год.

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 відбувається знизу вгору, 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. Брудоемкість завантаження в кінці фільтроциклу – 30-40 кг/м³, інтенсивність промивки – 30-35 л/(с·м²).

У технології очистки виробничих стічних вод знаходять також застосування сітчасті фільтри. Значний інтерес представляє напірний сітчастий фільтр з автоматичним промивним пристроєм ВСФ-2000 (рис. 7.6). 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.

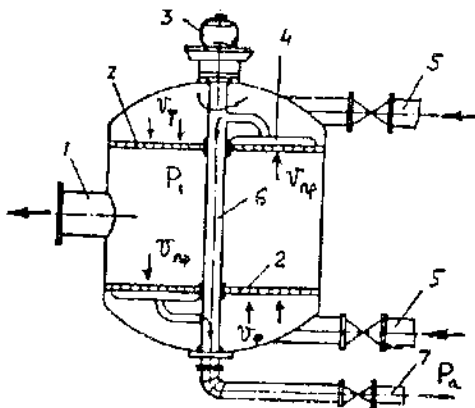


Рис. 7.6 – Високошвидкісний сітчастий фільтр ВСФ-2000:

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

Продуктивність фільтра – 2000 м³/год. Фільтр затримує завислі речовини крупністю 0,01 мм і більше при швидкості фільтрування 60-70 м/год. Втрати напору при безперервній промивці сіток складають 0,3-0,5 кгс/см². Ефект очистки залежить від вихідної концентрації і дисперсного складу забруднюючих речовин, розмірів комірок 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 кольматації 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. Вони відрізняються тим, що на перегородку (сітку або ґрати) нанесено наливний шар фільтруючого матеріалу, через який і відбувається фільтрування води. Наливний шар дозволяє істотно збільшити ефективність очищення від механічних

домішок (твердих завислих речовин, масел, нафтопродуктів). Найчастіше як матеріал намівного 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 водо повітряною сумішшю – 30 хвил.

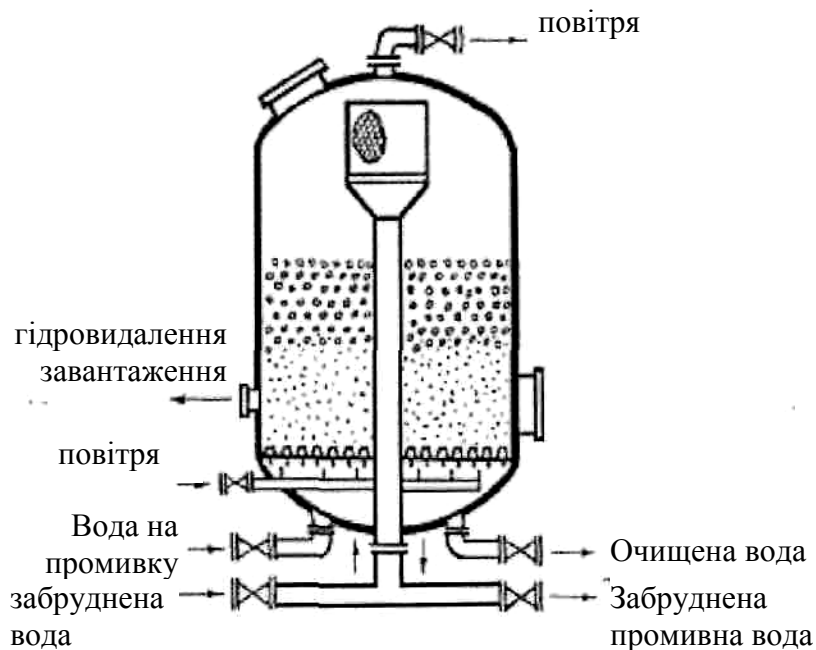


Рис. 7.7 – Напірний антрацито-кварцовий фільтр

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

Питання для самоперевірки:

1. Назвати основних споживачів води в доменному виробництві.
2. Як здійснюють очистку газів доменних печей?
3. Водяне й випарне охолодження доменних печей.
4. Основні категорії стічних вод, що утворюються при виробництві сталі в кисневих конверторах.
5. Використання води на прокатних станах.
6. Як здійснюють очистку стічних вод прокатних станів («брудний цикл»)?
7. Переваги й недоліки вертикальних і горизонтальних відстійників.
8. Принцип дії відкритих і напірних гідроциклонів.
9. Конструктивні особливості і принцип роботи флокулятора.
10. Сучасні споруди для очистки промислових стічних вод.
11. Конструкції фільтрів, що застосовують для очистки виробничих стічних вод.

ТЕМА 8. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ І ПРАКТИКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАМКНЕНИХ (БЕЗСТІЧНИХ) Й БЕЗВІДХОДНИХ СИСТЕМ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА МЕТАЛУРГІЙНИХ ВИРОБНИЦТВ

1. Особливості створення замкнених систем.
2. Досвід створення безстічних і безвідходних систем.
3. Значення хвостових установок.

1. Особливості створення замкнених систем

Упровадження замкнених (безстічних) систем водокористування в даний час вважається практично єдиним раціональним рішенням ефективного використання води в металургії.

Створення замкнених систем зворотного водопостачання промислових підприємств базується на докорінній зміні існуючих принципів організації водопостачання, водовідведення і очищення стічних вод.

Водне господарство підприємства необхідно розглядати як комплексну систему, що включає водопостачання і каналізацію, при цьому очищення стічних вод розглядається як підготовка їх для повторного використання. Основою замкнених систем водного господарства є локальні зворотні цикли водопостачання, в яких об'єднують споживачів з однаковими вимогами до якості води і аналогічними забрудненнями. При цьому якість повторно використовуваної води визначається на підставі науково-обґрунтованих вимог. Локальні зворотні системи об'єднують в єдиний комплекс водного господарства з використанням *каскадного принципу* - первинна подача води споживачам з підвищеними вимогами до якості води, а продукція цих систем служить для підживлення систем з водою нижчої якості.

Основним джерелом виробничого водопостачання мають бути очищені виробничі й міські стічні води, а також поверхневий стік з території підприємства. Свіжу воду з водних джерел треба використовувати лише для особливих цілей і заповнення втрат води в системах. При очищенні стічних вод і регенерації технологічних розчинів, вживані методи повинні забезпечувати одночасне вилучення цінних компонентів з отриманням товарного продукту або вторинної сировини для подальшого використання.

Створення замкненої системи водопостачання є комплексним завданням, що передбачає:

- упровадження ефективних фізико-хімічних методів очищення стічних вод;
- установлення гранично допустимих концентрацій солей і інших компонентів у зворотній воді з урахуванням її безпеки для кожного замкненого циклу;
- створення максимально можливого числа локальних замкнених циклів з багатократним використанням води;
- вилучення зі стічних вод цінних компонентів;
- переробку з метою утилізації виділених осадів і засолених вод.

Створення систем безстічного водопостачання вимагає глибокої оцінки якості води, точного визначення джерел і величини безповоротних втрат, максимально можливого спрощення загальнозаводської схеми водопостачання. Основною

вимогою до якості води, що визначає необхідність продувки систем зворотного водопостачання, є її стабільність: хімічний склад зворотної води повинен виключати утворення відкладень і корозію.

Створення замкнених безстічних і безвідходних систем водного господарства металургійних підприємств передбачає знесолювання продувочних вод на заводських демінералізаційних установках з поверненням отриманої чистої води у виробничий процес.

Практика експлуатації подібних систем показує, що визначальними чинниками при їх створенні є вибір і влаштування хвостових очисних установок. Адже саме вони дозволяють зробити систему замкненою. До хвостових установок відносяться установки переробки продувочних вод, утилізації концентрованих відпрацьованих технологічних розчинів, кристалізації, збезводнення і сушки осадів, а також стабілізаційні установки, установки спалювання, доочистки та ін.

Організація замкнених систем водопостачання вимагає також одночасного опрацювання всіх елементів водного господарства в їх взаємозв'язку, а не лише окремих частин (чистих і брудних зворотних циклів, локальних споруд з очищення стоків та ін.). На практиці в таких системах очищають і використовують зливи води, на хвостових установках переробляють відходи від локальних циклів тощо.

Створення безпродувочного режиму роботи зворотних систем, а також використання для підживлення очищених стічних вод у першу чергу пов'язане з вирішенням проблеми боротьби з корозією трубопроводів і апаратури і відкладенням солей, з кондиціонуванням води. Існують багато методів, успішно вживаних на практиці і детально розглянутих у літературі.

У практиці експлуатації водного господарства вітчизняних і зарубіжних промислових підприємств широке застосування знаходять фосфорвміщуючі комплекси, які при додаванні у зворотну воду інгібують процеси відкладання солей, корозії і біобростання.

У системах водяного охолодження при обробці води комплексом ІОМС (інгібітор відкладень мінеральних солей) при карбонатній жорсткості води до 7,0 мг-екв/л досягається практично повне запобігання утворенню відкладень мінеральних солей, при цьому експлуатаційні витрати менші, ніж при використанні традиційних методів кондиціонування води. При великій жорсткості води доцільно поєднувати обробку підживлюючої води ІОМС з підкисленням, вапнуванням або іншими методами зниження карбонатної жорсткості. В результаті впровадження нових технологій обробки води забезпечується можливість переведення діючих систем зворотного водопостачання на схеми безстічного водокористування без великих капітальних витрат.

2. Досвід створення безстічних і безвідходних систем

Досвід будівництва й експлуатації замкнених систем водопостачання на виробничих підприємствах пострадянського простору умовно розділяють на три етапи. Перший етап доводиться на період з 1973 по 1990 роки, характеризується інтенсивним підйомом будівництва й експлуатації багаточисельних крупних систем замкненого водопостачання. Першу у світі систему замкненого водопостачання металургійного підприємства побудували в 1973 році на Ісетському металургійному

заводі (м. Свердловськ). Всього за цей період у металургійній галузі було побудовано близько 40 досить потужних, комплексів замкненого водопостачання (24 – у чорній, 15 – у кольоровій металургії), що успішно працюють і сьогодні. За кордоном будівництво таких систем почалося лише в кінці 80-х років.

Під час другого етапу з 1990 по 2000 рр. роботи зі створення замкнених систем практично припинилися, причому не лише в металургії, але і в інших галузях виробництва.

Третій етап почався з 2000 року, коли почали з'являтися перші серйозні ознаки відновлення промисловості і вияву інтересу до створення замкнених систем водопостачання в нашій країні. Цей етап продовжується з перемінним успіхом до наших днів.

Українські досягнення

Погіршення екологічної ситуації в країні й дефіцит води в регіонах з найбільш високим "металургійним" навантаженням примушують підприємства здійснювати реконструкцію в напрямі створення сучасних замкнених безстічних систем водного господарства. В Україні величезний досвід у розробці безстічних замкнених систем водопостачання металургійних підприємств має український державний науково-технічний центр "Енергосталь". Останнім часом за проектами УКРГНТЦ "Енергосталь" на ВАТ "Алчевський металургійний комбінат" і "Єнакіївський металургійний завод" створені практично безстічні системи зворотного водопостачання.

Слід зазначити, що традиційно при організації системи водопостачання станів гарячого прокату в "брудний" зворотний цикл скидали води від деяких споживачів, що використовують свіжу або "умовно-чисту" воду. Створювався дебаланс, а частину води зі зворотного циклу скидали у водоймище.

Використання нових очисних споруд, розроблених УКРГНТЦ "Енергосталь", дозволило скоротити займані виробничі площі, а дебалансні води після доочистки на антрацито-кварцових фільтрах, – повернути в "умовно-чистий" зворотний цикл. Таким чином, створена замкнена система водопостачання, що виключає скид води у водоймище і дозволяє значно скоротити споживання свіжої води.

Прикладом високоефективної замкненої системи, розробленої за технічними рішеннями УКРГНТЦ "Енергосталь", є система зворотного водопостачання стану "3000" ВАТ "Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча", що не має світових аналогів. Система складається з "умовно-чистого" і двох "брудних" зворотних циклів. Перший зворотний цикл обслуговує ділянку чорнових клітей і включає яму для окалини, радіальні відстійники з камерою флокуляції і два ступеня фільтрів. Воду після другого ступеня фільтрів подають на установки гідрозбивання, які раніше працювали на свіжій технічній воді. Це значно скоротило переповнювання даного зворотного циклу. Для запобігання накопиченню дрібної фракції зважених речовин передбачено коагуляційну обробку води сірчаноокислим алюмінієм. Другий зворотний цикл, обслуговуючий чистові кліті й відвідний рольганг, включає відкриті гідроциклони діаметром 6 м і антрацито-кварцові фільтри. Частину проясненої води доочищують на вугільних фільтрах і повертають на поповнення "умовно-чистого" циклу. Робота системи водопостачання передбачена на безстічному режимі.

Значних успіхів у області очищення і скидання стічних вод вдалося досягти і на ВАТ "Запоріжсталь". На комбінаті розроблена і цілеспрямовано виконується

програма технічного переозброєння основних потужностей з максимальним впровадженням ресурсозберігаючих технологій, розрахована на період до 2015 року. У Програмі значне місце займає впровадження заходів щодо охорони водного господарства. Серед найбільших об'єктів, уведених у експлуатацію, – замкнені системи з очищення промислових вод аглофабрики, доменного, мартенівського виробництв, ливарного і прокатних цехів. На даний час побудовані й ефективно використовуються 11 замкнених зворотних циклів, завдяки яким вдалося зменшити скиди стічних вод на 30% і підвищити повторне використання технічної води на 86%. Крім того, завдяки встановленим системам, щорік уловлюється і повертається у виробництво більше 200 тис. т залізовміщуючих шлаків.

Цей досвід доводить, що проблема впровадження замкнених систем очищення води досить актуальна для металургійної галузі нашої країни. Багато крупних металургійних підприємств заявляють сьогодні про активну роботу з проектування, будівництва й налагодження таких систем.

3. Значення хвостових установок

Відмітною особливістю замкнених безстічних і безвідходних систем водного господарства є необхідність мати в їх складі так звані хвостові установки, наявність яких і дозволяє зробити систему замкненою. До них відносяться установки переробки й утилізації концентрованих відпрацьованих технологічних розчинів, збезводнення і сушки осадів, спалювання, стабілізації, демінералізації. Установки переробки концентрованих розчинів зазвичай входять до складу основного технологічного цеху, а стабілізаційні – до складу чистих і «брудних» зворотних циклів. Широко використовують установки обробки осадів, що утворюються при очищенні стічних вод. До їх складу входять вузли згущування, кондиціонування, механічного збезводнення і сушки осадів.

При створенні замкнених систем водопостачання найбільші труднощі викликають процеси *демінералізації* стічних вод. Стічні води, що поступають в докілья, умовно розділяють на "керовані" (пов'язані з окремими технологічними процесами) і "некеровані", що є безповоротними втратами води зі зворотних систем (краплинне віднесення води вітром, інфільтрація та ін.). У чорній металургії, наприклад, дві третини солей, що скидаються, доводиться на керовані скиди. Зазвичай вони складаються з продувочних вод різних зворотних циклів (у тому числі травильних і гальванічних відділень), стічних вод енергетичних установок (стоки водопідготовчих установок, води від продувки котлів, пароперетворювачів та ін.), шахтних вод. Ці стоки є багатокомпонентною системою непостійного складу.

Відомо декілька методів демінералізації стічних вод: термічний, іонообмінний, зворотний осмос, електродіаліз. На даний час для вирішення цієї проблеми застосовують випаровування і термічне знесолення.

Термічний метод дозволяє в принципі отримати зі стоку повністю утилізовані продукти – конденсат і сухі солі. При розробці випарних установок доводиться вирішувати питання, пов'язані з утворенням відкладень на теплообмінних поверхнях, спінюванням випаровуваних стоків і підбором антикорозійних матеріалів. Донецькою філією НВО "Енергосталь" із залученням інших організацій розроблені технологічні схеми переробки розсолів з отриманням товарних солей. Так, стічні

води від натрій-катіонітових хімводоочисток, переробляють з одержанням хлористого натрію, який повторно використовують для регенерації фільтрів, і хлористого кальцію. Продувочні води котлів і випарників, переробляють з одержанням сульфату і хлориду натрію. Стоки водопідготовки енергетичних установок намічено переробляти з розділенням на дистилат і солі, при повному використанні тепла вторинної пари.

Знесолення виробничих стоків може здійснюватися із застосуванням іонообмінних установок, які давно використовують у вітчизняній практиці. У технологічному і економічному відношенні іонообмінне знесолення – процес, що має найбільші переваги. Проте він має і принципові недоліки: наявність сильно мінералізованих стоків, що утворюються при регенерації іонообмінних смол, і значна кількість слабкоконцентрованих промивних вод.

Проблемам очищення, кондиціонування і повторного використання стічних вод промислових підприємств завжди приділяли більшу увагу, ніж питанням переробки осадів з раціональним їх використанням. Як правило, здійснюють складування осадів у різних накопичувачах, відвалах і полігонах, де вони зрештою становляться щонайпотужнішими джерелами вторинного забруднення довкілля.

На сучасному етапі реалізують три стадії переробки осадів: 1) осади, виділені при відстоюванні стічних вод піддають кондиціонуванню різними методами (найбільш поширеними є спосіб з застосуванням флокулянтів); 2) здійснюють збезводнення на спеціалізованих апаратах (вакуум-фільтрах, фільтр-пресах, центрифугах); 3) збезводнений осад перед утилізацією проходить додаткову обробку (сушку, грудкування та ін.).

Питання для самоперевірки:

1. На яких основних принципах базується створення замкнених систем?
2. Каскадний принцип подачі води споживачам в єдиному комплексі водного господарства.
3. Основні джерела утворення мінералізованих стічних вод.
4. Значення установок демінералізації стічних вод і хвостових установок при створенні замкнених зворотних систем.
5. Методи обробки осадів, що утворюються при очищенні й повторному використанні стічних вод.
6. Методи знесолення продувочних стічних вод.

ТЕМА 9. БЕЗСТІЧНІ СХЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ НА ТЕС

1. Сучасні технології підготовки води на ТЕС.
2. Стоки водопідготовчих установок та їх вплив на навколишнє середовище.
3. Принципи створення маловідходних (безстічних) технологій водопідготовки.
4. Установки безстічного зм'якшення води.
5. Створення безстічних схем зворотного охолодження на ТЕС.

1. Сучасні технології підготовки води на ТЕС

Для задоволення різних вимог до якості води, що споживають при виробництві електроенергії виникає необхідність її спеціальної фізико-хімічної обробки.

Підготовку води на водопідготовчих установках (ВПУ) зазвичай здійснюють в два етапи. На першому етапі воду освітлюють у освітлювачах і механічних фільтрах, одночасно знижуючи шляхом коагуляції вміст у ній органічних і кремнекислих сполук. Часто цей процес поєднують з вапнуванням води, що забезпечує зниження жорсткості й лужності. Технологія обробки води на другому етапі залежить від подальшого її використання.

На кожному етапі хімічної підготовки води утворюються стічні води й осад, значна частина яких скидається в каналізаційну мережу та водні об'єкти і тим самим наносить їм істотну екологічну шкоду.

На даний час для підготовки підживлюючої води на ТЕС використовують метод натрій-катионування, який має істотний недолік – утворення великої кількості високомінералізованих стічних вод. Об'єм і ступінь забруднення стічних вод залежать від ряду чинників, основні з яких: жорсткість вихідної води, обмінна ємність вживаного катіоніта, конструкція натрій-катионітового фільтра.

Для поповнення втрат пари й води в паротурбінних циклах високого й надвисокого тиску використовують знесолену воду. Підготовку добавочної (підживлюючої) води для таких котлів здійснюють методами іонітного (хімічного) або термічного знесолення.

Стічні води більшості діючих натрій-катионітових установок скидають у природні водоймища без очищення, що завдає невідчутної шкоди не лише флорі й фауні водоймищ, але й підприємствам, що забирають воду з них. Тому останніми роками через погіршення якості вод поверхневих водних джерел, а також у зв'язку з посилюванням природоохоронних вимог, усе більше зростає інтерес до вживання термічних методів підготовки води на ТЕС, заснованих на використанні випарників.

На відміну від хімічних, термічні методи або зовсім не потребують, або вимагають мінімальної витрати хімічних реагентів, унаслідок чого при їх використанні забезпечується практично повний екологічний захист водоймищ. Термічні безреагентні методи дозволяють істотно скоротити утворення мінералізованих стоків.

На даний час у світовій практиці, в області обробки води методами іонного обміну, ярко виражені дві тенденції: інтенсифікація роботи обладнання та іонітів і, як наслідок цього, поєднання функцій апаратів зі скороченням їх кількості. З цією метою застосовують протиточні технології з так званим прямим протитоком: оброблювана вода подається на фільтр зверху вниз, а реагенти для регенерації – знизу догори та зворотним протитоком, при якому вода подається на фільтр знизу догори, а реагенти на регенерацію – зверху вниз.

2. Стоки водопідготовчих установок та їх вплив на навколишнє середовище

При підготовці води на водопідготовчих установках (ВПУ) утворюються стічні води двох основних видів:

1. води, що утворюються на стадії передочищення води при її коагуляції і вапнуванні і містять завислі речовини;
2. води підвищеної мінералізації, що утворюються в процесі зм'якшення і знесолення води.

Основний об'єм хімічно забруднених стічних вод, що утворюються в процесі хімічної підготовки води для живлення парових котлів, становлять стічні води від іонобмінного зм'якшення води на натрій-катионітових фільтрах. Для регенерації таких фільтрів використовують розчин хлориду натрію (NaCl), при цьому корисно використовуються всього біля 30 % масового вмісту іонів натрію. Іони, що залишилися, потрапляють у природні водойми з відпрацьованими регенераційними розчинами й промивними водами. Це є однією з причин постійного підвищення солевмісту поверхневих водоймищ.

У загальному об'ємі стічних вод ТЕС, що включає охолоджуючу воду конденсаторів парових турбін, стоки ВПУ складають 0,2–0,3%. Проте в балансі сольових скидів ТЕС доля солей, що поступають з ВПУ велика. Так, на установках продуктивністю 2000 м³/год зі стічними водами скидається 1,5–2 т/год різних солей. Сольові скиди ВПУ містять нейтральні солі, кислоти й луги, що не володіють специфічними токсичними властивостями. Проте ці скиди призводять до істотного підвищення солевмісту водоймищ. Стічні води попередньої очистки містять недопал, шлам, грубодисперсні органічні речовини, сполуки заліза і алюмінію, гідроксид магнію, карбонат кальцію. Якісний і кількісний склад домішок таких вод залежить від якості вихідної води і вживаних методів її обробки.

Узагальнені дані щодо солевмісту стічних вод іонообмінних фільтрів приведені в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 – Приблизний солевміст стічних вод іонообмінних фільтрів ВПУ

Показник	Стічні води		
	На-катионітові фільтри	Н- катионітові фільтри	ОН-аніонітові фільтри
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. 9.1 видно, що хімічний склад регенераційних стічних вод характеризується високим солевмістом і великою загальною жорсткістю.

Систематичне скидання засолонених стічних вод у водоймища і водотоки обмежує можливості використання природних джерел і збільшує витрати на очищення води, що забирають з цих джерел. Відбувається, свого роду, ланцюгова реакція поступового зростання сольових накопичень. Важливою є й економічна сторона даного питання, оскільки знешкодження і переробка стоків ВПУ пов'язані з великими додатковими витратами.

У зв'язку з цим постійно ведуть розробки в області зменшення кількості сольових 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.

3. Принципи створення маловідходних (безстічних) технологій водопідготовки

Сьогодні значне місце у вирішенні проблеми створення безстічних і маловідходних систем водопідготовки займає питання переробки й повторного використання високомінералізованих стічних вод. Скорочення і утилізація стічних вод іонообмінної частини ВПУ є найбільш складною проблемою для створення ТЕС без скиду стічних вод. Основними джерелами утворення таких вод є ВПУ промислових підприємств і енергооб'єктів, на яких для зм'якшення води, в основному, застосовують натрій – катіонітові фільтри.

Створенню безстічних водопідготовчих установок перешкоджають дві обставини – присутність в стічних водах солей жорсткості й великий об'єм стічних вод.

Створення безстічних технологій водопідготовки ведуть за двома напрямками:

- удосконалення схеми водопідготовки з метою максимального скорочення або взагалі – повного усунення рідких відходів (стоків);
- переробка залишкових стоків з отриманням твердих товарних продуктів або твердих відходів для подальшої переробки, складування або поховання.

Скорочення кількості сольових скидів може бути досягнуте як удосконаленням технологічних діючих схем підготовки води й повторним використанням стоків у циклі водопідготовки, так і використанням інших способів очищення води, що мають меншу кількість стічних вод. Для захисту водоймищ від скидів різних домішок з промислових підприємств, у тому числі і з ВПУ ТЕС, останніми роками зросла увага до *безреагентних* методів знесолення води. До найбільш розроблених на теперішній час методів належать метод електрокоагуляції, мембранні методи (ультрафільтрація, зворотний осмос і електродіаліз) і методи дистиляції.

Над створенням безстічних ВПУ працює велике число науково-дослідницьких, проектних і інших організацій (АзІСІ, АзІНафтахім, ВТІ, ВНІПенергопром та ін.). Ними запропонована велика кількість всіляких технологічних схем водообробки, що використовують різні прийоми скорочення об'єму стоків і їх переробки.

Є досить багато відомостей про розробку і створення безстічних і навіть «безвідходних» ВПУ на ТЕС. Так наприклад, запропоновано багатократне використання регенераційних розчинів у циклі ВПУ і вживання досконаліших технологій іонного обміну.

Основні принципи створення безстічних ВПУ:

1. Видалення сполук кальцію і магнію (сполук жорсткості) з води у вигляді практично нерозчинних або малорозчинних сполук карбонату кальцію, гідроксиду магнію та сульфату кальцію (гіпсу) в результаті обробки води осаджувальними реагентами, переважно вапном, а деяких випадках з додаванням їдкого натру або кальцинованої соди.
2. Максимально можливе скорочення питомої витрати реагентів (кислоти, луги, солі) на регенерацію іонітів. Це досягається застосуванням проти точної регенерації іонітів, комбінацією слабо- і сильнокислотних катіонітів, що послідовно регенеруються, а також слабо- і сильноосновних аніонітів, повторним або багаторазовим використанням відпрацьованих регенераційних розчинів та ін.

Ефективним способом зниження витрат реагентів (кислоти, луги, солі) на регенерацію іонітів і відповідно зменшення скидів стічних вод і мінеральних солей може стати заміна традиційного для вітчизняної практики прямооточного хімічного знесолювання на протиточне. У протиточних іонітних фільтрах оброблювана вода і регенераційний розчин рухаються в протилежних напрямках, унаслідок чого при фільтруванні вихідна вода спочатку стикається з неповністю відрегенованим іонітом і виснажує його, а потім на виході з фільтра контактує з глибоко відрегенованим іонітом, що практично повністю поглинає з води залишки іонітів і забезпечує високу якість фільтрату.

Протиточні фільтри мають певні переваги. Протитечія часто поєднується з іншими технічними рішеннями, що також забезпечують зниження витрати реагентів і вдосконалення економічних характеристик устаткування. Серед подібних технічних рішень необхідно відзначити *іонітні фільтри безперервної дії*. Конструктивні схеми цих фільтрів багатобразні, проте для більшості з них характерні протиточна регенерація, низькі питомі витрати реагентів (1,1-1,3 г-екв/г-екв сірчаної кислоти і 1,7-1,8 г-екв/г-екв луги) і відмивочної води (3-4 м³/м³ іоніту), великі швидкості фільтрування (до 100 м/год), а також практична безперервність процесів регенерації і відмивки фільтруючого шару, що обумовлює постійність витрати і зменшення об'єму стічних вод і малий сольовий скид (в порівнянні з апаратами періодичної дії).

Скорочення об'єму сольових скидів на ТЕС можливо за допомогою комбінованих схем водопідготовки, в яких передбачають спочатку попереднє значне зниження солевмісту вихідної води (переважно за допомогою мембранних методів), а потім видалення залишкових солей, тобто повне знесолення води за допомогою іонітних фільтрів (у багатьох випадках фільтрах змішаної дії).

Мембранні методи знесолення засновані на перенесенні розчинених солей та води через спеціальні напівпроникні мембрани. Ці методи, також, як і хімічне знесолення за допомогою іонітів потребують попереднього очищення води в освітлювачах і на механічних фільтрах. Проте мембранне процеси можуть бути здійснені практично без використання хімічних реагентів і подальшого їх скиду, внаслідок чого кількість солей, що скидаються з продувкою цих апаратів дорівнює кількості солей, що надходять з вихідною водою.

4. Установки безстічного зм'якшення води.

Розробка ефективних і економічних заходів, спрямованих на істотне зниження споживання реагентів на регенерацію іонітів і захисту водних об'єктів від забруднення мінеральними солями установок хімічної підготовки води, є актуальним і важливим завданням, пов'язаним зі збереженням такого природного ресурсу, як кам'яна сіль. Одним з напрямів вирішення цієї проблеми є повторне використання відпрацьованих регенераційних розчинів (ВРР) Na-катіонітових фільтрів.

Як один із способів утилізації сольових стоків іонітних фільтрів запропоновано їх випаровування. Це дозволяє отримувати сольові відходи у вигляді сухих солей або дуже концентрованих розчинів, що спрощує їх поховання або утилізацію.

Одним зі способів створення безстічного зм'якшення є технологія, представлена на рис. 9.1,а згідно якої вихідну воду піддають вапнуванню і коагуляції або лише коагуляції в освітлювачі і збирають в баку освітленої води 2. Далі вода

послідовно проходить механічний фільтр 4, і катіонітний фільтр 5, після чого отримана зм'якшена вода (ЗВ) прямує споживачу. Відпрацьований регенераційний розчин (ВРР) і води від відмивки катіонітних фільтрів збираються в баку 6. Якщо стічні води катіонітних фільтрів містять вільні кислоти (ВРР Н-катіонітних фільтрів, включених за схемою паралельного або послідовного Н-На-катіонування), то останні нейтралізують вапном або іншим лужним реагентом. Далі ці стічні води насосом 7 подають до освітлювача 8, де зм'якшуються содовапняним методом і збираються в баку 9. Насосом 10 ці зм'якшені стічні води подають у випарні апарати 11, упарюють до концентрації 100-200 г/л, а потім розчин сольової суміші подають в допалювальні апарати 12, де вони випаровуються до сухого стану. Сухі солі заховують у водонепроникних могильниках 13. Можливе також застосування схеми, в якій відсутній вузол содовапнування, але при цьому ускладнюється робота випарних апаратів.

Вживання таких схем, безумовно, усуває стоки ВПУ ТЕС, що забруднюють водоймища, але вартість їх дуже висока.

Основні капітальні витрати доводяться на випарні апарати, що вимагають дорогих і дефіцитних сплавів, неіржавіючих сталей і титану. Установка очисних споруд на базі випарних апаратів призводить до збільшення розрахункових витрат більше ніж у 2 рази.

Більш перспективним рішенням є технології утилізації стічних вод, за яких ВРР катіонітних фільтрів оброблюють відповідними реагентами і повторно використовують для регенерації тих же катіонітних фільтрів. За однією з таких технологій передбачають содовапнування стічних вод, їх концентрацію і регенерацію катіонітних фільтрів отриманим розчином.

За цим способом (рис. 9.1,б) ВРР і відмивочні води збирають в баку 6 і насосом 7 подають до освітлювача 8, де піддають содовапняній обробці. Далі воду зі збірного баку 9 насосом 10 подають в концентратор 11. Концентрат збирають в баку 14 і потім насосом 15 подають на регенерацію катіонітних фільтрів. Як концентратор може бути використаний випарний апарат або електродіалізатор. У даний час найбільш доцільне вживання випарного апарату (випарника). Для запобігання випаданню CaCO_3 і $\text{Mg}(\text{OH})_2$ у товщі катіоніту концентрат випарних апаратів повинен підкислятися такою витратою кислоти, аби усувалися іони OH і CO_3 переводилися в HCO_3 .

Якщо як концентратор використовують випарники, то для запобігання утворенню карбонатних відкладень на поверхнях нагріву необхідно підкисляти содовапняний розчин перед подачею його у випарник.

Недоліком цього методу є необхідність використання випарних апаратів, це істотно підвищує капітальні і експлуатаційні витрати.

Розроблені останнім часом технології зм'якшування води дозволяють забезпечити можливість використання ВРР для регенерації катіонітних фільтрів без вживання дорогих випарних апаратів.

На рис. 9.1, в наведено схеми зм'якшування води без випарних апаратів. За схемою, представленою на рис. 9.1, в, розбавлена частина ВРР і відмивочні води збираються в бак 17, звідки насосом 18 протягом фільтроциклу подаються в освітлювач вихідної води 1. Концентровану частину ВРР збирають в баку 19, а потім насосом 7 подають в освітлювач 8, де піддають содовапняній обробці.

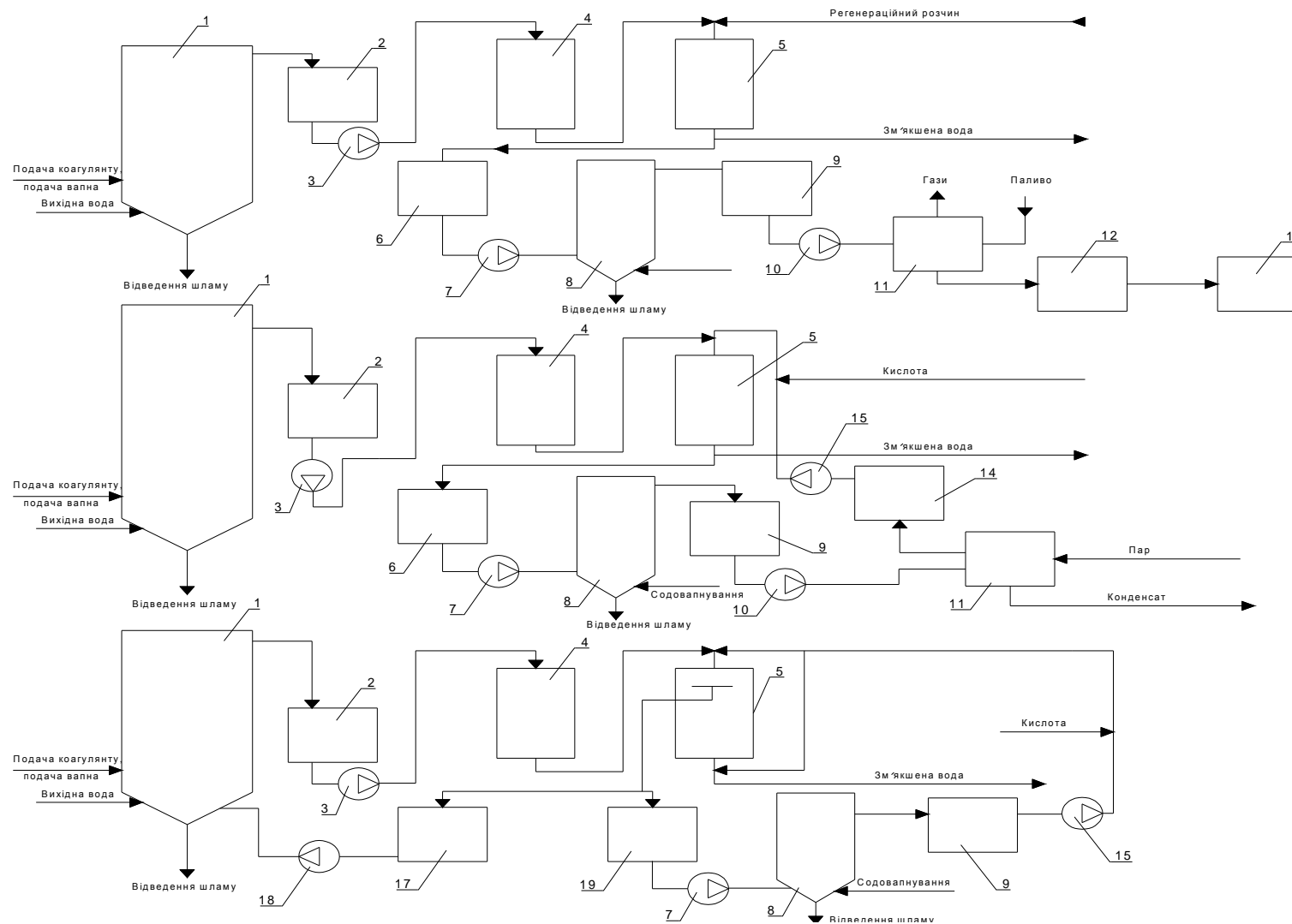


Рис. 9.1 – Установки безстічного зм'якшення води:

1– освітлювач вихідної води; 2,9 - бак освітленої води; 3,7,10,15,16,18 - насос; 4- механічний фільтр; 5- катіонітний фільтр; 8-освітлювач; 11- випарні апарати; 12 - допалювальні апарати; 13- могильники для поховання сухої солі; 14-бак концентрату; 17- бак, в якому збираються розбавлена частина ВРР і відмивочні води

Умовні позначення: *ВВ*- вихідна вода; *К*- подача коагулянту; *В*- подача вапна; *Ш*- відведення шламу; *В,С*- содовапнування; *РР* - регенераційний розчин; *ЗВ* - зм'якшена вода; *ВРР*- відпрацьований регенераційний розчин.

Отриманий розчин підкисляють і направляють для регенерації катіонітного фільтра. Витрату кислоти (сірчаної або соляної) приймають з таким розрахунком, аби лужність зм'якшеної води становила 0,3-0,5 мг-екв/л, а витрату соди приймають з розрахунку забезпечення необхідної концентрації регенераційного розчину (*РР*).

При використанні сірчаної кислоти *РР* являє собою розчин сульфату натрію і в зм'якшену воду потрапляють сульфат-іони, а при використанні соляної кислоти відповідно хлор-іони. Сірчана кислота дешевша; перевагою її є менша небезпека при роботі і попаданні у воду менш агресивних у корозійному відношенні сульфат-іонів. Недоліком є необхідність обмеження концентрації *РР* до 1,5- 3%, тоді як при використанні соляної кислоти концентрацію *РР* можна підвищувати до 4-5 % і більш. Катіонування може бути здійснене за проточною, протиточною або двухпоточно-протиточною схемами. Для підвищення якості фільтрату при помірній витраті й концентрації *РР* найбільш доцільне застосування двухпоточно-протиточної схеми. При цьому *РР* і відмивочні води подаються у фільтр зверху і знизу, і відводяться з верхньої дренажної системи, розташованої на 0,55-0,6 м від загальної висоти завантаження катіоніта. Як катіоніт може бути використаний КУ-2 або сульфовугілля. Для згладжування лужності фільтрату в схему необхідно включити буферний фільтр, що саморегенерується, завантажений сульфовугіллям.

За технологією зм'якшення води, наведеної на рис. 9.1, в, частину солей жорсткості й натрію у складі розбавленого *ВРР*, і відмивочної води повертають до освітлювача вихідної води. Кількість цих солей можна оцінити коефіцієнтом α , який показує долю солей, що повертають до освітлювача вихідної води, по відношенню до жорсткості води, що надходить у катіонітний фільтр, тобто $C_{\text{пов}} = \alpha J_{\text{в}}$. Значення коефіцієнта встановлюють експериментально, для технічних розрахунків приймають 0,1-0,15.

4. Створення безстічних систем оборотного охолодження на ТЕС

Сучасні вимоги до охорони довкілля з позицій забруднення стоками ВПУ в теплоенергетиці і всебічного підвищення технологічної і техніко-економічної ефективності експлуатації ТЕС не вичерпуються розробкою безстічних способів і схем зм'якшення і знесолення води, а диктують необхідність комплексного вирішення проблеми шляхом охоплення всіх вузлів, сприяючих виникненню скидних стоків.

Аналіз джерел утворення стічних вод, що скидаються на ТЕС показує, що у вирішенні даної проблеми важлива роль належить системам зворотного охолодження (СЗО), які є невід'ємною частиною ТЕС. Більш того, враховуючи величезні масштаби водоспоживання в СЗО і невелику кратність упарювання води в них, що призводять до утворення значної кількості скидних стічних вод з відносно низькою концентрацією солей, питання про ліквідацію цих стоків стає актуальним.

У даний час, разом з розробкою ефективних методів очищення стічних вод, ведуться роботи з переведення ТЕС на замкнений режим роботи системи водопостачання, в тому числі зворотні системи охолодження конденсаторів парових турбін, що працюють при підвищених коефіцієнтах упарювання води.

Припинення скиду води з продувкою, або значне скорочення скидів матиме важливе значення для захисту водоймищ від забруднення. Проте створення замкнених систем водяного охолодження, або систем з мінімальним скидом води, вимагає вирішення багатьох питань, включаючи вдосконалення водно-хімічного режиму систем, вживання інгібіторів накипеутворення і корозії, очищення води від зважених речовин і запобігання біологічним обростанням системи.

У СЗО з градирнями основна частина втрат води обумовлена випаровуванням і краплинним віднесенням. Для скорочення останнього градирні обладнують краплеуловлювачами. При випаровуванні частини води відбувається збільшення солевмісту зворотної води. Найбільшу небезпеку представляють ці відкладення в трубах конденсаторів. Для підтримки сольового складу, частину зворотної води видаляють з продувкою. Для скорочення витрати продувки зворотну воду в СЗО обробляють кислотою або спеціальними реагентами, або зм'якшують свіжу воду перед подачею її в СЗО.

Необхідність відведення води підвищеної мінералізації з СЗО, тобто продувки, викликана підвищенням солевмісту циркулюючої води унаслідок її випаровування і виникненням при цьому небезпеки відкладення малорозчинних солей, головним чином з'єднанні жорсткості.

Необхідні розміри продувки СЗО визначають за рівнянням:

$$P_3 = \frac{J_D^K \cdot P_1}{J_{гран}^K - J_D^K} - P_2 \quad (9.1)$$

де P_1 – втрати води на випаровування (залежно від температури повітря й температурного перепаду охолодження води, приймаються 1–2%); P_2 – втрати води з краплинним віднесенням (залежно від типу охолоджувача і швидкості вітру, приймаються від 0,2–0,5 до 1,5–3%); J_D^K – карбонатна жорсткість добавочної (підживлюючої) води, мг-екв/л; $J_{гран}^K$ – гранична карбонатна жорсткість циркуляційної води, мг-екв/л.

У безстічних СЗО продувка в системі відсутня, тобто $P_3 = 0$.

Оскільки P_1 і P_2 для даної умови роботи й типу охолоджувача мають певні значення, то для збереження рівності необхідно змінити значення карбонатної жорсткості добавочної води або граничної карбонатної жорсткості циркуляційної води різними способами (фосфатуванням, підкисленням, рекарбонізацією, зм'якшенням та ін.). Найбільш доцільним є зниження карбонатної жорсткості підживлюючої (добавочної) води.

Таким чином, знижуючи карбонатну жорсткість підживлюючої води, можна забезпечити безнакипний і безпродувочний режим роботи СЗО. Проте якщо при цьому знижується лише карбонатна жорсткість, а солевміст підживлюючої води залишається незмінним, як, наприклад, при підкисленні, то підвищується коефіцієнт концентрації і тим самим концентрація солей у циркуляційній воді. Тому при даному значенні втрати води з краплинним віднесенням P_2 збільшується кількість солей, що викидаються в атмосферу. Враховуючи, що втрати з краплинним віднесенням – це теж забруднення, необхідно визначити ті умови, при яких кількість солей у воді, що відноситься, була б не вища, ніж для звичайних СЗО з продувкою.

У безпродувочній СЗО при вищезгаданих значеннях P_1 і P_2 кратність упарювання K_u складає від 1,5 до 10. Причому великі значення відносяться до вентиляторних градирень з водоуловлювачами, менші – до бризкальних басейнів.

Для того, щоб кількість солей з краплинним віднесенням залишити на такому ж рівні, як і при продувці, концентрацію солей у СЗО без продувки необхідно залишити такою, що дорівнює концентрації циркуляційної води СЗО з продувкою.

Концентрація солей в циркуляційній воді СЗО при концентрації солей у підживлюючій воді визначається за рівнянням

$$C_{ц} = K_{у} C_{п} \quad (9.2)$$

Звідси витікає, що якщо при переході від системи зворотного охолодження з продувкою до системи без продувки, значення $K_{у}$ збільшується, то для підтримки концентрації солей в циркуляційній воді на тому ж рівні необхідно знизити концентрацію солей в підживлюючій воді.

Таким чином, для переходу до безстічних СЗО необхідно застосовувати такі методи обробки, при яких концентрація солей в підживлюючій воді знижується до певного рівня, що забезпечує концентрацію солей у циркуляційній воді, отже, й у віднесенні, як і при СЗО з продувкою, а в ідеальному випадку - не більш, ніж у вихідній воді. Це досягається такими способами обробки, як вапнування, содовапнування, Н-катіонування з «голодною» регенерацією та ін.

В АЗІСІ розроблений ряд технологічних схем обробки частини добавочної або циркуляційної (зворотної) води, які забезпечують безстічність СЗО.

За однією з таких схем вихідну добавочну воду розділяють на два потоки. Перший потік змішують зі стоками Н-катіонітного фільтру, піддають вапняній обробці в освітлювачі, потім пропускають через Н-катіонітний сульфугольний фільтр, що регенерується стехіометричною кількістю кислоти, і одночасно виконує роль механічного фільтру. Його відключають на регенерацію, коли лужність фільтра-ту досягає 20-30% лужності вихідної води. Основна частина фільтрату стає кислою. Оброблений перший потік добавочної води змішують з другим потоком і подають в СЗО.

Стоки Н-катіонітних фільтрів через сатуратор подаються в освітлювач вихідної добавочної води. Обробка лише частини добавочної води дозволяє зменшити габарити устаткування, а отже, і вартість обробки. Співвідношення витрат води між першим і другим потоками визначаються залежно від складу вихідної води, типу охолоджувача та інших чинників.

Для вихідної добавочної води, що не містить механічних домішок, рекомендується схема, за якою частину добавочної води змішують з обробленими в освітлювачі стоками і пропускають через двохпотоковий фільтр, а потім змішується з іншим потоком добавочної води. При цьому витрати, пов'язані з освітлювачами вихідної води, виключаються.

Обробка води, що додається в систему, не обов'язкова, оскільки необхідні умови роботи для СЗО можна створити й шляхом виведення частини солей з циркуляційної води. При цьому на обробку замість добавочної води йде циркулююча вода, яка потім змішується з добавочною водою.

У деяких випадках може виявитися необхідним видалення з добавочної води частини аніонів сильних кислот. Для таких випадків пропонується схема, згідно з якою, Н-катіоновану воду додатково пропускають через аніонітний фільтр, який регенерується розчином вапна. Така схема дозволяє створити будь-який сприятливий режим для СЗО.

З метою підтримки необхідного солевмісту в СЗО застосовують схему, за якої частину води беруть з СЗО, пропускають через Na-катіонітний фільтр, а потім упарюють в концентраторах. Як концентратори можуть бути використані випарники або електродіалізатори. Дистилят змішують з добавочною водою, а концентрат з випарника (електродіалізатора) пропускають через Na-катіонітний фільтр, потім піддають вапняній обробці. Оброблений стік Na-катіонітних фільтрів змішують частково з вихідною добавочною водою і частково з водою, що подають на Na-катіонітні фільтри. Солі Ca і Mg виводяться з системи при вапнуванні стоків Na-катіонітних фільтрів. Така схема найбільш ефективна для сульфатвміщуючих вод.

В принципі на ТЕС безстічні схеми можуть бути створені окремо для СЗО і ВПУ. Проте в багатьох випадках доцільно застосовувати комбіновану безстічну схему.

З метою скорочення кількості води, що скидають під час продувки підвищують коефіцієнт концентрування солей K_K або упарювання води зворотних 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 зворотної води дозволяє повністю виключити необхідність продувки зворотних систем. Як показують розрахунки, для забезпечення без продувочного режиму експлуатації зворотних систем K_K повинен дорівнювати 7 при краплинному винесенні з градирні 0,2% і $K_K=3,5$ при винесенні 0,5% від витрати циркулюючої в системі води.

Високий ступінь упарювання зворотної води окрім негативного впливу на експлуатацію зворотних систем призводить до значного сольового забруднення території ТЕС 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 солевмісті добав очної води 500 мг/л викидається за 1 рік 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, які дозволяють знизити винесення краплинної вологи з баштових градирень до 0,05%. Для усунення впливу зворотних систем водяного охолодження на навколишнє середовище застосовують також сухе охолодження (повітряно-конденсаційні установки) або комбіноване охолодження води. Вирішенням проблеми припинення скиду продувочних вод зі зворотних 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.

Питання для самоперевірки:

1. За якими напрямками ведуть створення безстічних установок підготовки води?
2. Безстічні методи зм'якшення катіонуванням з відновленням і повторним використанням стічних вод.
3. Які питання вирішують під час створення замкнених систем водяного охолодження й систем з мінімальним скидом води на ТЕС?
4. Схеми обробки води, що додається до систем зворотного охолодження.

ЗМ 1.3 НЕТРАДИЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ. КОМПЛЕКСНІ СХЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗАМКНЕНИХ СИСТЕМ ЗВОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

ТЕМА 10. МЕТОДИ ОЧИСТКИ ВОДИ Й СТИЧНИХ ВОД, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ДЛЯ ПІДЖИВЛЕННЯ ЗАМКНЕНИХ ЗВОРОТНИХ СИСТЕМ

1. Формування сольового складу й стабілізація іонного складу води в безпродувочних системах зворотного водопостачання.
2. Прояснення підживлюючої води й стабілізуючої витрати зворотної води.

1. Формування сольового складу й стабілізація іонного складу води в безпродувочних системах зворотного водопостачання.

При експлуатації зворотних систем водопостачання промислових підприємств дуже важливо знати динаміку зміни у воді концентрації окремих іонів і загального солевмісту. Підвищення концентрації солей може викликати процеси корозії теплообмінних систем і комунікацій. Зміна концентрацій іонів у циркуляційній воді залежить від умов експлуатації системи (величини продувки, і методу обробки підживлюючої води), а також від якості води у водоймищі-охолоджувачі.

У ряді випадків у результаті попадання у зворотну систему продуктів вироблення хімічних виробництв з'являється необхідність у коректуванні рН циркуляційної води. Найбільш простим способом регулювання рН є підкислення води або підлугування. Іншим способом зміни рН циркуляційної води є часткове Н-катіонування або ОН-аніонування з подальшим зміщенням фільтрату з основною витратою води.

Вибір способу зниження рН циркуляційної води залежить від допустимого вмісту в ній сульфат-іонів. При можливості продувки системи застосовують порівняно дешевий метод – підкислення води сірчаною кислотою, при обмеженні продувки – часткове Н-катіонування або комбінацію його з підкисленням, при повній відсутності продувки – лише часткове Н-катіонування.

Залежно від якості вихідної води й вимог, що пред'являють до якості споживаної води, частина загальної витрати зворотної води може піддаватися обробці (зм'якшенню, знесоленню та ін.) з подальшим поверненням її в систему.

При стабільності зворотної води (за відсутністю інкрустації поверхонь відкладаннями CaCO_3 , Mg(OH)_2 або зміні складу води за рахунок продуктів корозії труб і теплообмінної апаратури) зберігається рівність коефіцієнтів упарювання, визначених за поступовим збільшенням у зворотній воді концентрацій різних іонів $k_x = k_{жс} = k_y$ (k_x , $k_{жс}$ – коефіцієнти упарювання за хлоридами, жорсткістю). Вказаний випадок можливий при декарбонізації підживлюючої води, тобто при повному або частковому її зм'якшенні.

За відсутності випадіння солей жорсткості у зворотній системі водопостачання загальний солевміст визначають за коефіцієнтом упарювання:

$$C_{зв} = K_y C_n \quad (10.1)$$

де C_n - загальний солевміст підживлюючої води, мг/л.

Збільшення концентрації хлоридів у зворотній системі

$$X = X_{зв} - X_{П} \quad (10.2)$$

де $X_{зв}$ і $X_{П}$ - вміст хлоридів у зворотній і підживлюючій воді, мг/л.

Стабілізація зворотної води, що в звичайних зворотних системах водо постачання досягається продувкою, в *замкнених системах* (системах без продувки) здійснюється шляхом виведення частини зворотної води для коректування її мінерального складу й подальшого повернення в цикл окремо або спільно зі свіжою підживлюючою водою. Необхідний ступінь знесолення цієї частини води залежить від коефіцієнта упарювання зворотної води в системі й відносної кількості води, що виводиться з системи для обробки замість продувки.

Ця кількість води, що називається *стабілізаційною витратою*, в замкнених системах зворотного водопостачання, обчислюється з урахуванням того, що об'єм підживлюючої свіжої води в замкнених системах водопостачання повинен компенсувати лише втрати від винесення води при її розбризкуванні й випаровуванні в охолоджувальних пристроях, а також втрати, обумовлені витратами води на власні потреби (тобто на експлуатацію споруд для коректування сольового складу й прояснення стабілізаційної витрати зворотної води).

Підживлююча вода при замкненому зворотному водопостачанні являє собою суміш свіжої (звичай проясненої і зм'якшеної) води і стабілізаційної витрати. Іонний склад її визначається складом і об'ємним співвідношенням обох компонентів суміші:

$$C_{д.} = \frac{C_{зм} (P_1 + P_2) + C_{стаб.в.} P_1}{P_1 + P_2 + P_3}, \quad (10.3)$$

де $C_{стаб.в.}$ – іонний склад води *стабілізаційної витрати* (після іонообмінного коректування мінерального складу й прояснення);

$C_{зм}$ – те ж саме, для зм'якшеної свіжої підживлюючої води.

Для попередніх розрахунків величину P_3 приймають такою, що дорівнює 0,2-0,5% від витрати циркулюючої в системі води і потім уточнюють за формулою:

$$P_3 = \frac{C_{д.} K \cdot \Delta t - \Delta C \cdot P_2}{\Delta C}. \quad (10.4)$$

де $C_{д.}$ — солевміст у підживлюючій воді, мг/л;

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

Якщо зворотна вода стабільна, то загальний солевміст у ній знаходять, враховуючи коефіцієнт упарювання або концентрування за рівнянням сольового балансу системи.

Критерієм задовільної якості зворотної води є відповідність загального солевмісту й окремих іонів гранично допустимим концентраціям, перевищення яких призводить до інтенсивної корозії або до інкрустації теплообмінних поверхонь трубопроводів і арматури. Гранично допустима концентрація CaCO_3 визначається його розчинністю при температурі зворотної води. Вміст іонів Ca^{2+} , компенсованих іонами HCO_3 , а також вміст цих іонів безпосередньо не нормується. Гранично допустимі концентрації їх у зворотній воді залежать від теплового режиму системи і вживаних матеріалів. Тому визначають їх у кожному конкретному випадку за попередніми корозійними випробуваннями в розчинах, що моделюють зворотну

воду; або на підставі експлуатаційних даних аналогічних діючих промислових систем зворотного водопостачання.

Прогнозування сольового складу й концентрації солей зворотної води має важливе значення при оцінюванні корозійного впливу дії на метал теплообмінної апаратури й комунікацій, а також при оцінюванні можливості відкладення солей жорсткості на теплообмінних поверхнях. Методи оцінки і нормування якості охолоджуючої води, визначають максимально допустимий вміст солей не більше ніж 300 мг/л, хлор-іонів – не більше 400 мг/л. Дослідження показують, що при підвищенні вмісту хлоридів і сульфатів зворотну воду необхідно обробляти інгібіторами.

2. Прояснення підживлюючої води й стабілізуючої витрати зворотної води

Основним джерелом накопичення завислих речовин у зворотній воді є суспензії природних вод, що використовують для підживлення систем водопостачання. Суспензії накопичуються також унаслідок біологічних обростань теплообмінних і особливо охолоджуючих поверхонь, що контактують зі зворотною водою.

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

Підживлююча вода одночасно є джерелом накопичення у зворотній воді іонів кальцію і бікарбонатів, що обумовлюють жорсткість води й можливість порушення стабільності зворотної води при високих коефіцієнтах упарювання. Тому для підживлення замкнених (безпродувочних) систем водопостачання слід здійснювати порівняно глибоке зм'якшення підживлюючої води та усунення тимчасової жорсткості.

Застосування фільтрування після реагентного зм'якшення істотно збільшує капіталовкладення на водопідготовку, але дозволяє знизити залишкову тимчасову жорсткість до 0,7- 0,9 мг-екв/л.

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

Основним відмінним елементом конструкції фільтрів КФ-5 є система дірчастих труб, розташованих над поверхнею завантаження. В період промивання фільтру розподільна система опиняється в товщі зваженого шару завантаження. Щоб уникнути закупорювання її зернами матеріалу частину промивної води (5-10%) подають у розподільну систему. Цим забезпечується також хороше відмивання верхніх найбільш забруднених зерен фільтруючого матеріалу. Швидкість

фільтрування на фільтрах КФ-5 становить 12-20 м/год, інтенсивність промивки- 15 л/с-м², тривалість - 6-8 хвил., граничні втрати напору - 2,5-3 м.

Фільтри КФ-5 дозволяють зекономити 30-60% коагулянту і добитися високого технологічного ефекту в ті періоди, коли звичайна двоступенева схема водо підготовки (відстійники – фільтри) через низьку температуру і низький лужний резерв працює погано.

Одночасно з проясненням відбувається хімічне зм'якшення води за рахунок обробки аміаком або вапном. Ці реагенти вводять на початку процесу у вихрові реактори. Для укрупнення завислих речовин і кристалізації карбонату кальцію і магнію після вихрових реакторів воду коагулюють хлорним або сірчанокислим залізом. Величина продувки для зм'якшеної води коливається в межах 0,5-1% від кількості води, циркулюючої в системі.

Процеси зм'якшення і прояснення води при реагентних методах обробки, а також при використанні осаду як контактного середовища в значній мірі залежать від температури води. Якщо при температурі 25-35°C залишкова лужність води складає 0,5-0,75 мг-екв/л, а висхідна швидкість води в прояснювачі має бути не більше 1,6 мм/с, то при температурі 20°C ці величини відповідно складатимуть 0,3- 0,5 мг-екв/л і 2 мм/с, а час обробки води скоротиться на 35%. При зниженні температури до 5° С залишкова лужність води підвищується до 1,5 мг-екв/л, а швидкість знижується до 0,9 мм/с. Унаслідок цього час на обробку води зростає в 1,5 рази.

Оскільки швидкість і глибина зм'якшення залежать від температури, аби не знижувати глибину зм'якшення, не ускладнювати технологічний процес і не збільшувати розміри споруд зі зм'якшення води, при можливих сезонних коливаннях температури в джерелах водопостачання від 25 до 5°C воду доцільно підігрівати до 20-25 °С. Тому в холодну пору року передбачають підігрів і підтримку постійної температури зм'якшуваної води за рахунок скидного тепла, придбаного водою в теплообмінній апаратурі.

Питання для самоперевірки:

1. Стабілізація зворотної води за допомогою продувки.
2. Як здійснюють стабілізацію зворотної води в безпродувочних системах?
3. Як визначають іонний склад підживлюючої води при замкненому зворотному водопостачанні?
4. Які методи застосовують для забезпечення стабільності зворотної води?
5. Для чого необхідно здійснювати зм'якшення підживлюючої води?
6. Які споруди використовують для прояснення й хімічної обробки підживлюючої води?

ТЕМА 11. ІОНООБМІННЕ КОРЕКТУВАННЯ МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ ОЧИЩЕНИХ СТІЧНИХ ВОД І СТАБІЛІЗУЮЧОЇ ВИТРАТИ ПЕРЕД ПІДЖИВЛЕННЯМ ЗАМКНЕНИХ ЗВОРОТНИХ СИСТЕМ

1. Іонообмінне знесолення та зм'якшення стічних вод, очищених від органічних домішок.
2. Іонний обмін у апаратах безперервної дії.

1. Іонообмінне знесолення та зм'якшення стічних вод, очищених від органічних домішок

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

Загалом же слід скоректувати їх іонний склад так, щоб не лише запобігти утворенню карбонатних відкладень, але також виключити відкладення гіпсу й накопичення розчинних солей у зворотній воді, не вдаючись до так званого стабілізаційного скиду частини зворотної води з системи для заміни її менш мінералізованою.

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

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

Визначення необхідного рівня знесолення води здійснюють на підставі матеріального балансу втрат солей унаслідок випаровування і краплинного віднесення, втрат зворотної води при цих процесах і надходження солей з водою, що додають в систему для компенсації втрат зворотної води.

Для вирішення завдання зм'якшення очищених стічних вод застосовують На-катіонування. Якщо разом зі зм'якшенням необхідне і зменшення загального солевмісту води, то замість На-катіонування або спільно з ним застосовують Н-катіонування води.

Часткова або глибока демінералізація води досягається послідовним іонним обміном на катіоніті в H^+ -формі й аніоніті в OH^- формі.

Знесолення і зм'якшення очищених стічних вод дозволяє багато разів використовувати їх як технічну воду в більшості технологічних і теплообмінних процесів. Разом зі скороченням споживання свіжої прісної води підприємством при цьому створюється реальна можливість організації замкненого циклу промислового водопостачання, що виключає скид стічних вод у водоймища. Застосування іонного обміну для зм'якшення та знесолення води вимагає, проте зміни технології регенерації іонообмінних смол, оскільки на звичайних іонообмінних установках

кількість солей, а також кислот і лугів, що скидаються з промивними водами в декілька разів перевищує кількість солей, що вилучають при її знесоленні. Таким чином, іонообмінна технологія демінералізації води може стати безвідходною тільки за умови економічно доцільної утилізації всіх відпрацьованих розчинів і забруднених промивних вод.

Зазвичай регенерацію здійснюють 5%-вими розчинами кислот і лугів. Проте необхідність повної утилізації відпрацьованих розчинів при коректуванні сольового складу води зворотних замкнених (безстічних) систем водопостачання примушує переходити до використання малих об'ємів концентрованих розчинів, застосовуючи для регенерації катіонітів азотну кислоту, а для регенерації аніонітів – аміак.

Отже безвідходність процесу підготовки води для підживлення замкнених систем з біологічно очищених стічних вод забезпечується багаторазовою регенерацією активованого вугілля та використанням для регенерування іонообмінних смол концентрованих розчинів азотної кислоти та аміаку замість звичайних розбавлених розчинів сульфатної (сірчаної) кислоти та гідроксиду натрію. Така заміна реагентів разом з порційною технологією регенерування іонообмінних фільтрів дає змогу утилізувати відпрацьовані регенераційні розчини у вигляді добрив.

2. Іонний обмін у апаратах безперервної дії

Класичні прямоточні установки іонного обміну, що широко застосовуються для зм'якшення та знесолення води з нерухомим шаром смоли мають певні принципові недоліки. Працюють вони періодично, оскільки в міру насичення смоли установку відключають на регенерацію. При прямоточній регенерації реагенти використовуються недостатньо повно, тому витрата їх вища. В результаті неповного використання реагентів іонообмінне завантаження регенерується тільки частково, що призводить до підвищеного проскоку іонів і тим самим до погіршення якості очищеної води.

Однією з останніх конструкцій широко поширених фільтрів періодичної дії є *фільтр змішаної дії ФСД*. Він являє собою частково видозмінений вертикальний фільтр періодичної дії, який завантажують аніонітом і катіонітом у співвідношенні 1:2, після чого зерна смоли перемішують повітрям. При пропусканні через нього води відбувається її глибоке знесолення та знекремнення. Проте для таких фільтрів важко підібрати відповідний гранулометричний склад і підготувати рівномірно перемішану шихту. Неоднорідність шихти призводить до зниження динамічної змінної ємності й впливає на якість фільтрату.

Великі масштаби станцій для іонообмінного коректування мінерального складу підживлюючої води навіть в умовах безстічних замкнених систем зворотного водопостачання заставляють добиватися інтенсифікації іонообмінного процесу шляхом заміни періодичної апаратури іонообмінними установками безперервної дії.

Вживання *апаратів безперервного іонного обміну* дає можливість кардинально вирішити ряд головних завдань водопідготовки, а саме:

- проводити іонообмінні процеси в умовах, близьких до оптимальних, інтенсифікувати процеси очищення води за рахунок вживання високих швидкостей фільтрування (до 75 м/год);
- істотно знизити витрати реагентів і відмивочної води;

- знизити вартість і поліпшити якість фільтрату;
- знизити капітальні витрати на 20-40% за рахунок зменшення габаритів фільтрів, будівель і зменшення кількості арматури й іонообмінних матеріалів.

Використання апаратів безперервної дії дозволяє повністю автоматизувати технологічний процес іонообмінного коректування сольового складу води, отже, поліпшити умови праці, підвищити продуктивність установки, скоротити чисельність обслуговуючого персоналу. Основною перевагою процесу безперервного іонообмінного очищення води є безперервне відновлення працездатності іонообмінного матеріалу, що дозволяє отримувати в декілька разів більшу кількість очищеної води.

Загальним принципом роботи апаратів безперервної дії є те, що іонообмінний матеріал послідовно проходить робочу, регенераційну і відмивочну частини установки. Різке зменшення об'єму іоніту внаслідок його багатократного використання при безперервній циркуляції створює умови для зниження вартості очищення води.

Установки безперервного іонного обміну (УБІО) можна класифікувати за наступними ознаками:

- за принципом дії - на безперервні і напівбезперервні;
- за напрямом руху іоніту й середовища - на протиточні і прямоточні;
- за станом завантаження в робочій зоні і регенераційній частині фільтру - з гідравлічно стислим і зваженим шаром;

Апарати для безперервного іонування води є різних типів - колонні, барабанні, стрічкові, дискові, шнекові та інші.

Перші апарати УБІО конструювали з використанням зваженого шару іонообмінного матеріалу. У цих апаратах іоніт рухається назустріч оброблюваній воді або регенераційному розчину під дією сили тяжіння часток.

Серед багатьох УБІО найбільш широкого поширення набули апарати колонного типу, які є ефективними і універсальними. Для транспортування іонообмінного матеріалу в УБІО використовують механічні, гідравлічні і пневматичні способи. Одним з найбільш вдалих апаратів, що працюють за даним принципом, є установка напівбезперервної дії, в якій процеси сорбції і регенерації відбуваються в зваженому шарі при дотриманні протитечії в окремих колонах.

Великого розповсюдження й промислового впровадження отримали також апарати, в яких іонообмінний матеріал переміщається періодично, а процеси іонного обміну відбуваються на фіксованих, гідравлічно стислих шарах при протиточному русі води, смоли і реагенту. Такі фільтри є напівбезперервними, але іонний обмін у них відбувається практично безперервно. Апарати цього типу мають велику ефективність і відрізняються гнучкістю в експлуатації. Недоліком їх є необхідність періодичних зупинок для переміщення іоніту.

Дуже поширений метод *напівбезперервного протиточного іонного обміну*, розроблений японською фірмою «Asahi», застосований в установці безперервної дії, що складається з трьох окремих колон, – сорбції, регенерації і відмивки – де іоніт транспортують гідравлічним способом, що веде до меншого руйнування його часток. Кожну колону установки розраховують відповідно до вимог для здійснення оптимального режиму процесів сорбції, регенерації або відмивання. При зміні

витрати або вмісту домішок у воді змінюється швидкість введення реагентів. Сорбційна й регенераційна колони мають спеціальний пристрій для забезпечення рівномірного розподілу потоків рідини в шарі іоніту.

Капітальні витрати на установку безперервного іонообмінного очищення води в порівнянні з установкою періодичної дії знижуються на 25-35%, експлуатаційні витрати – на 25-40%, витрати на іоніти – на 40%, економія площі складає 20-30%. Скорочуються витрати кислоти й лугу на регенерацію іоніту в установці безперервної дії. Кількість завантажуваних іонітів скорочується більше ніж у два рази.

На основі цих апаратів розроблені *фільтри безперервної дії зі змішаним шаром іонітів*. Такі УБІО складаються з декількох іонообмінних колон, що обслуговуються двома регенераторами (один – для катіоніта, другий – для аніоніта), а також розділово-промивальної колони для виведення суспензії і розділення іонітної суміші з необхідними мірними і змішувальними бункерами, регулювальниками витрати рівня, насосами-дозаторами кислоти і лугу. Процес автоматизований за допомогою реле часу й керованих клапанів. Відмітною особливістю даної установки є наявність розділово-промивальної колони і поєднання процесів регенерації і відмивання в одній колоні. Технологічний процес у колоні сорбції відбувається в гідравлічно стислому, а в останніх – в псевдозрідженому шарі.

Основні недоліки установок безперервної дії зі змішаним шаром іонітів полягають у трудності регулювання висоти шару іонітів у розподільній колоні, закупорюванні сіток збірно-розподільних пристроїв і періодичності подачі фільтрату. В апаратах виникають великі перепади тиску, поштовхи й гідравлічні удари. Не дивлячись на ці недоліки, установки дають можливість отримати воду високої якості при малих експлуатаційних і капітальних витратах. Переваги УБІО особливо помітні при зм'якшуванні високомінералізованої води, при використанні установок високої продуктивності, у випадках ускладнень зі скиданням стоків при значних коливаннях у складі вихідної води, а також при хімічних процесах, у яких важлива економія реагентів і відсутність розбавлення продукту. Висока економічність і ефективність безперервного процесу іонування роблять перспективним його широке використання при виборі схем обробки води.

Питання для самоперевірки:

1. Які методи застосовують для коректування мінерального складу води, призначеної для підживлення замкнених зворотних систем? Чи достатньо тільки реагентного зм'якшення води?
2. Які апарати застосовують для іонообмінного коректування мінерального складу підживлюючої води?
3. Установки безперервного іонного обміну.
4. Фільтри безперервної дії зі змішаним шаром іонітів, їх недоліки.

ТЕМА 12. ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНО ОЧИЩЕНИХ СТІЧНИХ ВОД ЯК ДЖЕРЕЛА ТЕХНІЧНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

1. Вимоги до якості очищених стічних вод, що застосовують для підживлення зворотних систем водопостачання.

2. Доочистка біологічно очищених стічних вод коагулянтами й активованим вугіллям.
3. Технологічні схеми підготовки стічних вод для використання в промисловості
4. Зм'якшення та зменшення мінералізації біологічно очищених стічних вод після адсорбційної очистки.

1. Вимоги до якості очищених стічних вод, що застосовують для підживлення зворотних систем водопостачання

Використання доочищених стічних вод як джерела технічного водопостачання, дозволяє значно скоротити потребу підприємства у свіжій прісній воді, і найбільш належно й економічно вирішити завдання захисту водних басейнів від забруднення.

На даний час вважається принципово можливим за певних умов використання доочищених міських стічних вод у технічному водопостачанні. При цьому вирішуються два істотних завдання:

- зменшується скидання міських стічних вод у поверхневі водоймища і тим самим покращується їх санітарний стан;
- скорочується або повністю виключається забір свіжої води для технічних потреб.

Відповідно до вищезазначеного, доля стічних вод для підживлення зворотних систем може змінюватися від 5-10 до 100%.

Можливість використання біологічно очищених міських стічних вод у технічному водопостачанні визначається не лише технічними й економічними, але й санітарно-гігієнічними вимогами. Санітарно-гігієнічні аспекти проблеми використання міських стічних вод, що доочищують, пов'язані перш за все з їх епідемічною небезпечністю, зважаючи на наявність у них господарсько-фекальних стоків.

У більшості випадків необхідне додаткове очищення фізико-хімічними методами і знезараження такої води, що може бути досягнуте фільтруванням через шар зернистого завантаження з подальшим хлоруванням фільтрату. Проте і при дотриманні цих умов необхідне певне обмеження для використання біологічно очищених міських стоків у промисловості замість свіжої води, наприклад, недопустиме використання очищених міських стічних вод у харчовій, м'ясо-молочній, фармацевтичній промисловості, де їх вживання може завдати шкоди здоров'ю людей. Доочищені міські стічні води не можна використовувати на підприємствах для поливу території, миття устаткування, у випадках, коли у складі міських стічних вод містяться промислові стоки, що викликають появу запаху і забарвлення.

Доочищені міські стічні води доцільно використовувати перш за все на водоемких підприємствах, де технологічні процеси, не пов'язані з безпосереднім контактом працюючого персоналу з технічною водою.

У АКГ ім. К. Д. Памфілова розроблено рекомендації з основних методів доочистки міських стічних вод при повторному використанні їх у технічному водопостачанні.

При використанні очищених стічних вод як основне джерело технічного водопостачання промислових підприємств необхідно, аби якість очищених стоків

відповідала вимогам, що ставляться до органічного й мінерального складу води, використовуваної в промисловості для різних технологічних цілей. Максимальна жорсткість води в одних випадках не повинна перевищувати декількох десятків мікрограмів, а в інших – допускається тимчасова жорсткість 2,5-3 мг-екв/л. Допустимий вміст сульфатів зазвичай залежить від загальної жорсткості води і має бути достатньо малим, для того, щоб у теплообмінних системах не утворювалися відкладення гіпсу.

При підвищеному вмісті у воді солей кальцію або магнію в технологічну схему доочистки стічних вод доводиться вводити зм'якшування.

Жорстке дотримання вимог до усунення з підживлюючої води солей, що містять біогенні елементи (азот і фосфор), або виключення одного з них є надійною гарантією запобігання розвитку біологічних обростань у теплообмінних системах. Основним критерієм придатності води для зворотного водопостачання (окрім систем, у яких використовують глибоко знесолену воду) є термостабільність, що забезпечує відсутність інкрустації трубопроводів і теплообмінних поверхонь карбонатом кальцію й основними солями магнію, що кристалізуються при порушенні вуглекислотної рівноваги. При високій мінералізації стічних вод і великій загальній жорсткості води, термостабільність води визначається також вмістом іонів SO_4^- - настільки малим, аби при зміні температури води вміст CaSO_4 залишався значно меншим від його розчинності.

Корозійна активність зворотної води визначається загальною мінералізацією, значенням рН, концентрацією сульфатів і хлоридів, і кількістю розчиненого кисню. Що стосується допустимого вмісту органічних речовин у очищених стічних водах, використовуваних для зворотного водопостачання, то за відсутності обмежень окремих виробництв значення ХПК води не повинне перевищувати 15 мг/л. При більшому вмісті цих речовин посилюється біологічне обростання у зворотних системах, інколи посилюється корозія сталі і бетону.

У результаті адсорбційної доочистки біологічно очищених стічних вод сформульовані вимоги до якості доочищених стічних вод. Вода після доочистки повинна містити суспензій менше за 3 мг/л, фосфатів – 4 мг/л PO_4^{3-} , поверхнево-активних речовин у перерахунку на алкілбензолсульфонат – 0,25- 0,5 мг/л; БПК₅ повинно складати 2 мг/л. Вміст органічних речовин враховують за БПК₅. Це пов'язано з тим, що обмеження концентрації органічних речовин обумовлене лише вимогами до біообростання, але не до корозії, або характером подальшої обробки води. Орієнтовний перерахунок цих даних на ХПК дає граничне значення – 8-10 мг O_2 /л. Ці вимоги до очищеної стічної води можуть бути справедливими і для підживлення зворотних систем, що працюють без продувки.

Додатковою і дуже істотною умовою при підготовці стічних вод для підживлення безстічних (замкнених) зворотних систем є постійність загального солевмісту і співвідношення концентрації різних аніонів, що дозволяє відмовитися від скидання вод з продувкою теплообмінних систем.

У звичайних зворотних системах промислового водопостачання потреба у воді задовольняється за рахунок додавання свіжої води з природних джерел, яка проходить необхідне очищення і коректування складу. В безстічних (замкнених) системах водопостачання підприємств замість свіжої води використовують

доочищену до норм якості технічної води суміш промислових і побутових стічних вод, що попередньо пройшли біологічне очищення, або промислові стоки, після достатньо глибокого локального фізико-хімічного очищення.

Обов'язковою умовою застосування доочищених міських стічних вод є їх хлорування.

Можливості повторного використання біологічно очищених стічних вод на підприємствах різних галузей промисловості неоднакові, і відповідно до цього істотно розрізняється необхідна міра складності додаткового очищення і підготовки води для технічних потреб.

При використанні очищених стічних вод як теплоносія, для доочистки рекомендують наступні методи: освітлення на швидких фільтрах при швидкості фільтрації 7- 8 м/год (завантаження – пісок з крупністю зерен 1-2 мм і товщиною шару 1-1,5 м); освітлення на двошарових фільтрах при швидкості фільтрації 9-10 м/год (завантаження – пісок з крупністю зерен 0,8-1,4 мм і товщиною шару 0,5 м, а також антрацит крупністю зерен 1-2 мм і товщиною шару 0,5 м); фільтрація на контактних освітлювачах типа КО-3 при швидкості 8-9 м/год, завантаження - пісок з крупністю зерен 1-2 мм і товщиною шару 1,5 м); фільтрація на мікрофільтрах при швидкості 25-30 м/год (розмір отворів - 40 мкм). Фільтри промивають водою протягом 5-7 хвил. Інтенсивність водяної промивки складає 15-16 л/с·м². Витрата промивної води складає 5-6% від витрати фільтрованої води. Контактні фільтри типа КО-3 продувають повітрям протягом 1-1,5 хвил. при інтенсивності 18-20 л/с·м², потім одночасно продувають повітрям при інтенсивності 12-20 л/с·м² і промивають водою при інтенсивності водяного потоку 2-3 л/с·м² протягом 6-7 хвил.; після цього промивають водою інтенсивністю 6-7 л/с·м² протягом 4-5 хвил. Витрата промивної води в цьому випадку скорочується на 2,5-3%. Як при водяній, так і при водоповітряній промивках 1-2 рази на рік фільтри промивають хлорованою водою з концентрацією хлору 200 мг/л. У всіх випадках необхідно виконувати знезараження очищених стоків хлоруванням дозами 5-10 мг/л. Вживання цього методу доочистки забезпечує зниження вмісту зважених речовин на 55-75% і БПК на 25-50%.

При використанні очищених стічних вод як поглинаючого середовища застосовують освітлення, а у разі необхідності – мікрофільтрацію. Знезараження очищених стоків здійснюють хлором дозою 10 мг/л.

Загалом використання біологічно очищених стічних вод для підживлення зворотних систем теплообмінного водопостачання або систем гідротранспорту матеріальних потоків не вимагає складної додаткової підготовки води, якщо не передбачене повне замикання циклу без скиду стічних вод з продувкою зворотних систем. Додаткова підготовка біологічно очищених стоків повинна забезпечити практично повне видалення органічних речовин, сполук, що містять біогенні елементи, а також солей жорсткості і забезпечити збереження солевмісту у зворотній воді на постійному рівні.

2. Доочистка біологічно очищених стічних вод коагулянтами й активованим вугіллям

Фільтрування біологічно очищених стічних вод було одним з перших технічних прийомів отримання води, придатної для технічного водопостачання

промислових підприємств. У нашій країні та за кордоном побудовані й експлуатуються досить багато фільтрувальних станцій, що обумовлене перш за все простотою і надійністю роботи фільтрувальних споруд, а також невисокою собівартістю такого очищення. Проте простим фільтруванням зі стічних вод не вдається видалити колоїдні і тим більше розчинені забруднення. Внаслідок стічні води, доочищені тільки фільтруванням у системах технічного водопостачання знаходять обмежене застосування. Зокрема, такі води не можна використовувати для підживлення повністю замкнених циклів зворотного водопостачання.

Як методи доочистки стічних вод застосовують мікрофільтрацію, фільтрацію через зернисті матеріали, відстоювання з коагуляцією, флотацію з використанням реагентів або без них, біологічне окислення в ставках з природною або штучною аерацією, сорбцію, окислення, методи видалення азоту й фосфору.

Повторне використання біологічно очищених виробничих стічних вод у технологічних процесах визначається вимогами, що ставляться до води.

У біологічно очищених стічних водах містяться високомолекулярні органічні речовини, які відсорбувалися на поверхні пластівців гідроокисів алюмінію і заліза, і тому їх можна видалити зі стічних вод коагулянтами. Вживання алюмінієвого й залізного коагулянтів дозволяє істотно знизити ХПК і кольоровість біологічно очищених міських стічних вод. Проте при цьому витрачається значна кількість коагулянтів. Зниження ХПК на 50% досягається лише при дозі коагулянту не меншій ніж 200 мг/л з розрахунку на товарний продукт. Слід врахувати, що до коагуляції стічні води характеризувалися наступними показниками: ХПК – 31 мг О₂/л, кольоровість – 43 град, лужність – 4,9 мг-екв/л. У багатьох міських стоках ХПК біологічно очищених стічних вод перевищує дане значення ХПК у 3-4 рази (120- 150 мг/л). Мабуть, питома витрата коагулянтів для зниження ХПК до 15 мг/л виявиться значно вищою. При підвищенні дози сульфату алюмінію до 200 мг/л і більш ХПК знижується на 50-55%, а кольоровість на 60-70%. Той же ефект досягається при вживанні в 2 рази менших доз хлорного заліза. Проте вживання цього коагулянту ускладнене тим, що його розчин володіє високою агресивністю через присутність соляної кислоти, що утворюється при його гідролізі.

Оскільки ХПК певною мірою характеризується загальним вмістом органічних речовин у воді, а забарвлення біологічно очищених стічних вод обумовлене переважно високомолекулярними сполуками, які віддаляються лише пластівцями гідроокисів алюмінію і заліза, то обробка води коагулянтом звільняє стічні води переважно від високомолекулярних органічних сполук, залишаючи в розчині низькомолекулярні речовини. В загальному випадку при вирішенні питання про доцільність вживання коагулянтів для доочистки стічних вод з метою їх повторного використання в замкнених системах промислового водопостачання необхідно мати на увазі, що відходами установок для очищення води коагулянтами є шлами, утворені пластівцями сильно забруднених гідроокисів алюмінію або заліза, що осіли. Вологість цих шламів перевищує 98%. Об'єм їх при великих дозах коагулянту складає 3- 5% від об'єму освітленої води. Фільтруються такі шлами дуже погано. Для цього краще за інших придатні фільтри ФПАКМ, але в таких випадках слід застосовувати допоміжні фільтруючі матеріали. Вологість осаду після фільтрації – не нижча за 80%. У безстічних і безвідходних системах водопостачання

підприємств вживання коагулянтів у кожному конкретному випадку пов'язане з можливістю утилізації шламів, їх ліквідації або регенерації з них коагулянтів.

Негативною стороною вживання коагулянту в системах доочистки стічних вод є невелика швидкість руху води у відстійниках (не більше 3-4 м/год), що вимагає великих габаритів очисних споруд на стадії освітлення біологічно очищених стоків. У окремих випадках, проте, доцільно вводити доочистку стічних вод коагулянтами перед завершальною стадією видалення органічних забруднень стічних вод адсорбцією. При цьому досягається значне скорочення питомих витрат активованого вугілля, але з'являються додаткові витрати на ліквідацію шламів. Тому в кожному конкретному випадку рішення має бути прийняте на підставі ретельного техніко-економічного аналізу.

При доочищенні міських стічних вод попереднє освітлення біологічно очищених стоків коагулянтом дозволяє скоротити витрату активованого вугілля в 3-4 рази. Тому раціональне вирішення проблеми ліквідації або утилізації шламів, що утворюються при освітленні стічних вод, дало б істотний економічний ефект.

Вживання коагулянтів перед адсорбційною доочисткою біологічно очищених міських стічних вод дозволяє істотно знизити вміст у воді фосфатів, що особливо важливе для запобігання інтенсивному біологічному обростанню зворотних систем, підживлюваних міськими стоками.

Таблиця 12.1– Вплив попередньої обробки біологічно очищених міських стічних вод сульфатом алюмінію на питому витрату активованого вугілля при доочищенні стоків від органічних речовин

Кольоровість, град	ХПК стоків, мг/л	Питома витрата активованого вугілля, кг/м ³		Зниження питомої витрати активованого вугілля, %
		без попередньої коагуляції стоків	після попередньої коагуляції	
10	10	5	0.9	82
15	13 14	3	0,75	75

Примітка. Доза коагулянту $Al_2(5O_4)_3 \cdot 18H_2O$ складала 200 мг/л.

Застосування активованого вугілля для глибокої очистки стічних вод від органічних речовин

При відносно невисокому вмісті органічних речовин у стічній воді і їх обмеженій розчинності вживання адсорбентів, перш за все активованого вугілля, у багатьох випадках дає найбільш високий ефект. У таких локальних адсорбційних установках, що розміщуються безпосередньо на тих ділянках виробництва, де утворюються стоки, поєднується повернення продуктів, що витягують зі стічних вод з регенерацією поглинаючої здатності адсорбенту. Регенерація адсорбенту створює можливість його багатократного використання, інколи протягом декількох років, що істотно підвищує економічність процесу очищення.

Локальні адсорбційні установки застосовують і в тих випадках, коли в стічних водах міститься суміш речовин, що включає біохімічно стійкі або високотоксичні компоненти. Такі стічні води без локального очищення не можна подавати на

загальнозаводські або міські біологічні очисні споруди, оскільки токсичні компоненти викликають порушення нормального перебігу процесів біологічного окислення або проходять через споруди біологічного очищення без руйнування.

Якщо адсорбент поглинає зі стічних вод усі органічні компоненти, то стічні води після локальної адсорбційної установки можна повертати в технологічний процес або використовувати для підживлення найближчої зворотної теплообмінної системи за умови, що солеміст і рН цих вод не перешкоджають цьому.

Для ефективного очищення водних розчинів адсорбенти повинні найслабше взаємодіяти з молекулами води при високій енергії взаємодії з витягуваними органічними речовинами. Ці властивості характерні для гідрофобних вуглецевих матеріалів, до яких відноситься активне вугілля.

Мінеральні адсорбенти — силікагелі, алюмогелі, глинисті мінерали являють собою гідрофільні матеріали, що володіють високою енергією є взаємодії з молекулами води.

Глибоке очищення стічних вод методом сорбції активними вуглець вміщуючими сорбентами, в комплексі з механічним, фізико-хімічним або хімічним очищенням дозволяє видалити зі стічних вод органічні біохімічно неокислювані розчинені домішки. При цьому з води, що очищають, можна видалити органічні забруднення до практично нульових залишкових концентрацій. І, нарешті, при регенерації відпрацьованого активованого вугілля не утворюються шкідливі відходи.

Адсорбційне очищення стоків активованим вугіллям є найбільш універсальним методом глибокої доочистки біологічно очищених міських і промислових стічних вод від органічних речовин а також забезпечує можливість подальшого знесолювання стічних вод і коректування їх мінерального складу відповідно до технологічних вимог конкретних виробництв.

3. Технологічні схеми підготовки стічних вод для використання в промисловості

Глибоке очищення досягається шляхом поєднання реагентної обробки стічних вод з адсорбційним ступенем очищення — фільтрування стічних вод через активоване вугілля. За необхідності витягування зі стічних вод з'єднань азоту технологічні схеми доповнюють ступенем очищення, заснованим на одному з фізико-хімічних методів (іонний обмін, віддувка, окислення) або біологічному процесі нітрифікації-денітрифікації.

У технологічних схемах більшості станцій глибокої доочистки біологічно очищених стічних вод, що діють і тих, що проектують, передбачають попередню обробку води вапном для видалення основної маси колоїдних органічних речовин і аміаку, рекарбонізацію і осідання карбонату кальцію, фільтрування через фільтри з зернистим завантаженням. Потім проводять адсорбційне очищення води активованим вугіллям для максимального видалення низько молекулярних розчинених органічних забруднень і знезараження води хлором. У деяких випадках до складу споруд, враховуючи характер забруднень біологічно очищених стічних вод, додатково включають установки флотації для видалення поверхнево-активних речовин.

Спрощена принципова технологічна схема такої установки наведена на рис. 12.1.

Для адсорбційного очищення стічних вод на різних установках використовують апарати з рухомим, нерухомим або псевдорідким шаром, а також цілі комплекси споруд для очищення води порошкоподібним активованим вугіллям. Застосування того чи іншого виду апаратурного оформлення адсорбційного процесу, як і методу регенерування відпрацьованого активованого вугілля, може вносити певні зміни в послідовність окремих технологічних операцій, але загалом технологічна схема глибокого доочищення стічних вод не зазнає істотних змін.

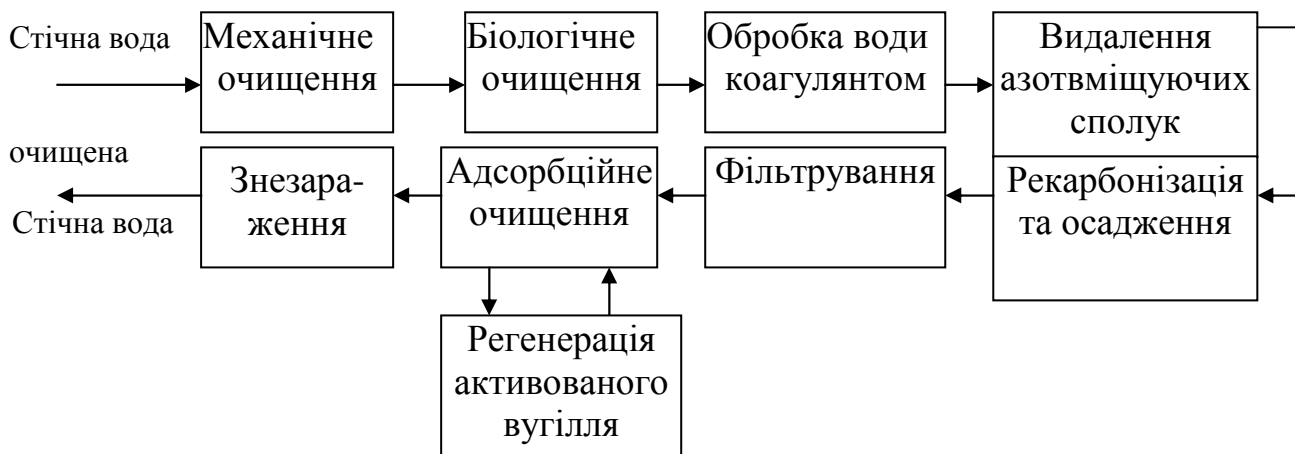


Рис. 12.1 – Технологічна схема установки глибокого очищення стічних вод з використанням адсорбційних методів вилучення органічних забруднень

Якість отриманої очищеної води дає змогу застосовувати її для різних виробничих цілей, підживлення систем зворотного водопостачання промислових підприємств, а також для сільськогосподарського зрошення.

На даний час найбільш розробленим є процес сорбції розчинених органічних речовин з очищених стічних вод гранульованим активованим вугіллям.

Основними вузлами технологічної схеми обробки стічних вод активованим вугіллям є адсорбери, що забезпечують його контакт зі стічними водами, і система гідравлічного переміщення вугілля, за допомогою якої відпрацьоване вугілля подається в піч на регенерацію. Регеноване вугілля повертається назад в адсорбер.

Застосовують адсорбери двох типів - з висхідним і низхідним напрямом фільтраційного потоку (з рухливим або щільним нерухомим завантаженням).

При висхідному напрямі руху фільтруючий шар знаходиться в рухливому стані. В цьому випадку робота адсорберів заснована на принципі протитечії, при цьому вода рухається від низу догори, а вугілля назустріч їй. Відпрацьоване вугілля безперервно видаляється в нижній частині адсорбера, а зверху додають свіже (регенероване) вугілля. Як фільтруючий матеріал, у практиці очищення води застосовують вугілля АГ-3, АГ-2, АГ-5 та ін.

Адсорбери з рухливим шаром завантаження більш ефективні для доочищення стічних вод з невеликим вмістом зважених речовин на станціях невеликої продуктивності. На очисних станціях великої продуктивності більш економічними виявляються адсорбери з нерухомим завантаженням.

Стічні води з ХПК >150 мг/л доочищують у колонних адсорберах відкритого або напірного типів діаметром не більше 5 м і висотою менше 12 м. При доочищенні стічних вод у адсорберах з нерухомим шаром завантаження швидкість потоку води

приймається 4-10 м/год, втрати напору при цьому складають 40-60% від висоти завантаження. При доочищенні стічних вод з концентрацією зважених речовин більше 10 мг/л значно зростають втрати напору і погіршується якість фільтрату. Щоб забезпечити глибоке доочищення при одночасно повному використанні адсорбційної ємкості вугілля в адсорберах з нерухомим завантаженням, стічні води пропускають послідовно через декілька груп паралельно працюючих адсорберів.

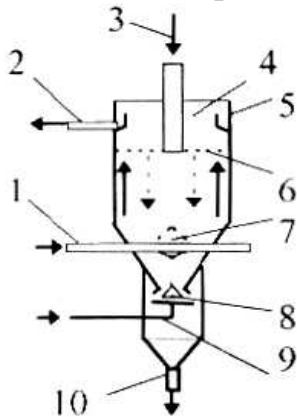


Рис. 12.2 - Адсорбер з рухливим шаром завантаження

1 – подача стічних вод на очищення; 2 – відведення очищеної води; 3 – подача чистого вугілля; 4 – збірний лоток очищеної води; 5 – корпус адсорбера; 6 – рівень завантаження вугіллям в адсорбері; 7 – розподільвач стічних вод; 8 – клапан вивантаження відпрацьованого вугілля; 9 – дозована подача води для вивантаження вугілля; 10 – відведення відпрацьованого вугілля

При сорбційній доочистці стічних вод необхідно попередньо освітлювати воду, аби понизити навантаження на сорбент. Глибоке освітлення вод покращує кінетику сорбції, значно подовжує термін служби активованого вугілля, полегшує його подальшу регенерацію. В переважній більшості випадків для освітлення біохімічно очищених стічних вод перед надходженням на адсорбери піддають очищенню на зернистих фільтрах.

Слід відмітити також, що залежно від марки, дисперсності використовуваного активованого вугілля, апаратурного оформлення адсорбційного очищення води й характеру забруднень, що вилучають зі стічних вод, технологія регенерації відпрацьованого адсорбенту може бути різною.

4. Зм'якшення та зменшення мінералізації біологічно очищених стічних вод після адсорбційної очистки

Використання очищених стічних вод для промислового водопостачання підприємства залежно від призначення технічної води пов'язане з більш менш глибоким зм'якшуванням води, зниженням її мінералізації до певного рівня або практично з повним знесолюванням води.

Найчастіше в промисловості реалізують схеми оборотного водопостачання, в яких вода не забруднюється, а підігріта в теплообмінних апаратах охолоджується на градирнях, у бризкальних басейнах чи інших пристроях і знову повертається в теплообмінники. При цьому вода багаторазово й послідовно зазнає фізико-хімічного впливу (випаровується, підігрівається, охолоджується, втрачається під час випаровування тощо) і поступово стає більш мінералізованою.

Унаслідок цього стабільність зворотної води порушується, вода стає корозійно активною або здатною до відкладання мінеральних солей. Тому для поповнення втрат зворотної води та відновлення її якості в систему додають підживлювальну воду. При цьому для запобігання підвищенню загального солевмісту у зворотній воді застосовують «продувку» системи, тобто скид частини води. Однак з економічного та екологічного поглядів доцільніше створювати системи замкненого водопостачан-

ня (тобто такі, що працюють без «продувки») на основі повторного використання глибоко очищених і частково знесолених стічних вод.

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

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

Для підживлення зворотних систем теплообмінного водопостачання інколи достатньо усунути карбонатну жорсткість води. Загалом же слід скоректувати їх іонний склад так, щоб не лише запобігти утворенню карбонатних відкладень, але також виключити відкладення гіпсу й накопичення розчинних солей у зворотній воді, не удаючись до так званого стабілізаційного скиду частини зворотної води з системи для заміни її менш мінералізованою.

Усунути скидання води з продувкою оборотних систем і перетворити тим самим систему зворотного водопостачання на замкнену, а також отримати технічну воду, придатну для будь-яких промислових потреб, дають змогу адсорбційно-іонообмінні установки доочищення стічних вод.

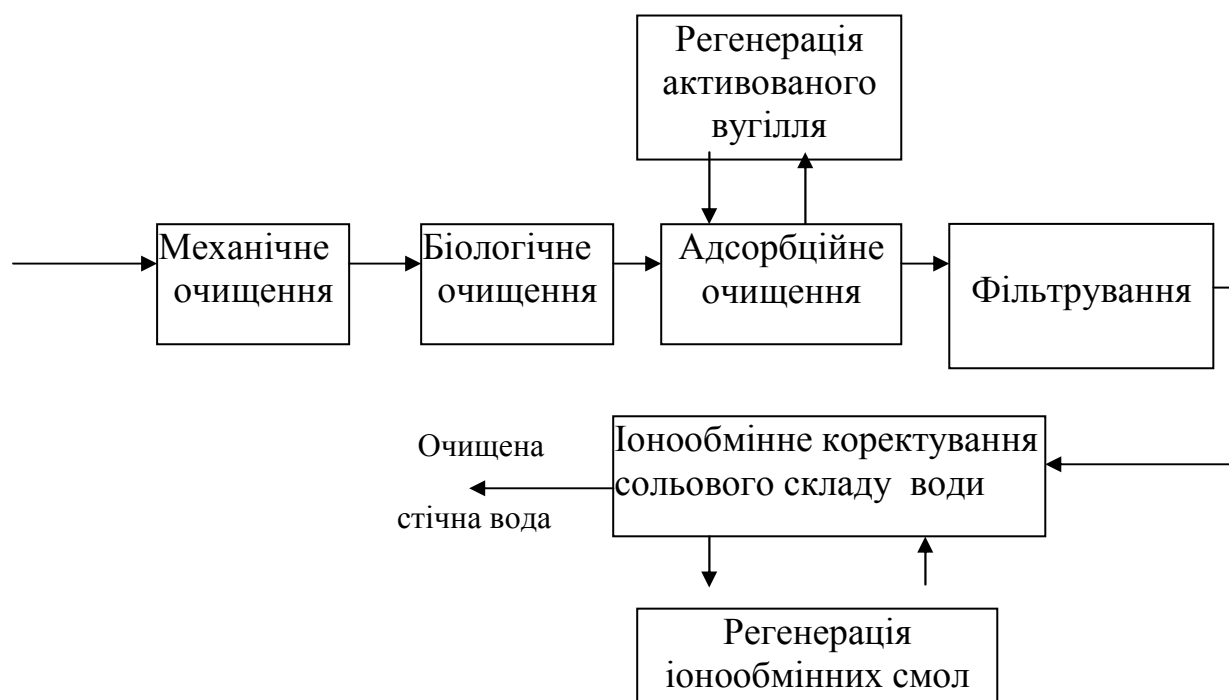
У системах замкненого водопостачання на основі повторного використання очищених стічних вод необхідне коректування сольового складу води досягається послідовним Н-катіонуванням і ОН-аніонуванням стічної води після адсорбційної доочистки. Залежно від обраної технологічної схеми водопідготовки й вимог до сольового складу підживлюючої води обробці методом іонного обміну може піддаватися вся вода, яка пройшла через адсорбційні колони, або частина її з наступним змішуванням знесоленої і не знесоленої води.

Знесолювання і зм'якшування очищених стічних вод дозволяє багаторазово використовувати їх як технічну воду в більшості технологічних і теплообмінних процесів. Разом зі скороченням споживання свіжої прісної води підприємством при цьому створюється реальна можливість організації замкненого циклу промислового водопостачання, що виключає скид стічних вод до водоймищ.

На рис. 12.3 наведено схему адсорбційно-іонообмінної установки доочищення стічних вод.

Ця схема включає такі етапи обробки води: адсорбційне доочищення біологічно очищених стічних вод, яке забезпечує зниження ХПК до 8-16 г O_2 /м³; вилучення з очищеної води пилу активованого вугілля та інших завислих речовин відстоюванням і фільтруванням; Н-катіонування адсорбційно очищеної води для вилучення з неї катіонів жорсткості; зменшення вмісту іонів лужних металів і амонію; віддувка оксиду карбону (вуглецю) (IV) з Н-катіонованої води в дегазацій-

них колонах; ОН-аніонування води для вилучення аніонів сульфатів, фосфатів, зниження вмісту хлоридів і нейтралізації кислотності Н-катионованої води.



12.3 - Технологічна схема адсорбційно-іонообмінної установки доочищення стічних вод

Використання глибоко очищених і частково знесолених стічних вод за цією схемою дає можливість усунути скид води з продувкою зворотних систем і перетворити тим самим систему оборотного водопостачання на замкнену, а також отримати технічну воду, придатну для будь-яких промислових потреб.

Вживання іонного обміну для цих цілей вимагає, проте зміни технології регенерації іонообмінних смол, оскільки на звичайних іонообмінних установках кількість солей, а також кислот і лугів, що скидаються з промивними водами в декілька разів перевищує кількість солей, що витягують при її знесолюванні. Таким чином, іонообмінна технологія демінералізації води може стати безвідходною тільки за умови економічно доцільної утилізації всіх відпрацьованих розчинів і забруднених промивних вод.

Регенерація смол, тобто витіснення з них катіонів металів (катіонів жорсткості перш за все) в аніонів солей (SO_4^{2-} в Cl^-) іонами H^+ в OH^+ , можлива за умови зміщення динамічної рівноваги обміну у зворотному напрямі, тобто при застосуванні надлишку регенеруючих іонів. Зазвичай регенерацію здійснюють 5%-вими розчинами кислот і лугів. Однак необхідність повної утилізації відпрацьованих розчинів при коректуванні сольового складу води зворотних замкнених (безстічних) систем водопостачання вимагає переходити до використання малих об'ємів концентрованих розчинів, застосовуючи для регенерації катіонітів азотну кислоту, а для регенерації аніонітів — аміак. При цьому регенераційні розчини легко можна переробити на азотні добрива.

Безвідходність процесу підготовки підживлювальної води з біологічно очищених стічних вод забезпечується багаторазовим регенеруванням активованого вугілля та використанням для регенерування іонообмінних смол концентрованих розчинів нітратної (азотної) кислоти та аміаку замість звичайних розбавлених розчинів сульфатної кислоти та гідроксиду натрію. Така заміна реагентів разом з порційною технологією регенерування іонообмінних фільтрів дає змогу утилізувати відпрацьовані регенераційні розчини у вигляді добрив.

Питання для самоперевірки:

1. Чим обумовлюється доцільність використання очищених стічних вод як джерела технічного водопостачання.
2. Умови використання для технічного водопостачання очищених міських промислових стічних вод і поверхневого стоку.
3. Які методи доочищення міських стічних вод застосовують з метою їх використання в системах технічного водопостачання?
4. Які вимоги ставляться до біологічно очищених стічних вод, що використовують для підживлення зворотних систем?
5. Застосування активованого вугілля для глибокої очистки стічних вод від органічних домішок.
6. Як впливає застосування коагулянтів перед адсорбційною доочисткою біологічно очищених стічних вод?

**ТЕМА 13. ПОВЕРХНЕВИЙ СТІК – РЕЗЕРВ ЗАМКНЕНИХ СИСТЕМ
ПРОМИСЛОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ**

1. Особливості складу поверхневого стоку.
2. Приклади використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання.

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. Обсяг 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, типа 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 й 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: закрыта, відкрита і змішана. Закрита система відповідає високому рівню благоустрою і санітарним вимогам, проте має досить високу вартість будівництва. Згідно з цією системою, поверхневі води відводять з території за допомогою підземної системи трубопроводів — міської водостічної мережі (зливної 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 лотків, кюветів, каналів і характеризується простотою виконання робіт із невеликими витратами будівельних матеріалів і 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 потрапляє в 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 вища, 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 будівельної 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'ясокомбі-

натів 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 і антропогенних факторів. Визначальні фактори — кліматичні умови (атмосферні опади, випаровування під впливом сонячного випромінювання, інфільтрація, рослинний покрив території та ін.) і організація водозбірних робіт, технологія миття штучних покриттів, транспортних засобів тощо. Особливо забруднений поверхневий стік формується під час танення снігу й проведення поливально-мийних робіт. Вміст завислих речовин у такому поверхневому стоці досягає 4 — 5 кг/м³, вміст нафтопродуктів — до 40 г/м³ і більше, ХПК — до 1500 г О₂/м³, БПК_{повн} — 300 г О₂/м³ і більше.

Склад поверхневого стоку з територій промислових підприємств визначається продукцією, що випускається, технічним рівнем технології виробництва, ефективністю роботи системи пило- і газовловлювання, очищення стічних вод, організацією складування, транспортування та переробки сировини й 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 і специфічних речовин (важкі метали, роданіди, аміак, феноли 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 О ₂ /дм ³	200 - 600	—
БПК ₅ , мг О 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 й 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 треба враховувати 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 стоків, що скидають у водоймища, дуже жорсткі. В більшості випадків до очищених стічних вод пред'являють ті ж вимоги, що й 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/дм³, поверхневий стік може бути використаним майже в усіх 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 й 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.

Очистка і використання поверхневого стоку в замкнених системах водопостачання можуть здійснюватися на самостійних очисних спорудах, а також на спорудах, що забезпечуватимуть їх сумісну очистку з господарсько-побутовими або виробничими стічними водами.

Склад очисних споруд визначають залежно від якісної характеристики і необхідного ступеня очистки поверхневого стоку, його розрахункової витрати або кількості, що направляється на очистку з урахуванням 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.

2. Приклади використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання

Найбільш ефективним вирішенням 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 у 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 ставляють до загальної витрати використовуваної води на технологічні потреби, ступінь очищення поверхневого стоку визначають, 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 й повну санітарну безпеку для працюючого персоналу. Санітарно-гігієнічні вимоги полягають у гарантуванні 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 знезараження.

Вимоги до ступені 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 у зворотних 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 у акумулюючий резервуар і надалі застосовують у системах промислового водопостачання. При використанні цих вод у 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-х секційному ставку-акумуляторі. За величиною карбонатної жорсткості поверхневий стік НПЗ можна порівняти із зм'якшеною вапняно-содовим розчином річковою водою. У 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 зворотного водопостачання розроблені НВО «Енергосталь». Частка поверхневого стоку в загальному балансі водоспоживання залежить від багатьох умов і коливається в широкому діапазоні. На 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 й 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 вищим 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 промислово-зливової або зливової каналізації.

Поверхневі стоки НПЗ несуть пісок, завислі речовини різної природи, зокрема плаваючі й емульговані нафтопродукти. Внаслідок періодичності випадіння 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 рекомендують 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 необхідно передбачати відведення частини стоку в ставок, обминувши 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 й нафта.

У результаті тривалого перебування в ставку вода практично повністю освітлюється. За відсутністю забруднень (БПК_{повн} = 20-25 мг/л) стік направляють на підживлення оборотних систем; при БПК_{повн} > 25 мг/л – на споруду біохімічного очищення стоків першої системи каналізації.

Секції первинного відстоювання по всьому периметру обладнують нафто збірними 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.

Питання для самоперевірки:

1. Особливості формування складу й основні види забруднень поверхневого стоку.
2. Назвіть основні системи відведення поверхневого стоку з території промислових підприємств.
3. Методи й споруди для очистки поверхневого стоку.
4. Наведіть приклади використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Водне господарство промислових підприємств: навч. посібник / Т. С. Айрапетян – Х.: ХНАМГ, 2010. – 280 с.
2. Браславский И. И., Семенюк В. Д., Когановский А. М., Киевский М. И., Евстратов В. Н. Проектирование бессточных схем промышленного водоснабжения. – К.: Будівельник, 1977. – 204 с.
3. Шабалин А. Ф.оборотное водоснабжение промышленных предприятий. – М.: Стройиздат, 1972. – 296 с.
4. Аксенов В. И. Водное хозяйство промышленных предприятий: Справ. Пособие – М.: Теплотехник, 2005. – 640с.
5. Иванов В. Г. Водоснабжение промышленных предприятий: Учеб. пособ. - СПб: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2003. – 537с.
6. Алферова Л. А., Нечаев А. П. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов.– М.: Стройиздат, 1984. – 272 с.
7. Рациональное использование и защита водных ресурсов в черной металлургии / Красавцев Г. Н., Ильичев Ю. И., Кашуба А. И. – М.: Металлургия, 1989. – 288 с.
8. Рихтер Л. А., Волков Э. П., Покровский В. Н. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов ТЭС. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с.
9. Попов А.И., Малюта Г.Н. Безотходные системы очистки сточных вод и водоподготовок в промышленной энергетике. – Саратов: Изд-во университета. 1992.– 199 с.
10. Кучеренко Д. И., Гладков В. А. оборотное водоснабжение (системы водяного охлаждения). – М.: Стройиздат, 1980.–168с.
11. Защита водоемов от загрязнения сточными водами предприятий черной металлургии / Г. М. Левин, Г. С. Пантелят, И. А. Ванштейн, Ю. М. Супрун. – М.: Металлургия1978. – 216с.
12. Водоснабжение и водоотведение на металлургических предприятиях: Спр-к. Вахлер Б. Л.–М.: Металлургия, 1977.– 320с.
13. 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.
14. Левин Г. М., Пантелят Г. С., Ванштейн И. А., Супрун Ю. М. Защита водоемов от загрязнения сточными водами предприятий черной металлургии.– М.: Металлургия 1978. – 216 с.
15. Соколов Л. И. Ресурсосберегающие технологии в системах водного хозяйства промышленных предприятий. – М.: Изд-во АСВ, 1997. – 256 с.
16. Фейзи́ев Г. К. Высокоэффективные методы умягчения, опреснения и обессоливания воды. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.
17. Замкнутые системы водообеспечения химических производств: Уч. пос. для вузов / Ю. П. Беличенко, Л. С. Гордеев, Ю. А. Комиссаров. - М.: Химия, 1996. – 272 с.
18. Аксенов В. И. Замкнутые системы водного хозяйства металлургических предприятий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1991. – 124 с.

Навчальне видання

АЙРАПЕТЯН ТАМАРА СТЕПАНІВНА

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

З ДИСЦИПЛІНИ

**«ЗВОРОТНІ І БЕЗСТІЧНІ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ»**

(для студентів 5 курсу денної форми навчання
спеціальності 8.06010302 – «Рациональне використання і охорона
водних ресурсів»)

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *Н. В. Зражевська*

План 2013, поз. 18Л

Підп. до друку 17.04.2013	Формат 60x84/16
Друк на ризографі.	Ум. друк. арк. 6,0
Зам. №	Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12. 05. 2011 р.