

Тема 1. Типи систем водопостачання промислових підприємств.

1. Особливості використання води у промисловості.
2. Класифікація систем промислового водопостачання.
3. Категорії використання води у промисловості
4. Типи водоспоживання у виробництві.

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

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

2. На підприємствах в залежності від прийнятих технологій, виготовленої продукції, потужності, займаних площ може існувати декілька систем водопостачання. В цілому системи водопостачання промислових підприємств можна поділити на такі:

- Господарсько-питні
- Протипожежні
- Виробничі.

Господарсько-питна система подає воду для питних та інших потреб робітників і службовців протягом зміни, а також для прийняття душів протягом 45 хв. після закінчення зміни. Залежно від виду виробництва (холодні або гарячі цехи) в розрахунках встановлюють графік витрачання води протягом зміни. Воду забирають питними фонтанчиками, раковинами, мийками, різними санітарними приладами. Для розрахунків вважають, що воду споживають усі працюючі, а душами користується якась частина їх. Кількість працюючих, які приймають душ, встановлюють залежно від типу виробництва. Якість води повинна відповідати вимогам “Вода питна”.

Протипожежна система має подавати воду тільки під час пожежі із зовнішньої та внутрішньої мереж. Витрати води на пожежегасіння можуть бути

великими, але це спостерігається дуже рідко. Використовувати можна воду як питної, так і іншої якості.

Виробнича система забезпечує водою тільки виробничі процеси.

3. При цьому в залежності від типу виробництва на підприємстві можуть бути споживачі з різними вимогами до якості води. Як приклад, розглянемо водопостачання сучасного заводу синтетичного каучуку. На заводі існує 10 мереж води різної якості:

- 1) потрібна вода річкова технічна (неочищена);
- 2) технічна очищена до вмісту завислих речовин 20 мг/дм³;
- 3) технічна профільтрована до вмісту завислих речовин 5 мг/дм³;
- 4) охолоджуюча оборотна технічна вода;
- 5) прояснена і охолоджена до 7°C, яка відводиться з температурою 12°C;
- 6) вода частково зм'якшена натрій-катіонуванням з жорсткістю до 0,7 мг-екв/дм³, яку використовують на відмивку каучуку;
- 7) зм'якшена натрій-катіонуванням до 0,05 мг-екв/дм³, яку використовують для приготування каталізатора та живлення котлів-утилізаторів тепла;
- 8) знесолена до 20-30 мг/дм³;
- 9) вода господарчо-питна;
- 10) протипожежна.

Для підприємств, які є великими споживачами неочищеної води, звичайно будують самостійний виробничий водопровід. Великі підприємства, які розташовані за межами населеного пункту, мають роздільні системи господарсько-питного та виробничого водопроводів. Протипожежний водопровід здебільшого об'єднують з господарсько-питним. Невеличкі підприємства здебільшого підключають до водопроводу населеного пункту. У разі потреби в якісній воді (кращій ніж питна) для якогось цеху або приладу можна робити локальні установки поліпшення якості води.

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

3. Типи водоспоживання у виробництві

Вода у промисловості витрачається на самі різноманітні цілі. У цілому водоспоживання у виробництві можна класифікувати так: охолодження, промивання, пароутворення, гідротранспорт, у складі продукції. В залежності

від ролі, що виконує вода у системах виробничного водопостачання, її можна поділити на чотири категорії:

- Вода I категорії використовується для охолодження обладнання і продукту в теплообмінних апаратах (без контакту з продуктом). Вода тільки нагрівається і практично не забруднюється.
- Вода II категорії використовується як середа, що поглинає та транспортує домішки, без нагрівання (збагачення корисних копалин, гідротранспортування). Вода забруднюється механічним та розчинними домішками, але не нагрівається.
- Вода III категорії використовується також як середа, що поглинає та транспортує механічні та розчинні домішки, з нагріванням (уловлювання та очистка газів, гасіння коксу та інше).
- Вода IV категорії використовується в якості розчинника реагентів, наприклад при флотаційному збагаченні копалин тощо.

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, в чорній і кольоровій металургії, в нафтопереробній промисловості на водяне охолодження використовується 95% води і тільки 5% на підсобні потреби, в хімічній та коксохімічній відповідно 90% і 10%.

Промивання водою сировини або продукції здійснюється, наприклад, на таких підприємствах, як шкіряні, консервні, овочесушильні, цукрові тощо. Водою змивають різне сміття, жир, мул. Вода використовується для промивки, замочування, та зволоження у целюлозно-паперовій, текстильній та вовнапереробній промисловостях.

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. Його можна використовувати, наприклад, на теплосилових станціях 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 у складі продукції - прикладом можуть бути харчова промисловість, будівельна індустрія. Це стосується виготовлення консервів і продукції на овочесушильних виробництвах, молочних заводах, виготовлення цегли на цегляних заводах тощо.

Наприклад, на теплових електростанціях 85% загальної витрати води використовується на охолодження, 12% - на транспортування золи (на станціях, де вугілля використовують як паливо), 3% - на приготування пари. В цілому, по всім видам промисловості 70-75% води витрачається на охолодження механізмів та апаратів різних технологічних процесів.

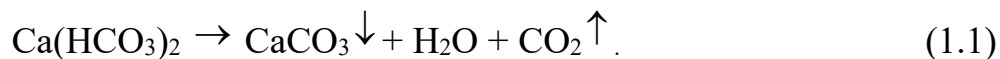
4. Основні 4 категорії використання води у промисловості

1. Вода не підлягає термічному діянню.

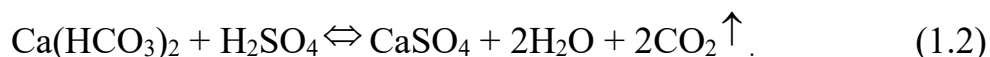
В таких процесах, як гідротранспорт, мийка деталей або обладнання, сольовий склад води практично не змінюється, і тому не чинить шкідливого діянню на об'єкт, з яким контактує. В процесі використання така вода придбає тільки механічні забруднення. Для повторного використання цієї води достатньо її освітлення за допомогою відстоювання. Чим більший розмір отворів розподільчих та розбрискувальних пристроїв, тим менші вимоги до степені освітлення води, що використовується в оборотній системі.

2. Вода підлягає термічному діянню

В оборотних системах охолодження теплообмінної апаратури вода багаторазово нагрівається та охолоджується у інтервалі 20-40°C. При цьому у зв'язку з випаровуванням частини води на градирні зростає кількість солей, у тому числі погано розчинних солей карбонатної жорсткості, які здібні утворювати накипи. В основному утворюються відкладення карбонату кальцію внаслідок порушення вуглекислотної рівноваги, що інтенсифікується з підвищенням температури.



Для запобігання цьому технічну воду підкислюють сірчаною кислотою, в результаті чого солі карбонатної жорсткості перетворюються у краще розчинні сульфати, тобто карбонатна жорсткість переходить у некарбонатну.



3. Вода нагрівається до 140°C.

Це діється при підготовці гарячої води для систем гарячого водопостачання міста. Повне знесолення води у цьому випадку не потрібно, тому достатньо забезпечити запобігання корозії в опалювальних приладах міста та утворення накипи. З цією метою з води спочатку видаляються корозійно-активні гази (O_2 , CO_2), а потім на натрій-катионітних фільтрах катіони кальцію та магнію, що утворюють накипи, замінюються на катіони натрію, солі якого добре розчинні.

4. Вода повністю випаровується.

При отриманні технологічної пари вода повністю переходить з рідкого стану у пароутворення. Тому солі, що містяться у воді можуть кристалізуватись на теплообмінній поверхні труб парових котлів. Підготовка води для отримання пари полягає у повному видаленні усіх розчинних у воді компонентів на

спорудах хімоводоочистки. Технологічний ланцюжок цієї очистки включає послідовне видалення усіх компонентів в залежності від простоти вилучення цих компонентів. Спочатку з води видаляються корозійно-активні гази. У зв'язку з поганою розчинністю газу у гарячій воді для цього воду достатньо нагріти. Після цього з води собційним засобом вилучаються органічні речовини (нафтопродукти, гумінові солі). Розчинні неорганічні солі, що залишились у воді вилучають послідовно на катіонообмінних і аніонообмінних фільтрах. На катіонообмінних фільтрах усі металеві катіони замінюються на катіони водоводу. Для вилучення аніонів використовують виключно аніоніти, в яких усі аніони (кислотні залишки) замінюються на гідроксид-аніони. Таким чином вода повністю знесолюється.

Питання для самоконтролю

1. В чому полягає особливість водопостачання промислових підприємств?
2. Які системи водопостачання застосовуються у промисловості?
3. Чому утворюються відкладення на внутрішній поверхні труб?
4. Від чого залежить кількість та якість води для виробничих потреб?
5. За якими категоріями використовується вода на промислових підприємствах?

Тема 2. Водний баланс оборотних систем водопостачання

1. Баланс води в оборотній системі.
2. Параметри теплового режиму охолоджувачів води.
3. Сольовий баланс.
4. Оцінка імовірності утворення осадів.

1. Для багаторазового використання води в обороті її приходиться кондиціювати, готувати для повторного використання в системі охолодження. Інакше система буде не справлятися з її призначенням через порушення в її роботі. Такими порушеннями може бути поява на стінках теплообмінних апаратів відкладень, біологічних обростань, корозії металевих елементів системи і т.п. Це приводить до збільшення втрат тиску при русі води по трубопроводам з відкладеннями і зменшенню їхньої пропускної здатності, погіршенню умов теплопередачі, зниженню ефекту охолодження і т.д. і т.п.

Баланс води в оборотній системі характеризується рівністю (усі витрати в відсотках від витрати оборотної води):

$$P = P_1 + P_2 + P_3 ,$$

P - підпиток води;

P_1 - втрата води на випаровування;

P_2 - втрата води на знесення з охолодника;

P_3 - витрата води на продування.

Втрати води із системи (рис.1.1) на випаровування (P_1), знесення (P_2) і продування (P_3) характеризують водяний режим оборотної системи і називаються параметрами водяного режиму.

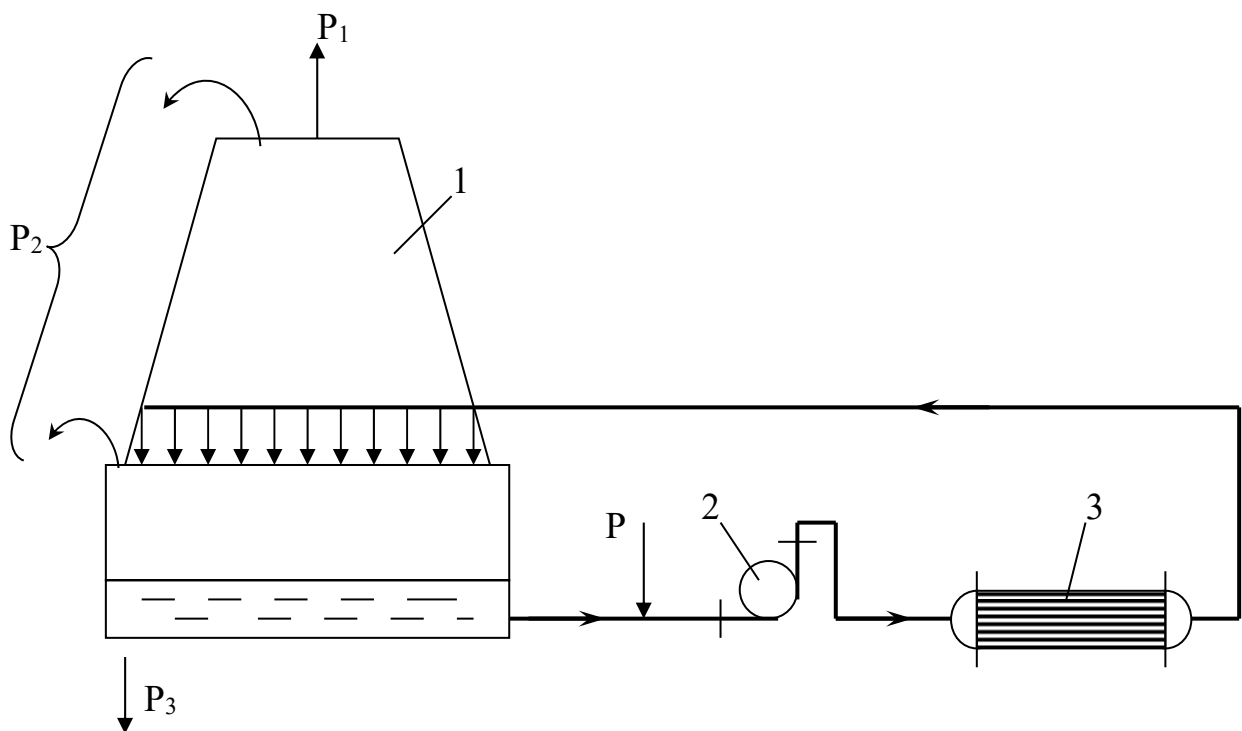
Втрати води на випаровування P_1 , %, залежать від ряду факторів і визначаються розрахунком. З достатньої для практики точністю цей параметр може бути визначений по формулі [5* с.67-69]:

$$P_1 = K \Delta t ,$$

де Δt – різниця температур оборотної води, що подається в градирню і що відводиться;

K - коефіцієнт, прийнятий в залежності від температури повітря:

Температура повітря, °С	0	10	20	30	40
-------------------------	---	----	----	----	----



Значення коефіцієнта K	0,1	0,12	0,14	0,15	0,16
--------------------------	-----	------	------	------	------

- 1 – охолоджувач (ставок, бризкальний басейн, градирня);
- 2 – циркуляційний насос;
- 3 – холодильник (теплообмінний апарат).

Рисунок 2.1 – Втрати води в оборотній системі

Втрати води на знесення P_2 , % для різних охолоджувачів складають:

Вентиляторні градирні з водоуловлювачами	- 0,1 – 0,2
Баштові градирні	- 0,5 – 1,5
Бризкальні басейни до 500 м ³ /год	- 2,0 – 3,0
з 500 до 5000м ³ /год	- 1,5 – 2,0
вище 5000 м ³ /год	- 0,75 – 1,0

2. Крім зазначених параметрів водяного режиму дуже істотними характеристиками систем оборотного водопостачання є параметри теплового режиму охолоджувачів води: температура оборотної води до і після градирні, різниця (перепад) цих температур, питома теплове навантаження, різниця температур охолодженої води і повітря по змоченому термометру. Параметри теплового режиму нормовані в табл. 39 [5, с.71].

Таблиця 2.1 - Параметри теплового режиму охолоджувачів води

Тип охолоджувача	Максимальне питома теплове навантаження, тис.ккал/м ² *год	Перепад температури, °С	Мінімальна різниця температур охолодженої води і повітря по змоченому термометру, °С
Ставки-охолоджувачі	0,2 – 0,4	5 – 10	10 – 12
Бризкальні басейни	5 – 20	5 – 10	10 – 12
Баштові градирні	60 – 100	5 – 15	8 – 10
Вентиляторні градирні	80 – 100	3 – 20	4 – 5

Сольовий баланс систем оборотного водопостачання має велике значення в практиці експлуатації цих систем. Концентрації тих чи інших солей, що надходять у системи оборотного водопостачання з додатковою водою, піддаються змінам і найчастіше дуже великим. Залежить це від розчинності даної солі, фізико-хімічних процесів, що відбуваються з нею, водяного режиму системи. При цьому концентрації солей в оборотній воді залежать не тільки від прийнятого водяного режиму, але і від потужності оборотної системи і часу, що пройшов з моменту її пуску.

3. Солі, що надходять у системи оборотного водопостачання з додатковою водою, варто розділяти на 2 основні групи:

- 1) солі добре розчинні, що не випадають в осад у системах ні при яких умовах їхньої роботи (хлориди калію, натрію, кальцію, магнію);
- 2) солі, що унаслідок недостатньої розчинності чи фізико-хімічних перетворень, що зазнають вони в системах оборотного водопостачання, можуть випадати в осад (сульфат, карбонат кальцію).

Особливий інтерес являють собою солі другої групи, що випадаючи в осад створюють великі ускладнення при експлуатації систем оборотного водопостачання. Потрібно розрахувати, якою повинна бути концентрація солі при тих чи інших умовах роботи системи і вжити необхідних заходів для запобігання осадоутворення. Для того, щоб визначити, яка повинна бути концентрація в оборотній воді солі, необхідно знати закон зміни концентрації в часі і коефіцієнт концентрування солей, що не випадають в осад.

Якщо в додатковій воді містяться розчинені солі, що не випадають у вигляді осадів і не відкладаються в трубах і холодильниках, то спостерігається баланс солей, що виражається рівнянням

$$C_{\text{доо}} P = C_{\text{об}} (P_2 + P_3) = C_{\text{об}} (P - P_1) .$$

$C_{\text{доо}}$ і $C_{\text{об}}$ - концентрація солі (чи іона) відповідно в додатковій і оборотній воді в г/м³.

При роботі оборотної системи внаслідок випаровування частини води P_1 відбувається поступове збільшення концентрації розчинених у воді солей (чи іонів), але тільки доти, поки кількість виведених із системи солей (чи іонів) із краплинним віднесенням P_2 і продувкою P_3 не стане рівним кількості солей (чи іонів), що вводяться з підпитком P .

Якщо міркувати спрощено, коефіцієнт концентрування солей – це коефіцієнт упарювання $K_y = C_{\text{об}} / C_{\text{доо}} = C_{\text{об}} / C_0$, дорівнює відношенню концентрації солей в оборотній системі до концентрації солей в воді, підпитка P .

$$K_y = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3} = 1 + \frac{P_1}{P_2 + P_3} ,$$

то K_y завжди більше 1, а

$$C_{об} = C_0 \left(1 + \frac{P_1}{P_2 + P_3} \right) = C_0 \times K_y$$

Оцінка імовірності осадоутворення в системі оборотного водопостачання без стабілізаційної обробки води проводиться таким чином:

1) обчислюють припустиму граничну лужність оборотної води $L_{об.гр.}$, що може підтримуватися в системі:

$$L_{об.гр.} = \psi \sqrt{\frac{0,1(CO_2)_{дод.} (P - P_1)}{(Ca)_{дод.}}},$$

де $(CO_2)_{дод.}$ і $(Ca)_{дод.}$ – вуглекислота і кальцій додаткової води;

ψ - коефіцієнт, обумовлений залежністю від солемісту оборотної води і температури охолодженої води по табл. 1.2.

Таблиця 2.2 - Значення ψ

Температура охолодженої води, °С	Солеміст оборотної води, мг/л						
	200	400	600	800	1000	1500	2000
15	8,04	8,68	9,18	9,56	9,94	10,7	11,3
20	7,54	8,12	8,6	8,98	9,32	10,0	10,6
25	7,12	7,65	8,07	8,42	8,76	9,41	9,97
30	6,66	7,18	7,58	7,92	8,22	8,83	9,36
35	6,21	6,69	7,08	7,39	7,63	8,24	8,76
40	5,80	6,24	6,61	6,89	7,16	7,7	8,16
45	5,38	5,79	6,13	6,39	6,64	7,14	7,56
50	4,81	5,42	5,72	5,98	6,22	6,67	7,06

або по формулі

$$\psi = \left[\frac{K_1 \times PP_{CaCO_3} \times 10^{6 + \frac{3\sqrt{\mu}}{1 + 1,5\sqrt{\mu}}}}{1,1 \times K_2} \right]^{\frac{1}{2}},$$

де K_1 і K_2 – константи першої і другої ступені дисоціації вугільної кислоти.

2) обчислюють лужність оборотної води $L_{об}$, що повинна установитися в системі за умови, що не буде відбуватися розпад бікарбонатів:

$$L_{об} = \frac{P - P_1}{L_{дод.}} .$$

Якщо $L_{об} \leq L_{об.гр.}$, то обробка води не потрібна, а мінімальна продукція визначається по формулі

$$P_3 = \frac{L_{дод.} P_1}{L_{об.гр.} - L_{дод.}} - P_2 .$$

В нашій м'якій дніпровській воді лужність визначається наявністю бікарбонатних іонів, тобто карбонатною твердістю води, тому

$$P_3 = \frac{T_{дод.карб.} P_1}{T_{карб.гр.} - T_{дод.карб.}} - P_2 .$$

$T_{карб.гр.}$ визначаємо зі співвідношення

$$2,8 T_{карб.гр.} = 8 + \frac{\theta^i}{3} \frac{t_{вих} - 40}{5,5 - \frac{\theta^i}{7}} - \frac{2,8 T_{некарб.}}{6 - \frac{\theta^i}{7} + \left(\frac{t_{вих} - 40}{10} \right)^3} ,$$

де θ^i – показник окислюваності оборотної води, мг O_2 /л:

Для дніпровської води м. Запоріжжя $T_{карб.гр.} = 3,24$ мг-екв/л, $T_{дод.карб.} = 2,6$ мг-екв/л. При $\Delta t = 10^\circ C$ и для $t_{повітря} + 10^\circ C$ для о/ц водопостачання ТЕЦ-ПВС комбінату «Запоріжсталь» $P_1 = 1,2\%$, $P_2 = 1,0\%$.

Тоді

$$P_3 = \frac{T_{дод.карб.} P_1}{T_{карб.гр.} - T_{дод.карб.}} - P_2 = \frac{2,6 \times 1,2}{3,24 - 2,6} - 1,0 = 3,875 \% .$$

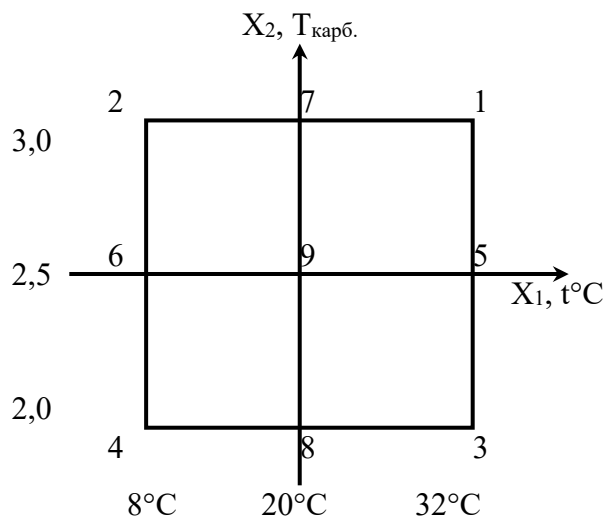
$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 1,2 + 1,0 + 3,875 = 6,075 \% .$$

Тоді при $Q = 50784 \text{ м}^3/\text{год}$

$$P = 50784 \times 0,06075 = 3085 \text{ м}^3/\text{год}$$

Температура охолодженої води на градирнях і бризкальних басейнах коливається від $+8^\circ\text{C}$ узимку до $+32^\circ\text{C}$ улітку. Твердість карбонатна складає узимку – $2,92 \text{ мг-екв/л}$, навесні – $3,0 \text{ мг-екв/л}$, влітку і восени – $2,55 \text{ мг-екв/л}$. отже підживлення, підпиток Р буде від цих факторів змінюватися значно.

Будуємо двохфакторний план і порахуємо підживлення при варіюванні вищевказаних факторів у приведених межах для 9-ти крапок:



№ крапки	$X_1, t^\circ\text{C}$	$X_2, T_{\text{карб.}}$
1	+1(32°C)	+1(3,0)
2	-1(8°C)	+1(3,0)
3	+1(32°C)	-1(2,0)
4	-1(8°C)	-1(2,0)
5	+1(32°C)	0(2,5)
6	-1(8°C)	0(2,5)
7	0(20°C)	+1(3,0)
8	0(20°C)	-1(2,0)
9	0(20°C)	0(2,5)

Рисунок 2.3 - Двохфакторний план

При цьому необхідно врахувати, що $T_{\text{карб.гр.}}$ по сезонах коливається: осінню, зимою і весною – $3,9 \text{ мг-екв/л}$ і літом – $3,55 \text{ мг-екв/л}$.

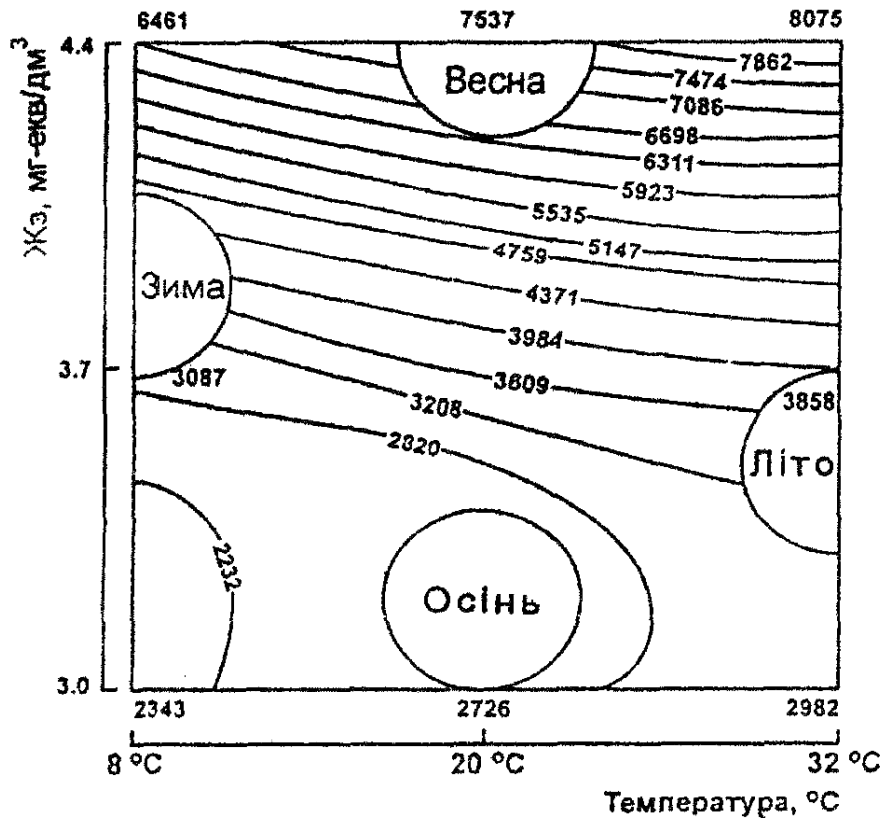
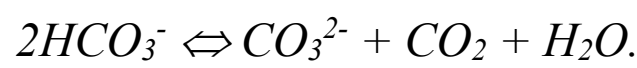


Рисунок 2.4 – Лінії ізозначень кількості підживлюючої води в залежності від температури навколишнього повітря та коливань її твердості

Рівняння динамічної рівноваги між різними формами вугільної кислоти у водяних розчинах вуглекислих з'єднань:



Спільне рішення рівнянь констант рівноваги першої і другої ступені

$$\left(K_1 = \frac{f_{\text{H}^+} [\text{H}^+] f_{\text{HCO}_3^-} [\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]} \right); \left(K_2 = \frac{f_{\text{H}^+} [\text{H}^+] f_{\text{CO}_3^{2-}} [\text{CO}_3^{2-}]}{f_{\text{HCO}_3^-} [\text{HCO}_3^-]} \right) \text{ і } K_2$$

основі дії мас даної реакції і добутку розчинності CaCO_3 $(f_{\text{Ca}} [\text{Ca}^{2+}] f_{\text{CO}_3} [\text{CO}_3^{2-}] = \text{IP}_{\text{CaCO}_3})$ дає константу рівноваги $K_p = K_1 / K_2$,

вмілі $\frac{f_{\text{H}^+} [\text{H}^+] f_{\text{HCO}_3^-} [\text{HCO}_3^-]}{f_{\text{CO}_3^{2-}} [\text{CO}_3^{2-}]}$ визначаємо $f_{\text{HCO}_3^-} [\text{HCO}_3^-]$ і $f_{\text{CO}_3^{2-}} [\text{CO}_3^{2-}]$ рівноважної вуглекислоти

Логарифмуючи це

вираження, Ланжелє дав свій знаменитий індекс стабільності $J = pH_0 - pH_s$. Вони розраховані на основі логарифма $(CO_2)_{рівн.}$

$$\lg[CO_2]_{рівн.} = pK_1 - pK_2 + pPP_{CaCO_3} + 2\lg[HCO_3^-] + \lg[Ca^{2+}] - 3\sqrt{\mu} - 5.96.$$

Для визначення pH_s рівноважного насичення карбонатом кальцію він запропонував суму 4-х функцій:

$$pH_s = f_1(t) - f_2(Ca^{2+}) - f_3(Щ) + f_4(P).$$

При $J > 0$ вода схильна до утворення карбонатних відкладень; при $J < 0$ – до розчинення карбонатних відкладень (корозійна); при $J \approx 0$ – вода стабільна.

Треба сказати, що індекс стабільності Ланжелє внаслідок своєї логарифмічної природи служить лише якісним показником схильності води до того чи іншого процесу і не є кількісною характеристикою агресивних властивостей води.

Питання для самоконтролю

1. Які витрати води існують в оборотних системах?
2. Які параметри характеризують тепловий режим охолоджувачів води?
3. Які види солей присутні в оборотних системах?
4. В яких межах коливається температура та твердість води?
5. Що показує індекс стабільності води?

Тема 3. Процеси охолодження води в охолоджувачах

1. Типи охолоджувачів.
2. Теплообмін у випарних охолоджувачах.
3. Порядок розрахунку необхідної кількості води для цілей охолодження

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

Зниження температури води в охолоджувачах відбувається за рахунок передачі її тепла повітрю. По способу передачі тепла охолоджувачі,

застосовувані в системах оборотного водопостачання, розділяються на *випарні* і *поверхневі* (радіаторні).

У випарних охолоджувачах охолодження води відбувається в результаті її випаровування при безпосередньому контакті з повітрям (випаровування 1% води знижує її температуру на 6°C). У радіаторних охолоджувачах охолоджувана вода не має безпосереднього контакту з повітрям. Вода проходить усередині трубок радіаторів, через стінки яких відбувається передача її тепла повітрю.

Тому що теплоємність і вологоємність повітря відносно невеликі, для охолоджувача води потрібен інтенсивний повітряобмін. Наприклад, для зниження температури води з 40 до 30°C при температурі повітря 25°C на 1м³ охолоджуваної води до випарного охолоджувача повинне бути підведене близько 1000м³ повітря, а до радіаторного охолоджувача, у якому повітря тільки нагрівається, але не зволожується – близько 5000 м³ повітря.

Випарні охолоджувачі по способу підведення до них повітря розділяють на *відкриті*, *баштові* і *вентиляторні*. До відкритих охолоджувачів відносяться водоймища-охолоджувачі (чи ставки-охолоджувачі), бризкальні басейни, відкриті градирні. У них рух повітря щодо поверхні охолоджуваної води обумовлюється вітром і конвекцією. У баштових охолоджувачах – баштових градирнях – рух повітря викликається природною тягою, створюваною високою витяжною баштою. У вентиляторних охолоджувачах – вентиляторних градирнях – здійснюється примусова подача повітря за допомогою нагнітальних чи відсмоктувальних вентиляторів.

Радіаторні охолоджувачі, що називаються також «сухими градирнями» по способу підведення до них повітря можуть бути баштовими чи вентиляторними.

Для охолодження циркуляційної води до досить низьких температур потрібно велика площа контакту її з повітрям – порядку 30м² на 1м³/год охолоджуваної води. Відповідно цій рекомендації варто приймати площу дзеркала води водоймищ-охолоджувачів.

У градирнях необхідна площа контакту створюється шляхом розподілу води над зрошувальними пристроями, по яких вона стікає під дією сили ваги у вигляді тонких плівок чи крапель, що розбиваються при влученні на рейки на дрібні бризки. У бризкальних басейнах для створення необхідної площі контакту з повітрям вода розприскується спеціальними соплами на дрібні

краплі, сумарна поверхня яких повинна бути достатньою для випарного охолоджувача.

2. Теплообмін у випарних охолоджувачах Зниження температури шляхом:

1. **Тепловіддача зіткненням**, тобто перенос тепла шляхом теплопровідності і конвекції (від середовища більш теплого до середовища більш холодного, від води до повітря, як правило).

$$q_c = \alpha (t - \theta),$$

де q_c – питома кількість тепла, ккал/(м²*год);

α - коефіцієнт тепловіддачі, ккал/(м²*год*°С);

t - температура води, °С;

θ - температура повітря, °С.

2. **Поверхневим випаром** (коли парціальний тиск пари, що міститься в повітрі, менше тиску насичення пари при температурі поверхні рідини). Питома кількість тепла, що утрачається водою в результаті випару (ккал/(м²*год):

$$q_e = \beta (e_m - e),$$

де β – коефіцієнт тепловіддачі випаровуванням, ккал/(м²*год*мм.вод.ст.);

e_m - тиск насичення пари при температурі поверхні води, мм.вод.ст.;

e - парціальний тиск водяної пари в повітрі (абсолютна вологість повітря), мм.вод.ст.

1) коли $t > \theta$, обидва процеси діють в одному напрямку, викликаючи охолодження води;

2) при $t = \theta$, передача тепла зіткненням припиняється й охолодження води відбувається тільки завдяки поверхневому випару;

3) вода буде продовжувати охолоджуватися і при $t < \theta$ доти, поки кількість тепла, передана повітрям воді зіткненням, не зрівняється з кількістю тепла, що утрачається водою в результаті випару, тобто поки не буде дотримуватися рівність $q_c + q_e = 0$. Температура води в цей момент досягне того ж значення, що і τ -температура змоченого термометра.

Хоча охолодження води при τ припиниться, випаровування її і приплив до неї тепла буде продовжуватися. Фактично ж вода не охолоджується до теоретичної межі τ – змоченого термометра, хоча і нижче θ повітря, вимірюваного по сухому звичайному термометру.

3. Порядок розрахунку необхідної кількості води для цілей охолодження

Необхідна витрата води для охолодження, м³/с, визначається по максимальній величині, що залежить від теплового навантаження (M_T), самоочищаючих швидкостей (M_c), швидкостей, що виключають місцеве кипіння ($M_{м.к.}$) :

$$M > M_T > M_c > M_{м.к.}$$

Витрата охолоджуючої води для відводу тепла через теплопередаючу стінку визначається рівнянням:

$$M_m = \frac{Q}{(t_{\Gamma} - t_X)c},$$

де M_m - витрата води, що залежить від теплового навантаження, м³/с;

$Q = qF$ - теплове навантаження, Вт;

q - тепла напруга, Вт/м²;

F - площа поверхні, що нагрівається, м²;

t_{Γ} - температура нагрівання води, °С;

t_X - температура охолодженої води, °С;

C - питома теплоємність води, КДж/(кг*К).

Для запобігання утворення хімічних відкладень природну воду, що надходить у систему, з карбонатною твердістю більш 3-4 мг-екв/л, необхідно кондиціювати.

Природні води, що не дають випадання солей карбонатної твердості при температурі 40 - 60 °С, прийнято називати термостабільними. Практично карбонатна твердість термостабільних вод не перевищує 2-3 мг-екв/дм³ для оборотного водопостачання і 4 мг-екв/дм³ для прямоточного.

Витрата води, що залежить від наявності у воді механічних домішок (завислих речовин), визначається виходячи з необхідної швидкості, потоку, що самоочищує трубопровід:

$$M_c = V_{CM} W,$$

де M_c - кількість води, що виключає відкладення завислих речовин, м³/с;

V_{CM} - самоочищуюча швидкість, м/с;

W - площа живого перетину, м².

Витрата води, що виключає місцеве кипіння, тобто забезпечення теплообміну тільки за рахунок конвективного режиму, розраховується по формулі:

$$M_{м.к.} = V_{м.к.} W ,$$

$$V_{м.к.} = d_{э}^{0,2} q / 10^5 ,$$

$$d_{э} = 4 W / p .$$

де $M_{м.к.}$ - кількість води, що виключає місцеве кипіння, м³/с;
 $V_{м.к.}$ - необхідна критична швидкість, що виключає місцеве кипіння, м/с;
 $d_{э}$ - еквівалентний діаметр охолоджуваного елемента, м;
 q - теплова напруга, Вт/м²;
 p - змочений периметр охолоджуваного елемента, м.

Необхідна кількість води, визначена вищевказаним розрахунком, піддається перевірці на її здатність утворювати шар осаду, що не перевищує нормативної товщини 1 мм.

Товщина шару відкладень на поверхні теплообмінника розраховується по формулі, мм/рік:

$$S = 0,4 M \frac{D_1 + D_2 + D_3}{\gamma \times F} \times \left[\left(N_{\dot{e}}^i - N_{\dot{e}}^{\dot{a}} \frac{D_2 + D_3}{D_1 + D_2 + D_3} \right) \times 50 + m \right] \times \sigma \times 10^{-6} ,$$

де M - необхідна кількість води для цілей охолодження, м³/ч;

P_1 - відносні втрати води на випаровування;

P_2 - відносні втрати води на знесення з охолодника;

P_3 - відносні втрати води на продувку;

γ - питома вага відкладень, кг/дм³;

F_{N_i} - площа, на якій утворюються відкладення, м²;

N_{κ} - карбонатна твердість води підпитка, мг-екв/ дм³;

$N_{\dot{a}\dot{e}}$ - гранична карбонатна твердість, мг-екв/ дм³;

m - кількість завислих речовин, мг/ дм³;

σ - час роботи агрегату в рік, год.

Питання для самоконтролю

1. За рахунок чого відбувається зниження температури води в охолоджувачах?
2. Як знижується температура води у випарних охолоджувачах?
3. Як визначити необхідну витрату води для охолодження?
4. Як визначити товщину шару відкладень?

5. які речовини складають відкладання на внутрішній поверхні труб?

Тема 4. Водний та матеріальний (сольовий) баланс систем водопостачання підприємств.

1. Визначення витрат води.
2. Розрахунок відстійників.
3. Складання балансової схеми.
4. Розрахунок продувочних вод.

1. Розрахункову витрату оборотної води в системі водопостачання кожного виробництва визначають за формулою

$$Q_p = \frac{n_v \cdot K_{год}}{T}, \quad (4.1)$$

де n_v - норма водоспоживання (кількість води на одиницю продукції), $\text{м}^3/\text{т}$;

$K_{год}$ - коефіцієнт годинної нерівномірності

T - кількість годин роботи виробництва за рік, год

Втрати води в оборотному циклі:

$$P_{вин} = P_1 + P_2 + P_3, \quad (4.2)$$

де P_1 і P_2 – безповоротні втрати оборотної води при охолодженні на випаровування і винос вітром, %;

P_3 – величина продувки, %.

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

Втрати води на випаровування в градирнях, % :

$$P_{вин} = 1,6 \cdot x \cdot \Delta t \quad (4.3)$$

де x – частка теплоти, що віддається охолоджуючою водою, за рахунок її випаровування в градирні (влітку 1,0, взимку – 0,5, весною і восени – 0,75)

Δt – зниження температури в градирні.

Втрати води з краплинним винесенням вітром залежать від типу охолоджувача. Для вентиляторних градирень ці втрати складають 0,2-0,5 % від витрати оборотної води, для баштових градирень – 0,5-1%.

Позначимо кількість води, що знаходиться в обороті $Q_{об}$, $\text{м}^3/\text{год}$, тоді

$$q_d = \frac{P_d \cdot Q_{об}}{100}; q_1 = \frac{P_1 \cdot Q_{об}}{100}; q_{пр} = \frac{P_3 \cdot Q_{об}}{100} \quad (4.4)$$

2. Горизонтальні відстійники

Площу зони осадження, m^2 , приймають залежно від питомого гідравлічного навантаження:

$$F = \frac{Q}{q} \quad (4.5)$$

Довжина відстійника

$$L = V_{cp} \cdot t, \quad (4.6)$$

де V_{cp} - середня швидкість руху води, приймається 5-10 мм/с.

t - час перебування води у відстійнику:

$$t = \frac{L}{u_0} \quad (4.7)$$

де H - глибина проточної частини, 1,5-4 м;

u_0 - гідравлічна крупність зважених речовин, мм/с.

Ширина відстійника:

$$B = \frac{Q}{V_{cp} \cdot H} \quad (4.8)$$

Ширину однієї секції приймають в межах 3-6 м, в окремих випадках 9 м в залежності від способу видалення осаду.

Радіальні відстійники

Найбільшого розповсюдження при очищенні стічних вод металургійних виробництв набули відстійники діаметром 30 м з камерою флокуляції конструкції НВО «Енергосталь». Камера флокуляції має діаметр 10 м і розташована в центрі відстійника. Наявність камери флокуляції дозволяє збільшити гідравлічне навантаження в порівнянні із звичайними відстійниками.

Площа зони осадження радіальних відстійників, m^2 :

$$F = \frac{Q}{q_{nut}} \quad (4.9)$$

Площа осадження одного відстійника:

$$F_1 = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \quad (4.10)$$

де D, d – діаметр відстійника та флокулятора відповідно, м.

Число відстійників

$$n = \frac{F}{f_1}. \quad (4.11)$$

Відкриті гідро циклони і флокулятори

Відкриті циклони доцільно застосовувати для очистки порівняно невеликої кількості стічних вод, що мають високу концентрацію суспензії та флокуляційні властивості.

Питоме гідравлічне навантаження для відкритих гідро циклонів визначають за формулою, $\text{м}^3/\text{м}^2 \text{ год}$:

$$q = 3.6 \cdot u_0 \quad (4.12)$$

Апарат працює без коагуляції та флокуляції за допомогою реагентів. Площа одного гідро циклона

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (4.13)$$

Продуктивність одного апарату, $\text{м}^3/\text{год}$:

$$Q_1 = q \cdot F \quad (4.14)$$

Кількість споруд

$$n = \frac{Q}{Q_1} \quad (4.15)$$

Порядок розрахунку флокуляторів наступний:

1) визначається витрата води на один апарат

$$Q_1 = q_{\text{пит}} \cdot S_{\text{ф}}, \quad (4.16)$$

де $q_{\text{пит}}$ - питоме гідравлічне навантаження на один апарат, $\text{м}^3/\text{м}^2 \text{ год}$
 $S_{\text{ф}}$ - площа флокулятора, приймається $S_{\text{ф}} = 113 \text{ м}^2$.

2) визначається кількість апаратів;

Об'єм камери флокуляції:

$$W_{\text{к}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{ф}}^2 - D_{\text{к}}^2) \cdot H, \quad (4.17)$$

де $D_{\text{ф}}$ - діаметр флокулятора, $D_{\text{ф}} = 12 \text{ м}$;

$D_{\text{к}}$ - діаметр камери, $D_{\text{к}} = 10,6 \text{ м}$;

H - висота флокулятора, $H = 10 \text{ м}$.

3) Об'єм зони відступання:

$$W_{\text{відст}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{к}}^2}{4} \cdot H \quad (4.18)$$

Розрахунок охолоджувачів

Площу зрошування вентиляторних градирень із зрошувачем бризкального типу або краплини (якщо зрошуєть 40³м) визначають за формулою:

$$F_{\text{зр}} = \frac{Q_{\text{сп}} \cdot \sqrt{t_1 - t_2}}{K \cdot (V_{\text{в}} \cdot \rho)^{0.625} \cdot (t_1 - \tau)^{1.95}}, \quad (4.19)$$

де Q витрата охолоджуваної води, м³/год

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

K - коефіцієнт, який залежить від типу зрошувача, температури повітря за вологим термометром, ширини зони охолодження і тиску води перед соплами, визначається за таблицею Б.4. (додаток Б);

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

ρ - щільність зовнішнього повітря залежно від температури за сухим термометром і його відносною вологістю, кг/м³;

τ - температура повітря за вологим термометром, приймається за таблицею Б.4. (додаток Б).

3. Приклад розв'язання завдання

Вихідні дані:

1	Річна продуктивність	0,8*10 ⁶ м ³ доменного газу
2	Норма споживання	8 м ³ /1000 м ³ газу
3	Кількість годин роботи за рік	8760
4	Вологовміст доменного газу при $t = 55^{\circ}\text{C}$	120г/м ³
5	Втрати води у відстійниках	0,5%
6	Температура води перед градирнею	55 °С
7	Температура води після градирні	35 °С
8	Втрата води на градирні (з бризками)	0,25%
9	Втрати води на градирне випаровування	3%
10	Коефіцієнт випаровування оборотної води $K_{\text{вип}}$	2,4
11	Продуктивність скрубера по газу	100000нм ³ /год
12	Діаметр радіального відстійника	24 м
13	Час перебування в приймальній камері	5 хвилин

Розрахункова витрата оборотної води в системі водопостачання визначається за формулою

$$Q_p = \frac{0,8 \cdot 10^6 \cdot 4000}{8760} = 365297 \text{ , м}^3/\text{год}$$

$$Q_p = \frac{365297 \cdot 1,05}{10000} = 3068,5 \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$\text{Втрати води з охолодженням газом} \\ Q = 365297 \cdot 0,12 = 43835 \text{ кг/год} = 43,8 \text{ м}^3/\text{год.}$$

У приймальну камеру і на радіальні відстійники надходить витрата води:

$$Q = 3068,5 - 43,8 = 3024,7 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Втрати води на очисних спорудах приймаються 0,5 % від розрахункової витрати оборотної води. Таким чином, втрати зі шламом складуть:

$$Q = \frac{3024,7 \cdot 0,5}{100} = 15 \text{ м}^3/\text{год.}$$

На градирню надходить вода з витратою:

$$Q = 3024.7 - 15 = 3009.7 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Далі вибирається тип охолоджувача. Для споживачів в Луганській області розрахункова температура повітря за вологим термометром $\tau = 18.8^\circ\text{C}$ за таблицею Б.4. (додаток Б). Необхідна різниця температури охолодженої води t_2 і $\tau = 18.8^\circ\text{C}$

складе $t_2 - \tau = 35 - 18.8 = 4.2^\circ\text{C}$. Таку різницю температур можуть забезпечити тільки вентиляторні градирні (таблиця додатку Б.4). При температурі повітря за сухим термометром 30.1°C (таблиця додатку Б.3) коефіцієнт випаровування $K_{\text{вип}}$ дорівнює 0,0015.

Втрати води на випаровування на градирні:

$$Q_{\text{вип}} = 3024.7 \cdot (35 - 35) \cdot 0.0015 = 90.7 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Для вентиляторної градирні з водоуловлювачем втрати води на віднесення вітром приймаються P_2 0,2 %. Тоді втрати на градирні через краплинне віднесення вітром:

$$Q_{\text{кр.вин.}} = \frac{3024.7 \cdot 0.2}{100} = 6 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Кількість продувки визначається, виходячи із заданого коефіцієнта випаровування:

$$K_{\text{вип}} = \frac{Q_{\text{вип}} + Q_{\text{кр.вин.}} + Q_{\text{прод}} + Q_{\text{інше}}}{Q_{\text{кр.вин.}} + Q_{\text{прод}} + Q_{\text{інше}}}, \quad (4.20)$$

де $Q_{\text{вип}}, Q_{\text{кр.вин.}}, Q_{\text{прод}}, Q_{\text{інше}}$ втрати відповідно на випаровування, через краплинне віднесення вітром, з продувкою та інші втрати води зі шламом на очисних спорудах та з інших причин, $\text{м}^3/\text{год.}$

4. Необхідна кількість продувки $Q_{\text{прод}} = \frac{(Q_{\text{вип}} + Q_{\text{кр.вин.}} + Q_{\text{інше}}) \cdot (1 - K_{\text{вип}})}{K_{\text{вип.}} - 1}$

$$Q_{\text{прод}} = \frac{(90.7 + 43.8) + (6 + 15) \cdot (1 - 2.4)}{2.4 - 1} = 75 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (4.21)$$

$$Q_{\text{прод}} = \frac{(90.7 + 43.8) + (6 + 15) \cdot (1 - 2.4)}{2.4 - 1} = 75 \text{ м}^3/\text{год.}$$

При розрахунку треба враховувати втрати води із шламом. Сумарні втрати води при охолодженні:

$$Q_{\text{прод}} = 90.7 + 43.8 + 15 + 6 + 75 = 230.5 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Отже, треба додати свіжої води $230.5 \text{ м}^3/\text{год.}$ За результатами розрахунку складається балансова схема (рис.5).

Кількість скруберів

$$N_{\text{скр}} = \frac{365296.8}{100000} = 3.6 \text{ шт.}$$

Приймаємо 4 скрубери.

Площа осадження радіальних відстійників

$$F = \frac{Q}{q_{\text{нит}}} = \frac{30024,7}{3,2} = 945,2 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Приймається типовий радіальний відстійник діаметром $D=24$ м. Площа зони осадження одного відстійника

$$F_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 24^2}{4} = 452 \text{ м}^2.$$

Кількість відстійників

$$N = \frac{945,2}{452} = 2 \text{ шт.}$$



Рисунок 4.5 - Балансова схема

Об'єм приймально-розподільної камери

$$V = \frac{3024,7 \cdot 5}{60} = 252 \text{ м}^3.$$

При типовій глибині 5 м площа дзеркала води

$$f = \frac{252}{5} = 50,4 \text{ м}^2.$$

$\frac{50.4 \text{ м}^2}{4} = 12,6 \text{ м}^2$ Геометричні розміри камери приймаються довільно: наприклад, , тобто двохсекційна камера з розміром секції у плані 2*3 м.

Площа вентиляторних градирень з розпилювачем бризкального типу
 $F_{zp} = \frac{200 \cdot 20 \cdot \sqrt{30} \cdot 10^3}{327 \cdot (2,6 \cdot 1,17)^{0,625} \cdot (55 - 18,8)^{1,95}} = \frac{442}{144} \text{ м}^2$

F_{zp} Кількість градирень визначається за необхідною площею зрошування та площею зрошування однієї типової градирні (секції F_1):

$$N = \frac{F_{zp}}{F_1} = \frac{442}{144} = 3 \text{ шт.}$$

Таким чином , втрати оборотної води 230,5 м³/год, що відповідає кількості свіжої води для підживлення, кількість радіальних відстійників Д-24 м-2шт., вентиляторних градирень - 3 секції.

Питання для повторювання

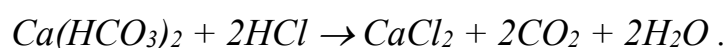
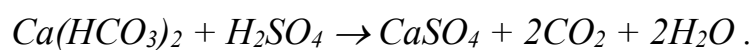
1. Як визначити витрати води в системі оборотного водопостачання?
2. Як визначити розміри відстійників?
3. За якими параметрами складають балансові схеми?
4. Що таке продувка?

Тема 5 Стабільність води оборотних систем

1. Підкислення як метод запобігання карбонатних відкладень.
2. Особливості процесу із застосування сірчаної кислоти.
3. Визначення лужності оборотної води.
4. Рекарбонізація.
5. Фосфатна обробка води.
6. Стабілізаційна обробка води фільтруванням через мармур і магномасу

1. Підкислення – відноситься до числа найбільш розповсюджених методів запобігання карбонатних відкладень при експлуатації систем оборотного водопостачання.

При обробці води кислотою частина солей карбонатної твердості переводиться в еквівалентну кількість солей некарбонатної твердості добре розчинних у воді, які при звичайних умовах не випадають в осад:



При цьому, як видно з приведених рівнянь реакції, по-перше, знижується концентрація бікарбонатних іонів, що обумовлює зменшення необхідної кількості рівноважної вуглекислоти, а по-друге, виділяється при цій реакції вільна вуглекислота, що сприяє стабілізації бікарбонатів, які залишаються у воді після підкислення.

Метод підкислення застосовується у всьому діапазоні величин, що зустрічаються в практиці експлуатації, лужності і твердості природних вод, а також коефіцієнтів концентрування солей у системах оборотного водопостачання.

При підкисленні утворення карбонатних відкладень досягається при значно менших, чим при рекарбонізації чи фосфатації, витратах додаткової води, що можуть бути зведені до величин, достатніх лише для компенсації неминучих втрат води із системи на випаровування і знесення.

2. Принципове обмеження на величину K_y при підкисленні, а отже, на витрату додаткової води, накладається лише для запобігання сульфатних відкладень при підкисленні сірчаною кислотою. Сульфат кальцію (гіпс) не випадає в осад, якщо добуток активних концентрацій іонів Ca^{2+} і SO_4^{2-} в оборотній воді не перевищує добуток розчинності сульфату кальцію:

$$f^2 C_{Ca^{2+}} \times C_{SO_4^{2-}} \times k_{к.с.}^2 < \ddot{A}D_{\tilde{N}aSO_4} \leftarrow 2,4 \times 10^{-5}$$

f (коефіцієнт активності) залежить від μ (іонної сили розчину, г-іон/л). Звичайно $\mu = \frac{1}{2} (C_1 Z_1^2 + C_2 Z_2^2 + \dots + C_n Z_n^2)$, де $C_1, C_2, + \dots + C_n$ - концентрація окремих іонів у розчині, г-іон/л; $Z_1, Z_2, + \dots + Z_n$ - валентність тих же іонів.

Кучеренко пропонує іонну силу розчину вважати з обліком $K_{к.с.} (K_y)$

$$\mu = \frac{K_{к.с.}}{2} \left[(C_{Cl} + C_{HCO_3} + C_{Na}) + 4(C_{Ca} + C_{Mg} + C_{SO_4}) \right],$$

де $\tilde{N}_{HCO_3}, \tilde{N}_{Na}, \tilde{N}_{Mg}, \tilde{N}_{\tilde{N}a}, \tilde{N}_{Cl}, \tilde{N}_{SO_4}$ - концентрації іонів в додатковій воді,

г/іон-л;

При підкисленні сірчаною кислотою:

$$C'_{Cl} = C_{Cl}; \quad C'_{SO_4} = C_{SO_4} + \frac{D_k}{98000} \times \frac{C_k}{100},$$

При підкисленні соляною кислотою:

$$C'_{SO_4} = C_{SO_4}; \quad C'_{Cl} = C_{Cl} + \frac{D_k}{36500} \times \frac{C_k}{100},$$

Таблиця 5.1 - Коефіцієнти активності двовалентних іонів при різних μ

μ	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13
f	0,67	0,58	0,53	0,50	0,47	0,45	0,43	0,41	0,39	0,38	0,36	0,35	0,34

Необхідна гранично припустима величина $K_{к.с.}$ при підкисленні сірчаною кислотою визначається методом послідовних наближень, ітерацій.

При підкисленні оборотної охолоджуючої води D_k , мг/л в розрахунку на додаткову воду визначають у такий спосіб: $\frac{L_{об}}{100}$

$$D_{кис} = e_{кис} (L_{дод} - K_y) / C_{кис}, \text{ мг/л}$$

$e_{кис}$ - еквівалентна вага кислоти, мг-екв/л, H_2SO_4 -49, HCl -36,5;

$L_{дод}$ - лужність додаткової води, мг-екв/л;

$L_{об}$ - лужність оборотної води, що встановлюється при обробці води кислотою, мг-екв/л;

$C_{кис.}$ - вміст кислоти в технічному продукті, %;

K_y - коефіцієнт концентрування (унагору) солей, що не випадають в осад, обумовлений $K_y = \frac{P_2 + P_3}{P_2 + P_3}$.

3. Як визначити лужність оборотної води, що встановлюється при обробці води кислотою?

Формула вмісту рівноважної вуглекислоти у воді (звідси виведений індекс Ланжельє, DFI і т.п.):

$$(CO_2)_{рівн.} = \frac{k_2}{k_1 \times \ddot{A} \ddot{D}_{CaCO_3}} \times f_{HCO_3}^2 \times f_{\tilde{N}a} \left[HCO_3^- \right]^2 \times \left[\tilde{N}a^{2+} \right]$$

Вміст CO₂ в оборотній воді визначається так:

$$(CO_2)_{об.} = \frac{100 - \ddot{D}}{100} \times (\tilde{N}I_2)_{i \ddot{o} \ddot{i} \ddot{e}} + \frac{\ddot{D}}{100} \left[(\tilde{N}I_2)_{\ddot{a} \ddot{i} \ddot{a}} + (\tilde{N}I_2)_n \right],$$

(CO₂)_{охол.} і (CO₂)_{дод.} - вміст CO₂ у воді, що відповідно пройшла градирню (охолодженої) і в додатковій, мг/л;

P - підпиток;

(CO₂)_n - кількість CO₂, що виділяється в результаті підкислення води, мг/л.

$$(CO_2)_n = 44 \left(\frac{\ddot{E}_{\ddot{a} \ddot{i} \ddot{a}} - \frac{\ddot{D} - \ddot{D}_1}{\ddot{D}} \ddot{E}_{i \ddot{a}} \right)$$

Концентрація кальцію, мг-екв/л, в оборотній воді при рівноважному режимі

$$Ca_{об} = \frac{\ddot{D}}{\ddot{D} - \ddot{D}_1} \times \tilde{N}a_{\ddot{a} \ddot{i} \ddot{a}}$$

де Ca_{дод.} – концентрація кальцію в додатковій воді, мг-екв/л.

Спільне рішення вищевказаних рівнянь приводить до наступної формули для визначення L_{об}, що відповідає стабільності води:

$$L_{об} = 0,1 N_0 \sqrt{4,84 N_0^2 (P - P_1)^2 + (100 - P)(CO_2)_{охол} + P(CO_2)_{дод} + 44 L_{дод} P}$$

$$- 0,22 N_0^2 (P - P_1),$$

$$N_0 = \frac{\psi}{\sqrt{K_y (Ca)_{дод}}}$$

де

ψ - величина, що залежить від загального солемісту оборотної води і температури охолодженої води (табл. 1.2).

Якщо умови $\frac{Ca^{2+} \times SO_4^{2-}}{AD_{NaSO_4}} <$ не витримуються, то

необхідно передбачати продукву, величина якої забезпечить виконання цієї умови.

4. Рекарбонизація. Дозу двоокису вуглецю D_{CO_2} , мг/л, у розрахунку на витрату оборотної води варто визначати по формулі

$$D_{CO_2} = \left(\frac{P_{доd} K_y}{N_0} \right) - (100 - P) \frac{(CO_2)_{охл.}}{100} - \frac{P(CO_2)_{доd}}{100}$$

Введення димових газів, очищених від золи, чи газоподібного двоокису вуглецю в оборотну воду варто передбачати за допомогою газодувки через барботажні труби чи водоструминні ежектори.

Витрата димових газів $q_{д.г.}$, м³/год, при нормальному атмосферному тиску 0,1Мпа (1кгс/см²) і температурі 0°С варто визначати по формулі:

$$q_{д.г.} = 10^4 D_{CO_2} q_{охл.} / C_{CO_2} \beta_{вик.} \gamma,$$

де $q_{охл.}$ – витрата оборотної води, м³/год;

C_{CO_2} – вміст CO₂ у димових газах, % по об'єму, визначається за

даними аналізу димових газів. При відсутності цих даних допускається приймати вміст CO₂ у димових газах від спалювання: вугілля – 5-8%; нафти і мазуту – 8-12%; доменного газу – 15-22%; при введенні у воду чистого газоподібного двоокису вуглецю приймається рівним 100%.

$\beta_{вик.}$ - ступінь використання двоокису вуглецю, %, прийнята при введенні її у воду за допомогою водоструминних ежекторів, рівної 40-50%, за допомогою газодувки і барботажних труб – 20-30%;

γ - об'ємна вага димових газів при нормальному атмосферному тиску і температуру 0°С, гс/м³ (при відсутності фактичних даних допускається приймати 2000гс/м³).

При введенні димових чи газів газоподібного двоокису вуглецю в оборотну воду за допомогою газодувки барботажні труби варто занурювати під шар води не менше 2 м. При використанні водоструминних ежекторів варто насичувати димовими газами чи двоокисом вуглецю частину оборотної води, що потім змішується з всім обсягом води.

Кількість води $Z_{об.}$, % загальної витрати оборотної води, що повинне бути пропущене через водоструминні ежектори, варто визначати по формулі:

$$Z_{об.} = 10^6 \frac{D_{CO_2}}{M_{CO_2}} C_{CO_2} \beta_{вик} ,$$

де M_{CO_2} – розчинність двоокису вуглецю у воді, мг/л, при даній температурі і парціальному тиску 0,1Мпа (1кгс/см²), приймається по табл.4 додатка 12 [5].

Пристрою для розчинення у воді двоокису вуглецю і транспортування води, насиченою двоокисом вуглецю, повинні прийматися зі стійких проти корозії матеріалів.

При розрахунку дози двоокису вуглецю необхідно задатися величиною продувки P_3 і визначити добавку води P .

Якщо при заданій продувці величина $Z_{об}$ вийде недоцільною по техніко-економічним розрахункам, то варто збільшити продувку чи застосувати інший метод стабілізаційної обробки води – підкислення чи фосфатацію.

5. Фосфатна обробка води. Концентрація фосфатного реагенту (триполіфосфату чи гексаметофосфату натрію в розрахунку на P_2O_5 в оборотній воді повинна підтримуватися рівною 1,5-2 мг/л. При цьому в розрахунку на витрату додаткової води необхідна доза реагенту повинна складати 1,5-2,5 мг/л по P_2O_5 чи 3-5 мг/л по товарному продукту.

При обробці води фосфатацією для попередження осадоутворення слід передбачати продувку P_3 , %, обумовлену по формулі:

$$P_3 = \frac{\hat{E}_{\text{дод.}}}{E} - P_2 ,$$

де $K_{y.гр.}$ – граничний коефіцієнт упарювання води, обумовлений по формулі:

$$K_{y.гр.} = (2 - 0,125 L_{\text{дод}}) (1,4 - 0,01 t_1) (1,1 - 0,01 T_{\text{дод}}),$$

де t_1 – температура води оборотної до охолодження, °С;

$T_{\text{дод}}$ – твердість загальна додаткової води, мг-екв/л.

Значення P_1 і P_2 приймаються згідно п.11.9 [5 с.68]. Метод фосфатації варто застосовувати при $K_{y.zp.} > 1$ і величині продукції доцільної по техніко-економічним розрахункам. При величинах $K_{y.zp.} < 1$ слід застосовувати підкислення чи комбіновану фосфатно-кислотну обробку води.

Комбінована фосфатно-кислотна обробка. При комбінованій фосфатно-кислотній обробці води дозу кислоти $D_{кис.}$, мг/л, у розрахунку на витрату додаткової води варто визначати по формулі:

$$D_{кис.} = 100 e_{кис.} (L_{дод} - L_{дод.zp.}) / C_{кис.},$$

де $L_{дод.zp.}$ – гранична величина лужності додаткової води, мг-екв/л, при якій запобігання карбонатних відкладень при заданих умовах (t_1 , K_y і $T_{дод}$) досягається фосфатацією, визначається по формулі:

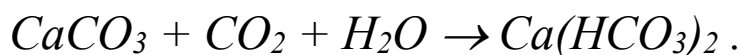
$$L_{дод.zp.} = 16 - K_y / 0,125 \times (1,4 - 0,01 t_1) \times (1,1 - 0,01 T_{дод}).$$

Метод комбінованої фосфатно-кислотної обробки води варто застосовувати при

$$0 < L_{дод.zp.} < L_{дод}.$$

При $L_{дод.zp.} > L_{дод}$ слід передбачати тільки фосфатацію, при $L_{дод.zp.} < 0$ – підкислення.

6. При фільтруванні води через дроблений мармур і напівобпалений доломіт (магномасу) проходить наступна реакція:



При фільтруванні води через мармурову крихту карбонатна твердість води збільшується еквівалентно кількості зв'язаної агресивної вуглекислоти (на 1 мг/л карбонатна твердість збільшується на 0,046 мг-екв/л). Для стабілізаційної обробки води варто застосовувати мармурову крихту без домішок окислів заліза у вигляді відсортованого зернистого матеріалу з крупністю зерен 1-2мм.

Таблиця 5.2 - Тривалість контакту

Вміст у воді агресивної CO_2 у мг/л	5	10	20	30	40	50
---------------------------------------	---	----	----	----	----	----

Тривалість контакту, год.	0,6	0,7	0,9	1,7	3,2	4,5
---------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

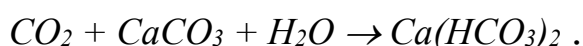
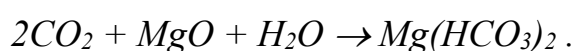
Стабілізаційну обробку води фільтруванням через мармур не рекомендується застосовувати при карбонатній твердості більш 2,5-3 мг-екв/л (занадто громіздкі фільтри потрібні при цьому). Залізо необхідне з води видаляти до фільтрів з мармуровою крихтою (покривається плівкою з'єднань заліза, що не змивається при промиванні фільтрів). Щоб уникнути цементування мармурового завантаження фільтри потрібно періодично промивати водою знизу вгору для розширення фільтруючого шару.

Теоретична витрата мармурової крихти на 1г агресивної вуглекислоти, що зв'язується - 2,3г, практично ж 2,7-3,0г.

Більш інтенсивно зв'язується вуглекислота при фільтруванні води через зернисте завантаження магномаси, наполовину обпаленого доломіту $MgO \cdot CaCO_3$. Вимоги до магномаси:

- 1) крупність зерен – 1-3мм (менше 1мм – не більше 5%, більше 3мм – не більше 15%, у тому числі більше 5мм – не більше 1%);
- 2) об'ємна (насіпна) вага – 1000-1100кг/м³;
- 3) вміст MgO більше 22%, вміст $CaCO_3$ – не більш 65%, вміст сторонніх домішок не більше 8% (SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3);
- 4) магномаса не повинна містити домішок, що погіршують органолептичні показники води.

Зв'язування агресивної вуглекислоти магномасою відбувається в основному за рахунок реакції CO_2 з MgO менше ніж $\frac{1}{4} CO_2$ реагує з $CaCO_3$.



При зв'язуванні 1 мг агресивної вуглекислоти карбонатна твердість підвищується на 0,027-0,03мг-екв/л. Швидкість фільтрування через магномасу не слід приймати більш 50м/ч. Погано – при низькій температурі (менше 3°C). Рекомендується встановлювати на лініях гарячого водопостачання. При питному водопостачанні – відбирати проби води на санітарно-бактеріологічний аналіз.

Питання для самоконтролю

1. Для чого виконується стабілізаційна обробка?
2. які реагенти застосовують для стабілізаційної обробки води?

3. Як обробляти воду сірчаною кислотою?
4. Які процеси відбуваються при фосфатній обробці?
5. Які вимоги ставляться до магномаси?

Тема 6. Причини погіршення роботи оборотних систем водопостачання.

1. Агресивні властивості води.
2. Причини недолику вуглекислоти в оборотній воді.
3. Фактори, що впливають на лужність оборотної води й інтенсивність карбонатних відкладень.
4. Застосування поліфосфатів для боротьби з корозією і заростанням водопровідних труб.
5. Застосування силікату натрію для боротьби з корозією труб.

1. Агресивні властивості води характеризуються двома величинами: карбонатною ємністю води, рівної кількості карбонату кальцію, що розчиняється в одиниці об'єму даної води при переході до рівноважного стану і інтенсивністю карбонатної агресії, обумовленої швидкістю процесу розчинення карбонату кальцію в початковий момент контакту його з агресивною водою. Обидві характеристики мають велике значення.

Якщо тривалість контакту агресивної води з карбонатом кальцію в системі достатня для встановлення карбонатної рівноваги, це визначається карбонатною ємністю води. Якщо ж тривалість контакту мала – визначальним стає інша характеристика агресивних властивостей води – інтенсивність карбонатної агресії.

Можуть бути, природно, крім цих двох крайніх випадків проміжне положення, коли обидва фактори значимі й обоє повинні враховуватися.

Для прямоточних систем основною характеристикою агресивних властивостей води є інтенсивність карбонатної агресії, обумовленої індексом Ланжелє, оскільки тривалість перебування води в трубопроводах цих систем не перевищує звичайно декількох хвилин, а в теплообмінниках – декількох секунд.

У системах оборотного водопостачання вибір визначальної характеристики залежить від якості додаткової води:

- 1) система поповнюється твердою водою, схильної до утворення карбонатних відкладень, і, отже, здійснюється обробка води кислотою. Така вода

агресивна на ділянці системи від місця введення реагенту до градирні, де з води виділяється велика частина вуглекислоти. У цьому випадку для характеристики агресивних властивостей води, як і для прямоточних систем, служить індекс стабільності Ланжелє (тривалість перебування води на цій ділянці не перевищує декількох хвилин).

- 2) Система поповнюється м'якою річковою водою, не схильною до утворення карбонатних відкладень і такою, що не має агресивних властивостей навіть після аерації в градирні. Визначальна характеристика агресивності в цьому випадку – карбонатна ємність води, тому що води агресивна у всій системі, де період її перебування, як правило, достатній для встановлення вуглекислотної рівноваги.

Але треба відзначити, що в житті ми маємо справу частіше з водою неагресивною, а схильною до відкладення карбонату кальцію, тобто випадок, коли вміст вуглекислоти в оборотній воді менше рівноважного і у системі відбувається розпад бікарбонатів і утворення карбонатних відкладень.

2. Недолік вуглекислоти в оборотній воді обумовлюється наступними причинами: втратою вуглекислоти з оборотної води при аерації в градирні, нагріванням води в системі і підвищенням концентрації HCO_3^- в оборотній воді внаслідок її часткового випарювання.

Аналогічно тому, як при наявності у воді надлишкової вуглекислоти ми характеризували її агресивні властивості інтенсивністю карбонатної агресії і карбонатною ємністю води, осадотворюючі властивості води при недоліку вуглекислоти варто також характеризувати з двох різних сторін. Одна з характеристик дає уявлення про тенденцію до виділення з розчину карбонату кальцію в зв'язку з порушенням вуглекислотної рівноваги і визначається найкраще величиною індексу рушійної сили DFI (Driving-force-index)

$$DFI = \frac{[Ca^{2+}][HCO_3^-]}{[Ca^{2+}]_{eq}[HCO_3^-]_{eq}} \times 24 \times 10^8$$

Інша характеристика, що ми називаємо глибиною розпаду визначається величиною миттєвого пересичення води карбонатом кальцію ME (Momentary excess) по Даю.

$$ME = \frac{\tilde{N}\hat{a}^{2+} + \tilde{N}\hat{I}_3^{2-}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\tilde{N}\hat{a}^{2+} + \tilde{N}\hat{I}_3^{2-}}{2}\right)^2 - (\tilde{N}\hat{a}^{2+} + \tilde{N}\hat{I}_3^{2-}) + \ddot{A}D_{\tilde{N}\hat{a}\tilde{N}\hat{I}_3} \times 10^{10}}$$

Слід зазначити, що величина ME достатньо добре характеризує рушійну силу процесу осадження карбонату кальцію лише в тому випадку, якщо концентрація Ca^{2+} і CO_3^{2-} , виражені в еквівалентних одиницях, близькі між собою. У протилежному випадку користуємося величиною DFI, що є більш точною мірою тенденції води до осадження карбонату кальцію. Індекс Ланжелє в цьому випадку менш точний через свою логарифмічну природу.

Величина DFI, що характеризує тенденцію до осадження карбонату кальцію, а тим самим у визначній мірі й інтенсивність цього процесу при даному пересиченні, має велике практичне значення, особливо для систем прямого водопостачання, де внаслідок малої тривалості перебування води в системі процес утворення карбонатних відкладень визначається саме цією величиною.

Що ж стосується систем оборотного водопостачання, де період перебування води набагато більше і процес утворення карбонатних відкладень встигає відбутися досить повно, то для них визначальною характеристикою є глибина розпаду бікарбонату кальцію.

Концентрація добре розчинних солей в оборотній воді зростає з моменту пуску системи унаслідок випару частини оборотної води на градирні. По цій концентрації ми визначаємо коефіцієнт концентрування солей (коефіцієнт упарювання K_y). Що ж стосується бікарбонату кальцію, то його концентрація в оборотній воді при відсутності спеціальної її обробки зростає, як правило, значно повільніше або взагалі не зростає, тому що концентрація цієї солі змінюється під впливом двох суперечливих факторів: часткового випаровування оборотної води, що викликає підвищення концентрації цієї солі, і розпаду бікарбонату кальцію з утворенням осаду CaCO_3 , що приводить до зменшення цієї концентрації.

Різниця між концентрацією бікарбонатів, що була б при відсутності розпаду їх у системі, і дійсною концентрацією називається глибиною розпаду бікарбонатів.

Гранична глибина розпаду при сталому режимі:

$$h = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3} L_{\text{доод}} - L_{\text{об}} .$$

При відсутності розпаду концентрація бікарбонатів в оборотній воді дорівнює добутку їх концентрації в додатковій воді на коефіцієнт упарювання

$$[\text{HCO}_3^-]_{\text{об.}} = K_y [\text{HCO}_3^-]_{\text{доод.}}$$

При сталому режимі, коли лужність оборотної води не змінюється в часі, кількість бікарбонатів, що розпадаються в системі оборотного водопостачання дорівнює, г:

$$x = \frac{Q}{100} \Delta\tau \cdot E ,$$

$$x = [(P_1 + P_2 + P_3)L_{\text{доод.}} - (P_2 + P_3)L_{\text{об.}}]$$

де $P_1 + P_2 + P_3 = P$ – підпиток;

$P_2 + P_3$ – знесення з охолодника і продувка;

$\Delta\tau$ - досліджуваний період часу, год;

$L_{\text{доод.}}$ і $L_{\text{об.}}$ - лужність води додаткової і оборотної, мг-екв/л;

E – еквівалент $\text{CaCO}_3 = 50$ г/г-екв.

Можна перерахувати x на 1 м³ оборотної води або на 1 м² системи, що дає товщину карбонатних відкладень на одиницю поверхні системи в одиницю часу (рік, місяць).

3. Як впливають різні фактори на лужність оборотної води й інтенсивність карбонатних відкладень?:

1) з підвищенням температури оборотної води інтенсивність карбонатних відкладень у системі x і глибина розпаду бікарбонатів h різко зростають!

2) на x і h впливає також зміна концентрації вуглекислоти. Її добавка приводить до зменшення відкладень і збільшенню $L_{\text{об.}}$

3) водяний режим P_1, P_2, P_3 . K_y бікарбонатів звичайно значно менше K_y солей, які не випадають в осад. При інтенсивному процесі розпаду бікарбонату

$$K_y \text{ навіть } < 1 \quad L_{об.} < L_{дод.}$$

При експлуатації систем оборотного водопостачання найчастіше намагаються досягти зменшення інтенсивності карбонатних відкладень шляхом збільшення кількості води, що додається в систему, і відповідно збільшення продувки, керуючись при цьому поширеною думкою, що чим більше «свіжої» води додається в систему, тим менше в ній буде карбонатних відкладень. Неправильно! При 20-% продувці, $L_{дод.}$ -5,9мг-екв/л, $L_{об.}$ -3,8мг-екв/л і $Q=800\text{м}^3/\text{год}$ інтенсивність карбонатних відкладень досягає 75кг/год, а при необхідній P_3 - 20кг/год, що в 4 рази менше. Крім цього, необхідно не забувати, що інтенсивні відкладення карбонату кальцію по тракту руху води на стінках трубопроводів приводять до погіршення теплопередачі і до різкого погіршення теплового режиму системи оборотного водопостачання.

Необхідно скоротити кількість додаткової води до мінімуму при $L_{об.} < L_{дод.}$. При $L_{об.} > L_{дод.}$, що спостерігаються, як правило, при обробці води, інтенсивність карбонатних відкладень у системі зменшується і може бути зведена до нуля при збільшенні витрати додаткової води до визначених меж.

4. Інгібітори корозії. Дія полягає в гальмуванні катодного або анодного процесу корозії чи обох процесів одночасно. Уповільнення корозії відповідно до цього поділяються на анодні, катодні і змішані. Гексаметофосфат добре гідролізується до ортофосфату натрію. Цьому сприяє підвищення температури. Гексаметафосфат дисоціює з утворенням двох катіонів натрію і комплексного аніону $[\text{Na}_4(\text{PO}_4)_6]^{2-}$. При розчиненні $(\text{NaPO}_3)_6$ у природних водах (вміщуючих Ca^{2+} і Mg^{2+}) утворюються розчинні комплексні з'єднання, у яких атоми Na обмінюються на Ca^{2+} , Mg^{2+} і $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Na}_2[\text{Ca}_2(\text{PO}_3)_6]$, $\text{Na}_2[\text{Mg}_2(\text{PO}_3)_6]$, $\text{Na}_2[\text{Fe}_2(\text{PO}_3)_6]$. Якщо немає надлишку гексаметофосфату натрію, то відбувається утворення малорозчинних з'єднань - $\text{Ca}[\text{Ca}_2(\text{PO}_3)_6]$, які ущільнюють карбонатні відкладення, роблять їх міцними. Захисна метафосфатная плівка! У нових трубопроводах дають – спочатку 100мг/л $(\text{NaPO}_3)_6$ в розрахунку по P_2O_5 , а потім 5-10 мг/л і періодично обробляти 5-10мг/л. Запобігає карбонатним заростанням – утворюється адсорбційна плівка метафосфатних з'єднань на мікрочисталах CaCO_3 . Гексаметофосфат погано розчиняється.

За кордоном знайшли застосування метафосфати, що повільно розчиняються.

5. Для вод із рН-6-7 рекомендується застосування рідкого скла з модулем 2,4-2,8, для вод з рН – 7...8 з модулем 2,8-3,2. Доза від 7 до 30 мг/л. Після формування захисної плівки переходять на дозу 3-4 мл по SiO₂. Концентрація рідкого скла мусить бути менше 3% по SiO₂.

Питання для повторювання

1. В чому проявляються агресивні властивості води?
2. Які причини недоліку вуглекислоти в оборотній воді?
3. Які фактори впливають на лужність оборотної води та інтенсивність карбонатних відкладень?
4. Для чого застосовуються поліфосфати?

Тема 7. Реагентні методи пом'якшення води.

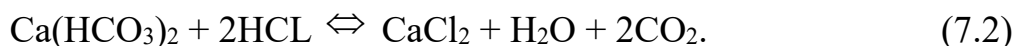
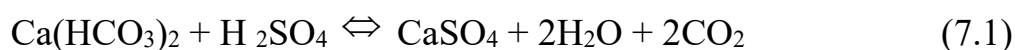
1. Існуючі методи запобігання сольових відкладень.
2. Застосування реагентів для зниження рН.
3. Фосфатування води.
4. Методи запобігання корозійного зносу металів.

1. У теперішній час розроблено велику кількість методів проти накипної 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 якихось реагентів) та безреагентні (фізичні).

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

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

2. Підкислення води є одним з традиційних методів і розповсюджених методів обробки води. У виробництві, для цієї мети, звичайно використовують сірчану і соляну кислоту. Підкислення заключається у зниженні лужності води шляхом переводу бікарбонатів у добре розчинні солі не карбонатної жорсткості згідно реакціями:

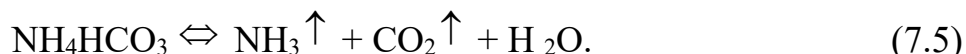


Як видно з реакції, при підкисленні води одночасно зі зниженням у ній бікарбонатів кальцію діється видалення вільної вуглекислоти, яка у свою чергу забезпечує стабільність остаточної води бікарбонатів. Перевагами кислотної обробки води є можливість її застосування для великих діапазонів карбонатної жорсткості води. Підкислення використовують при будь-яких величинах лужності, загальної жорсткості природних вод та при будь-яких коефіцієнтах концентрування вод в системах.

До цієї ж групи методів підкислення відноситься обробка оборотної води амонійними солями сильних кислот, які вступають з гідрокарбонатом в обмінну реакцію:



На градирні йде реакція розкладання бікарбонату амонію:



В результаті цього процесу відбувається зрушення реакції вправо, що приводить до перетворення солей тимчасової жорсткості у постійну..

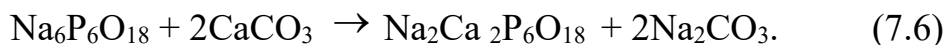
При обробці оборотної води солями амонію зменшується агресивність води тому, що розчини солей амонію мають слаболужну реакцію, окрім того, до точності дозування пред'являються менш високі вимоги. Однак з одним з головних недоліків вказаного методу обробки охолоджуючої води є збільшення у продув очних водах, що скидаються у водойми концентрації іонів амонію, вміст яких у воді природних джерел строго обмежено.

3. Одним із засобів боротьби з відкладенням карбонату кальцію у воді, що застосовуються для охолодження теплообмінної апаратури, зокрема конденсаторів турбін, є фосфатування води.

Фосфатування. Метод фосфатування рекомендується застосовувати для обробки вод в системах оборотного водопостачання з порівняно невисокою лужністю (до 5,5 мг-екв/л). При фосфатуванні охолоджуючої води додають у невеликих кількостях різні фосфати, що гальмують кристалізацію карбонату кальцію і стабілізують перенасичені розчини $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Важливою особливістю методу фосфатування є те, що фосфати не володіють агресивними властивостями і до точності їх дозування не пред'являють високих вимог.

В якості реагентів фосфатної обробки застосовуються головним чином гексаметафосфат натрію ($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$) і триполіфосфат натрію $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, іноді тринатрійфосфат $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ та суперфосфат $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, в яких зміст P_2O_5 складає 50-52% [5,38,87,88].

У присутності невеличких концентрацій поліфосфатів на поверхні мікрокристалів карбонату кальцію (CaCO_3) утворюється адсорбційно-хімічне сполучення, яке попереджує випадіння з розчину малорозчинного карбонату кальцію:



Перевагою фосфатування є простота та компактність установок. Фосфатна обробка охолоджуючої води у системах оборотного водопостачання отримала найбільше роз поширення завдяки надійності та високій стабілізуючій ефективності цього методу.

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



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

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

Фосфатно-кислотна обробка – застосовується при підвищеній лужності додаткової води (більше 5 мг-екв/л) з метою зменшення продукції оборотних систем та зниження корозії охолоджуючої апаратури. Зниження продукції досягається переводом частин карбонатних солей у розчинні сполучення шляхом підкислення; зниження агресивної активності досягається зменшенням доз кислот та захисними антикорозійними властивостями фосфатів. Цей метод застосовується на коксохімічних підприємствах.

4. При створенні повністю замкнених систем оборотного водопостачання важливе значення поряд із запобіганням щільних сольових відкладень має запобігання корозійного зносу устаткування трубопроводів. Зокрема це відноситься до газо очисток великовантажних доменних печей, що працюють з підвищеним тиском газу.

Відомо, що у розчинах які містять вугільну кислоту, вуглеводисті сталі піддаються значним корозійним руйнуванням.

Величина швидкості корозії в різних системах, що містять розчинений вуглекислий газ, різна, крім того, недостатньо вивчений механізм протікання цього процесу. Усе це не дозволяє прогнозувати корозійну стійкість

устаткування в умовах роботи цілком замкнених систем оборотного водопостачання.

У водних розчинах вуглекислотних сполучень існує динамічна рівновага між різними формами вуглевої кислоти:



З цього рівняння видно, що для підтримки певної концентрації бікарбонатних іонів потребується, щоб у розчині знаходилась відповідна кількість вільної вуглекислоти. Та вільна вуглекислота, яка необхідна для підтримки у розчині бікарбонатів, зветься рівноважною. Надлишкова вуглекислота агресивна по відношенню до будівельних матеріалів та металу.

Для захисту систем оборотного водопостачання від корозії використовуються неорганічні інгібітори. В якості неорганічних інгібіторів застосовуються в основному хромати, біхромати, фосфати (в основному гексаметафосфат і триполіфосфат натрію), силікати, а також нітрати. Дія цих інгібіторів заснована на утворенні захисних плівок на поверхні металу і гальмуванні анодного або катодного електрохімічних процесів.

Становлять інтерес роботи закордонних фахівців, у яких запропоновані способи захисту від корозії за допомогою інгібіторів на основі силікатів.

Питання для самоконтролю

1. Які методи застосовують для запобігання сольових відкладень?
2. Які реагенти застосовують при реагентній обробці?
3. Що таке рекарбонізація?
4. Які реагенти застосовують під час фосфатної обробки води?
5. Що таке рівноважна та надлишкова вуглекислота?

Тема 8. Пом'якшення води катіонами

1. Показники якості води.
2. Вапняно-содово-катіонітові установки.
3. Натрій-катіонітові установки

1. Технологія очищення води в значній мірі визначається фізико-хімічними і біологічними показниками її якості й необхідним ступенем його поліпшення.

Якісна й кількісна характеристики домішок, присутніх у воді, визначають можливість її використання для господарсько-питних і виробничих потреб, а також оптимальні методи її кондиціонування.

Основними *фізичними показниками* якості води є: температура, мутність (вміст зважених речовин), кольоровість, сухий і прожарений залишок.

Температура води (t°) для виробничих потреб визначається завданням на проектування і залежить від характеру технологічного процесу.

Мутність (М) характеризує вміст високодисперсних зважених і колоїдних домішок. Вміст зважених речовин (ЗР) характеризує кількість домішок мінерального та органічного походження, що мають розмір більше 100 нм. Припустимі величини мутності і вміст ЗР залежать від вимог споживача технічної води. Наприклад, вода, використовувана для охолодження агрегатів або охолодження продукції через стінку теплообмінного апарата, не повинна містити більше 20-50 мг/л ЗР.

Кольоровість води (Ц) обумовлена в основному наявністю в ній колоїдно розчинених органічних сполук, зокрема гумусових речовин, що надають воді жовтий і бурий відтінки. Для більшості виробничих процесів кольоровість води не нормується. У деяких випадках вміст органічних домішок, що спричиняють кольоровість, обмежується. Зокрема, при промиванні пряжі повинна використовуватися вода з кольоровістю, що не перевищує 20 град. Кольоровість води, що піддається зм'якшенню й знесоленню на іонітових фільтрах, не повинна перевищувати 30 град. Ще більш жорсткі вимоги по цьому показнику пред'являються до води, що використовується для підживлення парових котлів високого тиску.

Сухий залишок (СЗ), що утворюється при просушуванні осаду проби профільтрованої води при 105° С, і прожарений сухий залишок (ПСЗ), що утворюється при прожарюванні сухого залишку, орієнтовно характеризують вміст розчинених мінеральних речовин.

Сухий залишок (СЗ) орієнтовно можна визначити по формулі

$$СЗ = \Sigma[Me^{m+}] + \Sigma[A_c^{p-}] + 0,5 [HCO_3^-] + 1,4 [Fe] + [SiO_3^{2-}] + C_{орг},$$

де $[Me^{m+}]$ – концентрація кожного катіона (за винятком Fe), мг/л;

$[A_c^{p-}]$ – концентрація кожного з аніонів за винятком (HCO_3^- , SiO_3^{2-}), мг/л;

$[HCO_3^-]$ – концентрація бікарбонат-іонів, мг/л;

$[SiO_3^{2-}]$ – концентрація кремнекислоти у формі SiO_2 , мг/л;

$[Fe]$ – сумарна концентрація іонів заліза, мг/л;

$C_{орг}$ – вміст органічних домішок, мг/л.

ПСЗ визначається з виразу

$$ПСЗ = \Sigma[Me^{m+}] + \Sigma[A_c^{p-}] + 0,13[HCO_3^-] + 1,4 [Fe] + [SiO_3^{2-}].$$

Величини Z і ПСЗ, що характеризують загальний солевміст P , нормуються для води оборотних систем водопостачання (не більше 2000 мг/л), живильної та котлової води парогенераторів, води, використовуваної для виготовлення іонообмінних матеріалів, і т.п.

До основних *хімічних показників* якості води відносяться: вміст катіонів (NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+}), аніонів (Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , HS^- , S^{2-} , $HSiO_3^-$, SiO_3^{2-} , NO_2^- , NO_3^- , F^-), розчиненого кисню O_2 , сірководню H_2S , вугільної кислоти H_2CO_3 , кремнієвої кислоти H_2SiO_3 , окисність, лужність, твердість, активна реакція рН.

Підвищений вміст катіонів лужних металів характерний для солонуватих і солоних вод. Видалення Na^+ і K^+ із природних вод застосовується при підготовці води для прямооточних парогенераторів докритичного й закритичного тиску, промивання деяких деталей радіотехнічних і електронних приладів і деяких інших технологічних процесів.

Наявність у воді катіонів Mg^{2+} і Ca^{2+} надає їй твердість і створює умови для відкладення їхніх солей на внутрішній поверхні трубопроводів і апаратів. Для дуже багатьох виробничих процесів вміст солей твердості у використовуваній воді нормується. М'яка вода використовується при виготовленні штучних волокон, кіноплівки, синтетичного каучуку, пластмас і ін. Особливо жорстко регламентується вміст солей твердості в живильній воді парогенераторів. Так, для парогенераторів з тиском від 2,4 до 4,0 Мпа твердість

живильної води не повинна перевищувати 0,003-0,005 мг-екв/л, для прямоточних парогенераторів - відповідно не більше 0,0005 мг-екв/л.

Наявність у воді сполук заліза й марганцю навіть у невеликих кількостях (>0,3 мг/л) надає воді неприємний смак, колір і може виявитися причиною обростання апаратури і трубопроводів колоніями залізистих та марганцевих бактерій. Тому води з підвищеним вмістом заліза і марганцю піддають знезалізненню і деманганації. Зокрема, вода, використовувана при фарбуванні тканин, не повинна містити залізо в кількості, що перевищує 0,1 мг/л, і марганцю більше 0,05 мг/л.

Для багатьох виробничих процесів вміст у воді аніонів Cl^- і SO_4^{2-} зазвичай не регламентується.

Практично повне видалення аніонів з води необхідне при використанні її в якості живильної для барабанних і прямоточних котлів з докритичним і закритичним тиском.

У воді, використовуваній для охолодження устаткування і продукції в теплообмінних апаратах, вміст хлоридів залежно від температури стінок апаратів і устаткування не повинен перевищувати 350-150 мг/л, вміст сульфатів - не більше 500-250 мг/л.

Вміст сполук кремнієвої кислоти H_2SiO_3 регламентується для живильної води парогенераторів тиском більше 4 МПа і для промивання деяких деталей радіоелектронного виробництва.

Окисність води обумовлюється присутністю в ній органічних речовин і деяких легкоокиснюваних неорганічних домішок (сульфітів, сірководню, двовалентного заліза і ін.). Домішки органічного походження можуть бути причиною інтенсивного біологічного обростання охолоджувальних градирень систем оборотного водопостачання. По рекомендаціях [1] у цьому випадку перманганатная окисненість не повинна перевищувати 20 мг/л.

Показник концентрації водневих іонів рН обумовлює інтенсивність протікання фізико-хімічних реакцій при обробці води і дозволяє судити про характер її впливу на стінки трубопроводів і апаратури.

Згаданими нормами [1] для більшості виробничих процесів рекомендується рН технічної води підтримувати в межах від 7,2 до 8,5.

Лужність води, зумовлена вмістом аніонів слабких кислот (бікарбонатів, карбонатів, фосфатів, гуматів) і гідратів OH^- , є важливим нормованим для ряду технологічних процесів показником. Величина лужності впливає також на процеси поліпшення якості води при коагулюванні, вапнуванні та ін.

До біологічних забруднень, що впливають на якість води, використовуваної для технічного водопостачання, відносяться мікроорганізми, водорості, водяні рослини та тварини. Деякі з них є причиною обростання внутрішніх поверхонь трубопроводів і апаратів, інші своєю присутністю у воді збільшують загальний вміст механічних домішок. Тому іноді нормуються швидкість розвитку біологічних обростань, вміст біогенних елементів (Р і N), біохімічна потреба в кисні і т.п.

Технологічні показники якості води дозволяють оцінити ефективність використання основних методів поліпшення її якості. До них, для води господарсько-питного призначення, відносяться показники: осаджуваність суспензії, здатність до коагулювання, знебарвлення, фільтрування, хлорування та стабільність води. Ці показники й методика їх визначення поширюються й на воду, використовувану для технічних потреб підприємств.

Докладні відомості про методики виконання технологічних аналізів містяться в спеціальній літературі [3 – 5].

2. Вапняні або вапняно-содові установки, що працюють за схемою відстоювання – фільтрування – Na -катіонування (або без нього), є найбільш універсальними. Вони знижують лужність вихідної води $L_{\text{вв}}$ до 0,7–1,0 мг-еквл, твердість T – до 0,01–0,02 мг-ев/л і трохи знижують сухий залишок води; дозволяють обробляти воду майже будь-якої якості й забезпечують високу

надійність роботи пристроїв. Основний недолік – громіздкість споруд, наприклад, сатуратора і прояснювачів.

Вапняно-содово-катіонітові установки, зазвичай, застосовуються при високій мутності (більше 150 мг/л) і кольоровості (більше 150 градусів) вихідної води, значному вмісті органічних і мінеральних колоїдів, що викликає необхідність ведення коагуляції більше 3–4 місяців у році, високій твердості ($T_o > 6$ мг-екв/л) і величині сухого залишку більше 1000 мг/л.

Реагентне зм'якшення води здійснюється як з підігрівом, так і без підігріву. Найбільш типові схеми вапняно-содово-катіонітових установок (або реагентно-катіонітових) показані на рис. 2.1.

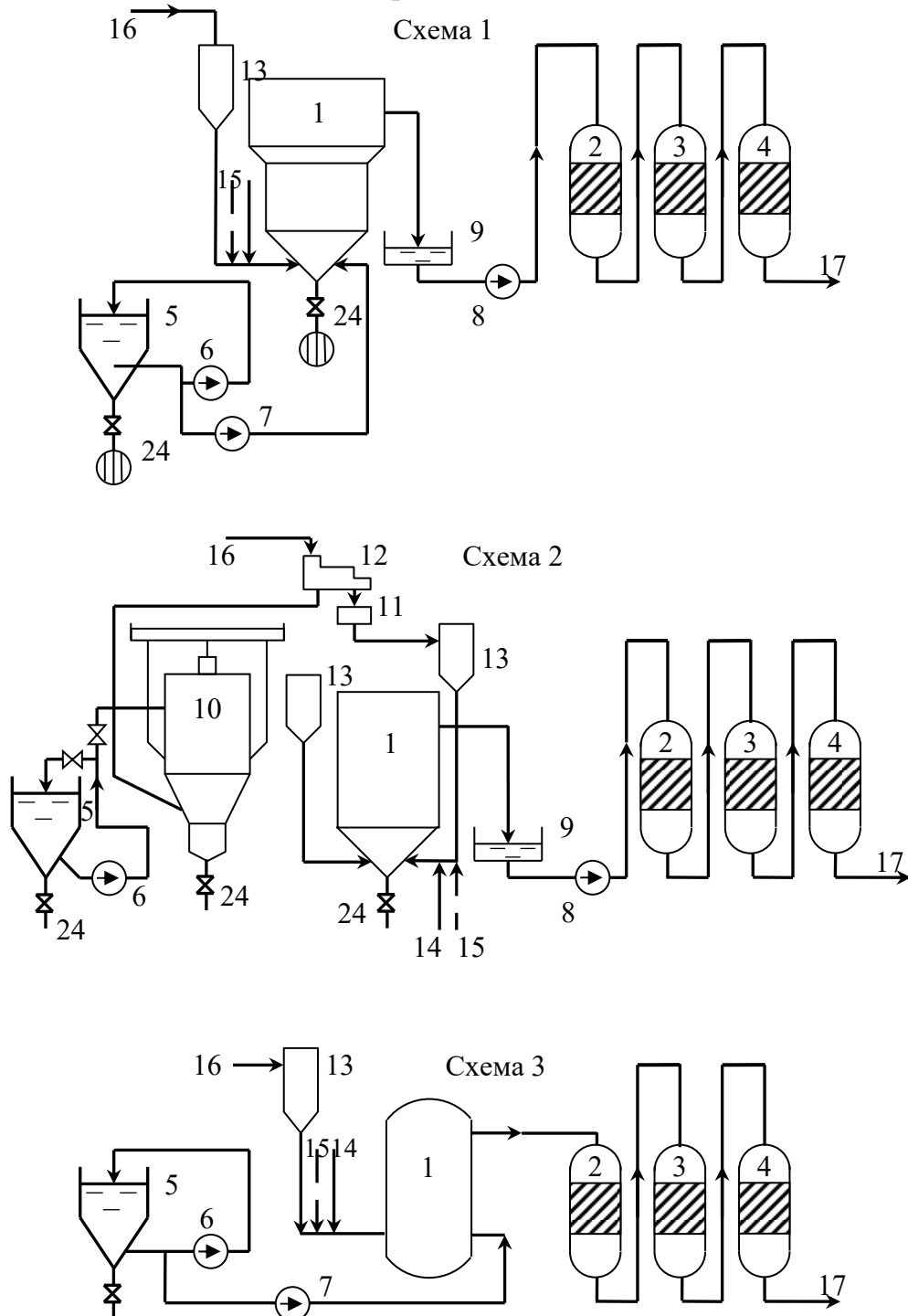


схема 1 - без застосування сатуратора; схема 2 - з застосуванням сатуратора; схема 3 - з напірним прояснювачем; 1 – прояснювачі зі зваженим осадом; 2 - напірні фільтри; 3 і 4 - катіонітові фільтри I і II ступенів; 5 - гідравлічна мішалка вапна; 6 - насос для перемішування вапняного молока; 7 - насос-дозатор; 8 - насос для подачі води на катіонітові фільтри; 9 - проміжний бак; 10 - сатуратор; 11 - підігрівач; 12 - водорозподільник; 13 – повітровідділювачі (варіанти); 14 - подача коагулянту; 15 - подача содового розчину (варіант); 16 - подача на зм'якшення вихідної води; 17 - вихід зм'якшеної води; 18 - гідроелеватор; 19 - ємність для контактної маси; 20 - лійка для завантаження ємності контактною масою; 21 - вихровий реактор; 22 - уведення реагентів; 23 - випуск відпрацьованої контактної маси; 24 - спорожнювання споруд.

Рисунок 8.1 - Схеми вапняно-катіонітового зм'якшення води

У всіх схемах необхідно досить повне видалення повітря з води, що надходить в прояснювач. Натрій-катіонована вода має підвищену агресивність, вапняно-катіонована вода із $pH > 8$ помітно менш агресивна. При декарбонізації загальна твердість вихідної води не обмежується. Залишкова твердість дорівнює некарбонатній твердості плюс 0,4–0,8 мг-екв/л; лужність може бути знижена до 0,8–1,2 мг-екв/л; температура оброблюваної води може бути будь-якою. При содово-вапняному способі загальна твердість вихідної води також не обмежується. Межа можливого зниження загальної твердості T_z : без підігріву води - до 0,5–1,0 мг-екв/л, з підігрівом (до 80–90° C) - до 0,2–0,4 мг-екв/л; лужності - до 0,8–1,2 мг-екв/л.

Схеми вапняно-содового зм'якшення без натрій-катіонування застосовуються для приготування води господарсько-питного призначення з високою початковою мутністю й кольоровістю [3 і 4].

Застосування різних варіантів реагентних методів зм'якшення води визначається якістю вихідної води й необхідним ефектом зм'якшення.

Декарбонізація води може застосовуватися в тих випадках, коли потрібне одночасне зниження її твердості й лужності. Причому основним завданням іноді є усунення лужності води. При вапнуванні необхідно стежити за дозами вапна, оскільки надлишок його (більше 0,5 мг-екв/л) може привести до зростання твердості оброблюваної води.

При вапняно-содовому методі також не рекомендується застосовувати надлишок вапна, тому що це може привести до перевитрати соди і збільшення гідратної лужності води.

Вибір сполучення реагентного методу зм'якшення води і Na-катіонування в кожному конкретному випадку повинний обґрунтовуватися техніко-економічними розрахунками можливих варіантних схем зм'якшення води. Часто вапнування в сполученні з наступним Na-катіонуванням дає можливість одержувати дешевшу глибоко зм'якшену воду з невеликою лужністю.

Застосування прояснювальних фільтрів напірних або ненапірних (рис.2.2) обумовлюється конкретними умовами проектування. Застосування другого ступеня Na-катіонітових фільтрів також визначається техніко-економічною доцільністю.

Схема 1 застосовується для установок з $Q > 100$ м³/год або при витраті вапна більше 0,5 т/доб (по СаО). У схемі відсутній сатуратор. Дозування вапна здійснюється подачею вапняного молока.

Схему 2 рекомендується використовувати для установок із продуктивністю до 100 м³/год або витраті вапна менше 0,25 т/доб (по СаО). У цьому випадку застосовується сатуратор, за допомогою якого задовільно вирішується дозування вапняного розчину.

Схема 3 рекомендується для невеликих установок. У ній застосований прояснювач напірного типу. Перевагою цього варіанта є відсутність розриву струменя та усунення тим самим другої групи насосів.

3. Натрій-катіонітові установки

Натрій-катіонітовий метод застосовується для зм'якшення води підземних і поверхневих джерел з вмістом зважених речовин не більше 5-8 мг/л і кольоровістю до 30 град. При одноступінчастому Na-катіонуванні твердість води знижується до 0,03-0,05 мг-екв/л; при двоступінчастому - до 0,01 мг-екв/л. При цьому рН і лужність залишаються без змін; солевміст збільшується.

Застосовність Na-катіонування для готування котлової води обмежується розміром продувки по лугах, величиною лужності вихідної води й значенням сухого залишку котлової води S_k і вихідної води S_v :

$$T_k \leq \frac{P_n \cdot \mu_k}{(100 + P_n) \cdot a_x}; S_v \geq 200T_k,$$

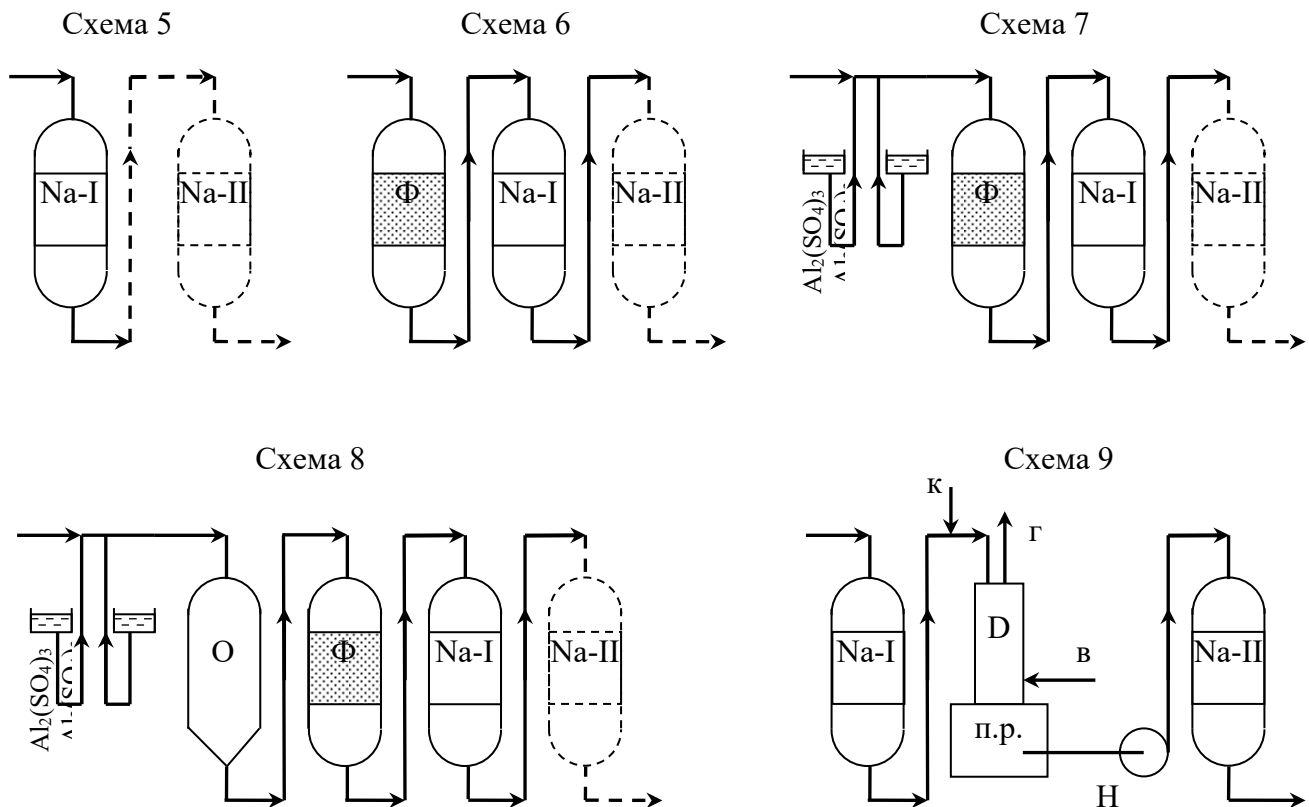
де T_k – карбонатна твердість, мг-екв/л;

P_n – розрахункова величина продувки котлів по парі, %;

L_k – лужність, вихідної води, мг-екв/л;

a_x – добавка хімічно обробленої води (для компенсації втрати пари, конденсату), %;

S_8 – сухий залишок вихідної води.



Na_I і Na_{II} – натрій-катионітові, фільтри I і II ступенів; Ф – механічний фільтр; О – напірний прояснювач; Д – дегазатор; 2 - видалення газу; в - подача повітря; ПР - проміжний резервуар; Н - насос

Рисунок 8.2 – Схеми натрій-катионітових установок

Схема 5 застосовується для неглибокого зм'якшення води (Na_I) і глибокого зм'якшення (Na_I+Na_{II}).

Схема 6 допускає обробку поверхневих вод, що містять зважені речовини до 100 мг/л, а також артезіанських вод, забруднених залізом (>5 мг/л).

Зважені речовини й сполуки заліза затримуються на фільтрах Ф. Схему доцільно застосовувати при постійній або періодичній (у паводки) наявності у воді грубодисперсних зважених речовин.

Схема 7 з попередньою коагуляцією вихідної води $[Al_2(SO_4)_3]$ і, якщо є потреба, підлужуванням її (NaOH). Схема дозволяє видаляти з води дрібнодисперсні й колоїдні домішки.

Напірні механічні фільтри, що працюють на лужній воді (після реагентного зм'якшення), повинні бути завантажені антрацитом або мармуровою крихтою.

При продуктивності станції більше $200 \text{ м}^3/\text{год}$ рекомендується застосовувати дво- і трипоточні фільтри.

Схема 8 може застосовуватись для вихідної води з будь-яким вмістом зважених і колоїдних речовин. Основне грязьове навантаження в цьому випадку лягає на напірні прояснювачі зі зваженим осадом.

Схема 9 дозволяє здійснювати Na-катіонування зі зниженням лужності води шляхом підкислення її перед декарбонізатором. У декарбонізаторі віддаляється CO_2 . Застосовується для обробки води з підвищеною карбонатною твердістю. При необхідності видалення кисню й вуглекислого газу використовуються вакуумні дегазатори.

Водень-катіонітові установки

Схема 10

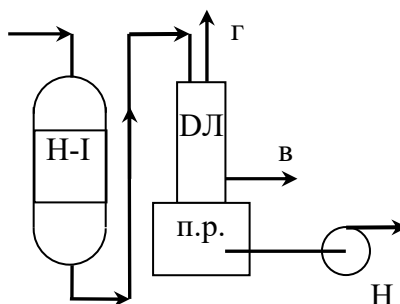
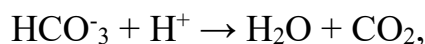


Рисунок 8.3 - Схема водень-катіонітової установки: Н-І -перший ступінь установки, інші позначення див. рис. 6.2

Схема 10 самостійно застосовується тільки при наявності у воді бікарбонатної твердості. При цьому лужний аніон HCO_3^- руйнується:



що спричиняє зниження лужності і солевмісту (сухого залишку). Кислотний показник рН залишається без зміни.

Питання для повторювання

1. Які головні показники якості води вам відомі?
2. З яких елементів складаються вапняно-содово-катіонітові установки?
3. З яких елементів складаються натрій-катіонітові установки?

Тема 9. Технологічні схеми іонного обміну.

1. Водень-катіонітові установки.
2. Водень-натрій катіонітові установки.
3. Амоній-катіонітові установки .
4. Вибір схеми зм'якшення

1. Водень-катіонітова установка представлена на рис. 9.1.

Схема 10

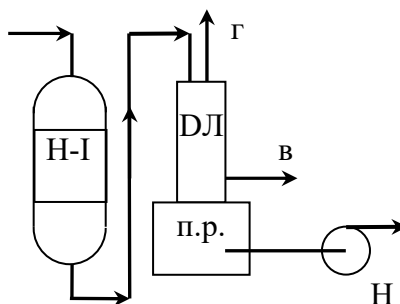
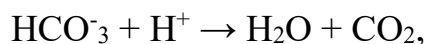


Рисунок 9.1 - Схема водень-катіонітової установки: Н-І -перший ступінь установки, інші позначення див. рис. 2.2

Схема 10 самостійно застосовується тільки при наявності у воді бікарбонатної твердості. При цьому лужний аніон HCO_3^- руйнується:



що спричиняє зниження лужності і солемісту (сухого залишку). Кислотний показник рН залишається без зміни.

2. Водень-натрій-катионітові установки

Схема 11 застосовується для послідовного Н-Na-катионування. Частина зм'якшуваної води пропускається через Н-катионітові фільтри. Надалі, після змішання з рештою потоку, вся вода проходить через дегазатор і Na-катионітові фільтри. Схема застосовується для глибокого зм'якшення. При цьому знижуються лужність і солеміст води.

Рекомендується використовувати для зм'якшення твердих вод з високим солемістом (більше 1000 мг/л) при $(\text{Tк-То}) < 0,5$ і при $(\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- + \text{NO}_3^-) < 7\text{мг-екв/л}$.

Межа зм'якшення до 0,1-0,03 мг-екв/л (при одному ступені Na-катионітового фільтра). Лужність знижується до 0,5-0,6 мг-екв/л. Послідовне Н-Na катионування доцільно застосовувати для зниження рН води, зм'якшеної реагентним методом, перед подачею її на Na-катионітові фільтри, щоб запобігти руйнуванню вугілля.

Схема 11

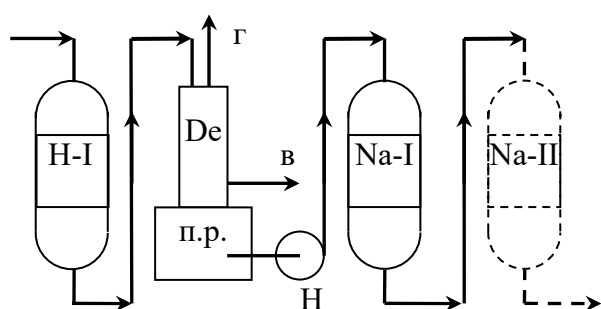


Схема 12

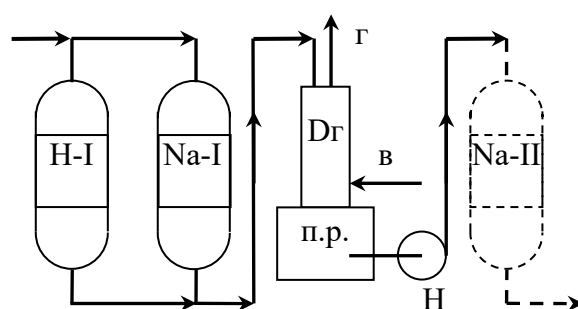


Схема 13

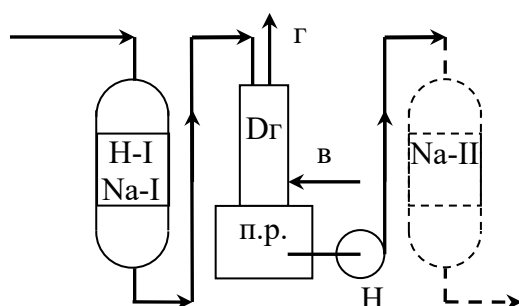
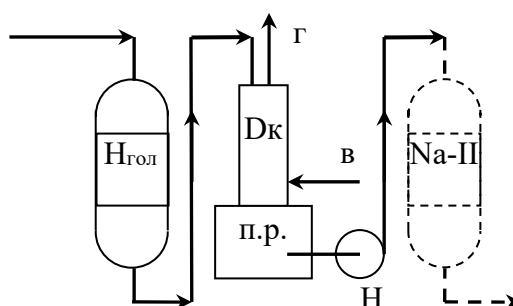


Схема 14



$H_{\text{гол}}$ - фільтр із «голодною» регенерацією, інші позначення див. рис. 2.2, 2.3

Рисунок 9.2 - Схеми водень-натрій катіонітових установок

Схема 12 використовується для паралельного H-Na-катіонування.

Зм'якшувана вода в певних пропорціях пропускається одночасно через H- і Na-катіонітові фільтри, після чого обидва потоки змішуються. Схема застосовується для глибокого зм'якшення. При цьому відбувається зниження лужності та солемісту. Схема використовується для зм'якшення твердих вод (до 15 мг-екв/л), слабомінералізованих вод при $(T_k: T_o) > 0,5$, при $(SO_4^{2-} + Cl^- + NO_3^-) < 7$ мг-екв/л, некарбонатної твердості T_n не більше 3,5 мг-екв/л і вмісті Na^+ – не більше 2 мг-екв/л. Глибина зм'якшення - до 0,1–0,03 мг-екв/л, зниження лужності - до 0,4–0,5 мг-екв/л. Послідовне та паралельне H-Na-катіонування із другим ступенем Na-катіонітових фільтрів дозволяють знизити T_o до 0,03 мг-екв/л і нижче.

Схема 13 застосовується для спільного Na-катіонування в тих випадках, коли у вихідній воді T_o не більше 6 мг-екв/л, вміст Na^+ не більше 1 мг-екв/л і сума аніонів сильних кислот не перевищує 3,5–5 мг-екв/л, і коли одержувана за цією схемою лужність зм'якшеної води ($J_{\text{ост}} = 1 - 1,3$ мг-екв/л) не викличе збільшення продукції парогенераторів понад установлені норми. При даній схемі відсутні кислі води. Межа зм'якшення: 0,1-0,3 мг-екв/л.

Схема 14 - H-катіонування з «голодною» регенерацією і Na-катіонування-застосовується для обробки води з підвищеною карбонатною твердістю (лужністю), із сольовмістом до 1500 мг/л після предочистки і при порівняно малому вмісті солей натрію при відшкодуванні будь-яких втрат пари й конденсату. Глибина зм'якшення до 0,1 мг-екв/л, зниження лужності до 0,7-1,5 мг-екв/л.

3. Амоній-катіонітові установки

Схема 15 знаходить застосування при обробці води для промислових котелень. Використання її виключає застосування кислот і утворення кислих

вод, що має місце при Н-катіонуванні. Введення у воду аміаку значно підвищує рН, вуглекислий газ CO_2 зв'язується з утворенням NH_4HCO_3 , що має буферну дію.

Схема 15

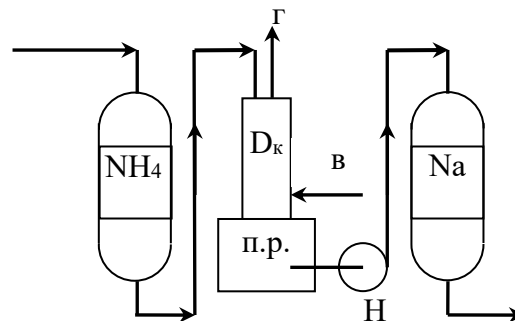


Рисунок 9.3 - Схема установки з амоній-катіонітовим фільтром (NH_4), (позначення див. рис.2.2)

Установки рекомендується застосовувати при невисокому вмісті солей твердості у вихідній воді. Межа зниження твердості - до 0,1 - 0,3 мг-екв/л. Лужність знижується приблизно на величину карбонатної твердості. Недолік: амоній-катіонована вода є потенційно кислою.

Установки з натрій і хлор-іонуванням

Схема 16 дозволяє знизити твердість води до 0,01 – 0,02 мг-екв/л, лужність – до 0,2–0,6 мг-екв/л. Катіоніт і аніоніт можуть бути завантажені в один фільтр. Схема використовується для зм'якшення води з вмістом Cl^- і SO_4^{2-} менше 200 мг/л, а також у тих випадках, коли бажано уникнути застосування кислоти для зниження лужності води.

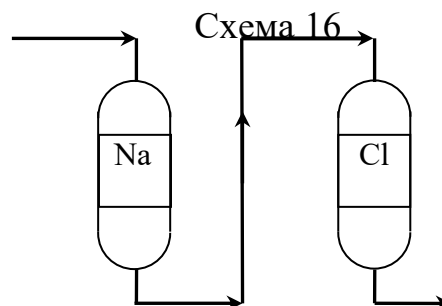


Рисунок 9.4 - Схема установки з натрій-хлор-іонуванням: Na і Cl - натрій-катіонітовий і хлор-аніонітовий фільтри

4. Вибір схеми зм'якшення

Вибір того або іншого методу зм'якшення обумовлений якістю вихідної води, необхідною глибиною зм'якшення і техніко-економічним розрахунком.

Натрій-катіонітовий або водень-натрій-катіонітовий метод застосовують для зм'якшення поверхневих і підземних вод з вмістом зважених речовин не більше 5...8 мг/л.

Згідно вихідним даним (див. табл. 1.1) і вимогам промислового об'єкта ($T_0 = 0,01$ мг-екв/л) доцільно прийняти метод зм'якшення натрій-катіонуванням [1]. Оскільки твердість вихідної води досить висока ($T_0 = 10$ мг-екв/л), а при одноступінчастому натрій-катіонуванні її можна знизити до 0,03...0,05 мг-екв/л, варто прийняти двоступінчасту схему зм'якшення.

Переваги двоступінчастої установки перед одноступінчастою:

- більш глибоке зм'якшення води;
- підвищення надійності роботи установки;
- зменшення витрати солі на регенерацію.

Відповідно до табл. 1.1 кількість зважених речовин становить 15,0 мг/л, тому потрібне попереднє очищення від зважених речовин на механічних фільтрах.

При розрахунку споруд необхідно враховувати витрату води на власні потреби установки: механічні фільтри - 3...10% (приймаємо 8%); двоступінчаста установка натрій-катіонування - 20...50%, а при використанні 50% відмивочної води для першого ступеня фільтрів - 10...12% (приймаємо 10%), для другого ступеня - 2...5% (приймаємо 2%).

Загальна витрата води на механічні прояснювальні фільтри, м³/г.

$$Q_{of} = 1,2 \cdot Q_o,$$

де Q_o – корисна витрата води на прояснювальні фільтри, м³/г.

Таким чином, $Q_{of} = 1,2 \cdot 180 = 216 \text{ м}^3 / \text{г}$

Питання для повторювання

1. З яких елементів складаються водень-катіонітові установки?
2. З яких елементів складаються водень-натрій катіонітові установки?

3. З яких елементів складаються амоній-катіонітові установки?
4. За якими параметрами здійснюється вибір схеми зм'якшення?

Тема 10. Опріснення і знесолення води

1. Доцільні межі застосування основних методів опріснення води.
2. Вибір методу знесолення води.
3. Технологічні схеми монообмінного знесолення.
4. Метод випарювання.

1. При опрісненні води солевміст повинен бути знижений до величини, що робить воду придатною для питних цілей ($P < 1000$ мг/л). Знесолення повинне забезпечувати більш повне видалення розчинених солей (до величини, установлені технологічними вимогами).

Дані про рекомендовані межі застосування різних методів опріснення і їхньої ефективності наведені в табл. 10.1.

Доцільні межі застосування основних методів опріснення води

Спосіб опріснення	Солевміст води, мг/л		Технологічна схема (апаратура)
	вихідної	опрісненої	
Дистиляція	більше 10 000	1–50	Багатоступінчасті установки адіабатного випару
Електродіаліз	2500-15000 ($T_o < 40$ мг-екв/л $K < 20$ град) $Fe_o < 0,5$ мг/л	500–1000	Електродіалізна установка, фільтри з активованим вугіллям
Іонний обмін	до 2000–000, ($M \leq 8$ мг/л, $K < 30^0$, перманганатна окисненість $O_2 < 7$ мг/л)	15–150	Н-катіонітові фільтри, дегазатор, аніонітові фільтри, бар'єрні Na -катіонітові фільтри
Гіперфільтрація	3000–3500	300–1000	Фільтропресні апарати
Заморожування	більше 5000	300–1000	

Для знесолення води застосовуються іонообмінні методи, багатоступінчаста дистиляція та електродіаліз у багатокамерних апаратах з іонітовим заповненням.

2. Вибір методу знесолення повинен ґрунтуватися на економічному порівнянні іонітового і випарного знесолення. Іонітове знесолення зазвичай переважніше інших методів при загальному солемісті менше 800- 1000 мг/л.

Часткове знесолення на одноступінчастих іонообмінних установках, що складаються з катіонітових фільтрів, завантажених середньо- або сильнокислотними катіонітом, і аніонітових фільтрів, завантажених слабоосновним аніонітом, дозволяє знизити загальний солеміст до 2-10 мг/л. При цьому на катіонітових фільтрах затримується більша частина катіонів, а на аніонітових фільтрах зі слабоосновним аніонітом - аніони сильних кислот.

II ступінь катіонітових і аніонітових фільтрів призначається для дознесолення води, причому аніонітові фільтри II ступеня завантажуються сильноосновним аніонітом, який при відсутності вуглекислоти, вилученої в дегазаторі, і аніонів сильних кислот здатний затримати аніони кремнієвої кислоти. Ще глибше знесолення ($P < 0,02-0,05$ мг/л) досягається на триступінчастих іонообмінних установках.

Застосування іонітових фільтрів змішаної дії в якості II ступеня при двоступінчастій схемі і III ступеня при триступінчастій схемі дозволяє одержати глибше знесолену воду. Однак, це пов'язано зі значною перевитратою реагентів.

Докладний опис конструкції, основ розрахунку й принципів експлуатації фільтрів змішаної дії наведені в гл. XIII [4] і п. 8.6 [8].

3. Нижче наведені основні технологічні схеми монообмінного знесолення води:

- а) $H_I - Д - Б - A_I$;
- б) $H_I - H_{II} - Д - Б - Н - A_I$;
- в) $H_I - H_{II} - Д - Б - Н - A_{II}$;
- г) $H_I - Д - Б - Н - A_I - A_{II}$;
- д) $H_I - A_I - H_{II} - Д - Б - Н - A_{II}$;
- є) $H_I - A_I - H_{II} - Д - Б - Н - A_{II} - H_{III} - A_{III}$;

ж) Н_I – Д – Б – Н – А_I – ФЗД;

з) Н_I – А_I – Н_{II} – Д – Б – Н – А_{II} – ФЗД,

де Н_I, Н_{II}, Н_{III} – водень-катіонітові фільтри I, II, III ступеня; Д – декарбонізатор; Б – проміжний бак; Н – насос; А_I, А_{II}, А_{III} – аніонітові фільтри I ступеня (зі слабоосновним аніонітом), II і III ступенів (із сильноосновним аніонітом); ФЗД – фільтр змішаної дії. У табл. 2.2 наведена ефективність розглянутих технологічних схем знесолення води.

Ефективність знесолення води іонним обміном

Склад вихідної води після механічних фільтрів				Якість знесоленої води		
Сума всіх катіонів, мг-екв/л	≤0,6	6–9	6–16	Кремнієва кислота, мг/л	Загальний солевміст, мг/л	Примітка
Натрій, мг-екв/л	≤0,5	0–6	0–12			
Сума аніонів сильних кислот, мг-екв/л	≤2	2–4	4–12			
Кремнієва кислота, мг/л	≤30	≤30	≤30			
Загальний солевміст, мг/л	350–400	350–500	500–950			
	а			Не знижується	2–10	
	б	б		Те саме	1–3	Економічніша схеми а)
		а	а		10–20	
		б	б		1–3	Економічніша схеми а)
	в	в	в	Знижується до 0,05–0,15	1–3	
	г	г	г	Те саме	1–3	
	д	д	д	0,02–0,2	<1	
	є	є	є	<0,05	<0,1	
	ж	ж	ж	0,02–0,2	<1	Вищий ефект чим при схемі д)
	з	з	з	<0,05	<0,1	Вищий ефект чим при схемі є)

4. Випарювання

Випарювання - це процес концентрування практично нелетучих компонентів частковим випаром розчинника при кипінні. Його сутність полягає в переведенні розчинника в пароподібний стан і відводі отриманої пари від сконцентрованого розчину. Випарювання зазвичай ведуть при кипінні, тобто в умовах, коли тиск пари над розчинником дорівнює тиску пари в робочому апараті.

Цей процес широко застосовується в різних галузях промисловості (особливо в хімічній), а також у водопідготовці. Це пояснюється тим, що багато речовин одержують у вигляді розведених водних розчинів, а на подальшу переробку і транспорт вони повинні надходити в концентрованому виді.

Випарні установки можуть бути періодичної й безперервної дії.

Залежно від кількості перероблюваного розчину випарні установки безперервної дії можуть компонуватися по кілька послідовно працюючих апаратів у так звані багатокорпусні. Виходячи з техніко-економічних міркувань, якщо витрата розчину невелика, необхідно передбачати однокорпусну випарну установку. У випадку великої витрати розчину економічно доцільніше приймати дво-, три- і чотирьокорпусні установки, у яких розчин послідовно переходить через окремі апарати, і в кожному наступному апараті встановлюється більша концентрація розчину, чим у попередньому.

По тиску усередині апарата розрізняють випарні апарати, що працюють при надлишковому, атмосферному тиску та у вакуумі. Тиск в установках багатокорпусного випарювання знижується від першого апарата до останнього.

В якості теплоносія широко застосовується водяна пара. Вона може мати природну або примусову циркуляцію.

При багаторазовому випарюванні як теплоносій використовується вторинна пара. Отже, досягається значна економія теплоти. Багаторазове випарювання дозволяє скоротити витрату теплоти на проведення процесу пропорційно числу послідовно з'єднаних апаратів.

Багатокорпусні випарні установки можуть бути прямоточні, противоточні і комбіновані.

За конструктивними особливостями вони можуть підрозділені на апарати із природною і примусовою циркуляцією розчину, зі співвісною і виносною гріючими камерами і апарати з іншими особливостями [6].

Питання для повторювання

1. Які обмеження існують при застосуванні основних методів опріснення води?
2. Як вибрати метод знесолення води.
3. З яких елементів складаються технологічні схеми монообмінного знесолення?
4. При яких умовах застосовується метод випарювання?

Тема 11. Водопостачання металургійних підприємств.

1. Водне господарство підприємств чорної металургії.
2. Категорії використання води.
3. Схема оборотного водопостачання металургійного заводу.
4. Добування і переробка сировини.

1. Чорна металургія відноситься до найбільш водоемких галузей промисловості. Ці заводи займають друге місце після підприємств теплоенергетики і споживають до 20% загального водоспоживання усіх галузей промисловості країни (підприємства теплоенергетики – 25%).

Підприємства чорної металургії забезпечують добування сировини і палива для виплавки чавуна і сталі з переробкою останніх у прокатні профілі та вироби. До цих підприємств відносяться рудники, збагачувальні та агломераційні фабрики, коксохімічні заводи, металургійні заводи. Усі вони можуть бути розкидані по значній території і, як правило, мають самостійні системи виробничого водопостачання. Мається також велике допоміжне господарство, яке не має прямого відношення до продукції, яка випускається. Водопостачання цього господарства досягає 40-50% загальної витрат води (це об'єкти енергетичного хазяйства – ТЕЦ і ТЕС, пароповітрорудувні станції, кисневі станції тощо).

Металургійні заводи займають площі в десятки квадратних кілометрів. Споживання води на заводі з повним металургійним циклом доходить до 240-300 м³ на 1 т чавуна.

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

Очистка стічних вод на металургійних заводах вирішується самостійно для окремих виробництв. На заводах чорної металургії таке рішення передбачається для доменного, сталеплавильного і прокатного стану.

2. Незважаючи на багатоманітність оборотних систем водопостачання якості води, що використовується на металургійних комбінатах можна умовно поділити на 5 категорій:

1 споживачі, які використовують чисту воду, зміст зависі у цій воді – до 50 мг/л, солі тимчасової жорсткості 1-3 мг-екв/л, температура 28-32°C

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

3 споживачі, які використовують воду зі змістом зависі 200-300мг/л і змістом солей тимчасової жорсткості 1-3 мг-екв/л, температура 28-32°C. Це системи газо очистки.

2 Споживачі, які не пред'являють вимог до температури та солевмісту та мають занижені вимоги до наявності завислих речовин. Ця вода використовується для транспортування відходів виробництв (золо- та шлаковидалення, тощо). Ця система також оборотна і повертається для гідротранспорту після шламонакопичувача.

3 Споживачі, які не відносяться безпосередньо до металургійного виробництва, але пред'являють завищені вимоги до якості води. Ця вода найчастіше використовується у вентиляційних системах, системах для приготування пари та системах господарчо-питного водопостачання.

4.

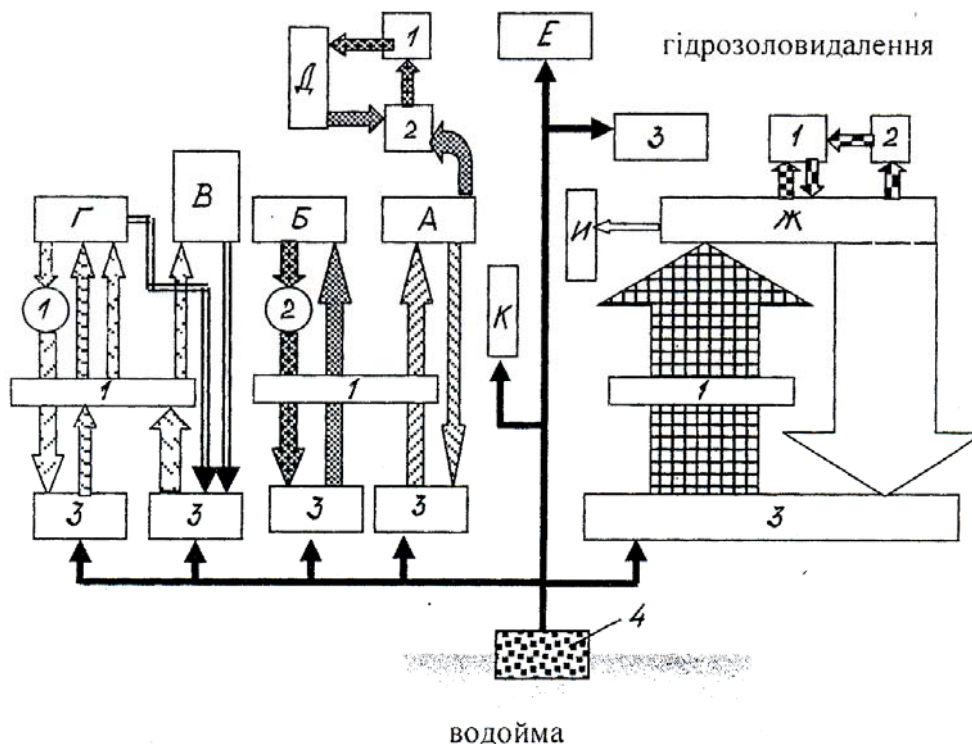


Рис. 11.1 - Схема оборотного водопостачання металургійного заводу:
 А- домений цех; Б- газоочистка; В- сталеплавильний цех; Г- прокатний цех; Д- розливочні машини; Е- коксохімічний цех; Ж- ТЕЦ та пароповітряна станція; З- цех вогнеупорів; И-хімводоочистка; К- інші цехи; 1- насосні станції; 2- відстійник; 3- бризкальні басейни; 4- насосна станція першого підняття

Система виробничного водопостачання металургійного заводу (рис.6.1) має декілька оборотних циклів для кожного цеха чи приладу, які відрізняються один від одного якістю води та потрібним напором в мережі. Кількість свіжої води коливається від 5 до 8%. Основні цехи повинні отримувати воду безперервно, тобто обов'язкове дублювання ліній мережі з подачею по кожній повних розрахункових витрат води. До 75% води використовується на охолодження конструктивних елементів доменних, сталеплавильних, нагрівальних пічок, конденсацію пару тощо. Ця вода тільки нагрівається. Вода для охолодження обладнання і продукції, а також транспортування механічних домішок нагрівається та забруднюється, кількість її доходить до 22%.

Основні процеси (переділи), які характерні для підприємств чорної металургії: добування і переробка сировини; виплавка чавуна; виробництво сталі; виробництво гарячого прокату; холодна прокатка металу.

4. Добування і переробка сировини

У чорній металургії сировиною є залізна руда, кокс, вапняк, різні добавки. Руда добувається відкритим (кар'єри) та закритим засобом (шахти).

На Україні вона здобувається тільки у шахтах і тільки у Кривому Розі і в Росії існує добування руди відкритим засобом.

У процесі здобування руди шахтним і відкритим засобами, утворюються шахтні води, які відкачуються на поверхню та скидаються та скидаються у поверхневі водні об'єкти. Ці стічні води забруднені завислими речовинами, нафтопродуктами, та мають високий солевміст, який досягає декілька г/л (до 10 г/л та більше). Ці води є надмірні, тому їх використання дуже складне і у теперішній час вони скидаються у водні об'єкти практично без очищення.

Сказане вище у відношенні здобування руди повністю відноситься і до технології здобування вугілля – це також шахти, кар'єри і ті ж самі проблеми, пов'язані з очисткою та скидом стічних вод.

Збагачення руди

Руда містить не більш 50% заліза, інше – порожня порода. Тому перед поданням руди на металургійні підприємства для послідуєчих металургійних переробок ця сировина підлягає переробці, у першу чергу з метою збагачення, тобто отримання продукту з великим змістом цінних компонентів. Щоб видалити порожню породу, здобуту руду напрямляють *збагачувальні фабрики*. Теж саме стосується і вугілля, тільки у цьому випадку ці підприємства звать вуглефабриками.

Методи збагачення:

- 1) магнітно-гравітаційний;
- 2) флотаційний.

При магнітному засобі збагачення здрібнена руда у вигляді пульпи потрапляє на магнітні сепаратори, де частки, що містять залізо, відокремлюються від інших часток, які не містять залізо. Процес здійснюється у водному середовищі.

При флотаційному засобі збагачення у пульпу, що містить руду, додають різні поверхнево-активні речовини, наприклад, нафтопродукти та інші речовини, які сприяють спливанню на поверхні порожньої породи, яка разом із водою відводиться з системи, а цінні продукти, наприклад, залізо, остаються у нижній частині потоку і направляються на подальшу переробку.

Флотація – розділ на фракції, які містять метал та ті, що не містять металу у водному середовищі шляхом придання породі гідрофобних властивостей. Для цього у суспензію додають різні хімічні добавки (поверхнево-активні речовини), які гідрофобізують поверхню часток, що сприяє їх відділенню від основного компоненту.

В залежності від прийнятих методів збагачення використовується від 5 до 9 м³ вод на 1 т руди. Вода не повинна мати каламутність більше 30-50 мг/дм³. Схема водопостачання може бути оборотною з відстоюванням води в ставках- прояснювачах. Приблизно 85% води використовується на поглинання і транспортування матеріалів.

На збагачувальних фабриках під час збагачення корисних копалин (залізна руда, вугілля) утворюється значна кількість стічних вод і відходів, яка складає для великих збагачувальних фабрик та комбінатів 10-50 тис. м³/год. Ці стічні води містять десятки та сотні г/л забруднень у вигляді механічних

домішок (завислих речовин, які являють собою порожню породу) концентрацією більш 10 г/л. Крім цього у стічних водах містяться дуже шкідливі, а іноді навіть токсичні забруднення – різні нафтопродукти, поверхнево-активні речовин природного та синтетичного походження. Концентрація цих речовин досягає 100-500 мг/л. Ці речовини ні що інше, як гідрофобізатори, які застосовуються під час збагачення. Перелічені стічні води дуже важко піддаються очищенню, а якщо врахувати великі витрати цих стічних вод, задача їх очистки та використання є одним з дуже складних і мало вивчених питань.

У теперішній час порожня порода, як при першому, так і при другому засобі збагачення, у вигляді шламової пульпи відводиться за межі підприємства у так звані шламонакопичувачі (хвостосховища – ця назва пішла від слова «хвости флотації»), які займають великі території та площі.

Звідси витікають наступні задачі, які стоять перед спеціалістами у різних галузях:

1. Розробити засоби очистки та використання у цьому ж виробництві стічних вод, що утворюються. Найбільш важко очистити стічні води від нафтопродуктів і поверхнево-активних речовин.
2. Знайти такі хімічні добавки, які могли би підвищити ефективність вилучення цінних компонентів з руди або вулю та одночасно полегшити процес очистки стічних вод
3. Розробити засоби утилізації відходів (осадів), що утворюються
4. Скоротити площі, які займають хвостосховища.

Ошматкування

Збагачувальна залізна руда перед подачею її у домені печі для виплавки чавуна, направляється на *агломераційні фабрики* або фабрики по виробництву окатишів (ошматкувальні фабрики).

Це пов'язано із тим, що руда, яка здобувається являє собою дрібнодисперсні частки, які не дають можливості нормально вести плавку чавуна для отримання металів.

Агломераційне виробництво

На агломераційних фабриках руда спекається або окомковується за спеціальною технологією. Одержання агломерату досягається тепловими процесами з добавкою до руди вапняку, коксу тощо. При цьому досягається ошматкування руди та видалення частини шкідливих домішок, що утримуються у руді. Продукція – руда у вигляді шматків або окатишів є основною сировиною для доменних печей, в яких виплавляють чавун. Кількість стічних вод, що утворюються від однієї аглофабрики досягає до 2-3 тис. м³/год. Ці стічні води забруднені завислими речовинами у концентрації до 2 тис мг/л, лужними компонентами (в основному вапном, якій сприяє появі у воді гідратної складної лужності, тобто групи OH⁻). З другого боку, стічні води забруднені кислими компонентами, які представлені в основному сірчаними сполученнями у вигляді SO₃²⁻ та SO₄²⁻.

Питання для повторювання

1. Як застосовується вода на підприємствах чорної металургії.
2. Які категорії використання води існують на металургійних підприємствах?
3. з яких елементів складається схема оборотного водопостачання металургійного заводу?
4. Як відбувається добування і переробка сировини?

Тема 12. Оборотні системи водопостачання доменного, мартенівського, електросталеплавильного, прокатного виробництв.

1. Виробництво чавуна у доменних печах.
2. Газоочистка доменних печей.
3. Сталеплавильні виробництва.
4. Електросталеплавильне виробництво.

1. Чавун виплавляють у доменних печах, температура виплавки чавуна 1500-2000°C. Домна являє собою агрегат висотою до 80-100м. Найбільш крупна доменна піч на Україні об'ємом 5 тис. м³ працює у Кривому Розі.

У доменну піч завантажуються шихта –це вихідний матеріал для виробництва чавуна. До складу шихти входять: залізна руда у вигляді агломерату або окатишів, кокс, вапняк та інші добавки. Шихта подається у домну зверху безперервно за допомогою спеціальних пристроїв конвеєрного типу. Високий температурний режим створює умови для плавки металу. По мірі плавки, розплавлений метал і шлак опускається вниз доменної печі. Розплавлений метал (чавун) відводиться знизу періодично, у спеціальні чавуновозні ковші.

Чавун у рідкому вигляді направляється на подальшу переробку у сталеплавильне виробництво (конвертор, мартен, електропіч). Частина чавуна направляють на машини для розлиття чавуна та отримують готову продукцію у вигляді чавунних чушок. Ці чавунні чушки є вихідним продуктом для машинобудівельних заводів, які не мають свого власного виробництва чавуну.

У доменному цеху вода витрачається на зволоження шихти, охолодження доменних пічок та арматури повітрянагрівачів, грануляцію шлаку, охолодження чавуну на розливальних машинах та підбункерних приміщеннях. Шихту зволожують водою після охолодження пічок. Напір води в мережі у доменних пічок дорівнює 45-70 м. Система водопостачання – оборотна, при якій вода від холодильників пічок та арматури водонагрівачів (температура до 800°C) потрапляє в приймальний резервуар і потім на охолодження. На 1т чавуну витрачається до 24 м³ води, в тому числі свіжої 3-4%. При охолодженні чавуну в розливальних машинах до 20% води випаровується, вода насичується шматками ламаного чавуну та вапна. Тому перед охолодженням вода спочатку відстоюється у відстійнику. Для доменних печей і повітрянагрівачів повинна

забезпечуватись безперервна подача охолоджуючої води, оскільки навіть тимчасове припинення подачі води може спричинити аварію, прогар конструкції доменної печі. Для цього передбачається окрім робочих, не менш двох резервних насосів у відповідності за СНиП. Кількість трубопроводів для підведення і відведення води повинна бути не меншою за два. Кожен з водоводів розраховується на пропуск 100% витрати води. В цеху очистки доменного газу вода поглинає механічні домішки із газу, охолоджує газ, транспортує поглинуті домішки, розчиняє газ та деякі мінерали. В оборотній системі вода потрапляє спочатку в радіальні відстійники, перекачується насосом на охолоджувач, а потім знову насосом качається у цех.

У доменному виробництві утворюються наступні види стічних вод:

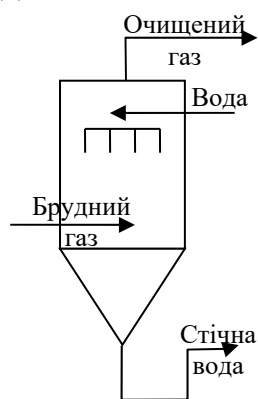
1. Вода від безпосереднього охолодження доменної печі, це так звана “умовно чиста вода”, яка у процесі використання тільки нагрівається і не забруднюється.

2. Стічні води від газоочисток доменних печей. Ці води брудні (забруднені завислими речовинами у концентрації до 200 мг/л, а також цілою низкою розчинних хімічних речовин).

3. Стічні води від грануляції шлаку. Ці води забруднені завислими речовинами у концентрації до 1000 мг/л, а також хімічними речовинами, наприклад, сірководнем H_2S (“брудний цикл”).

4. Стічні води від машин розливання чавуна. Ці води також забруднені завислими речовинами у концентрації до 500 мг/л та хімічними речовинами, головним з яких є розчинне у воді вапно $Ca(OH)_2$ (“брудний цикл”).

Для здійснення процесу виплавки чавуна знизу доменної печі проваджується дуття підігрітим повітрям для постачання у піч кисню. Повітря, яке проходить через домену піч захоплює пилевидні частки та насичується рядом хімічних компонентів у газоподібній формі. Потім ці гази відводяться з доменної печі у верхній частині. Забрудненість газів надзвичайно велика, і оскільки викидати їх у атмосферу без очистки неприпустимо, гази очищають у апаратах газоочищення. Газ очищується сухим та мокрим (із застосуванням води) засобами. Доменні гази містять у собі великий процент окисі вуглеводу (до 80%). Ці гази є хорошим енергетичним паливом і тому після очистки вони використовуються на цьому ж самому заводі. Доменна піч та газоочистка – це єдине технологічне ціле.



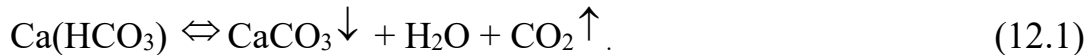
2. Газоочистка доменних печей

Для очистки газів мокрим засобом застосовується так званий скрубер. Скрубер являє собою посудину під тиском, виготовлений зі спеціального металу, висота його від 30 до 40 м (для великих доменних пічок) та діаметр 8-12 м. У цьому апараті гази, що відходять від доменної печі подаються знизу, а вода, яка очищує ці гази, подається зверху, тобто рух газу і води назустріч один одному. Вода розбризкується форсункам, вступає у контакт з газом та

Рис.12.1 - Скрубер для

відводиться у вигляді стічних вод знизу цього скрубера.

Стічні води, що утворюються у процесі очистки газу характеризуються високою концентрацією завислих речовин. У самому скрубери знаходяться під тиском (2-3 атм) стічні води насичуються вуглекислотою, яка потрапляє з газу, який очищається. При тиску в скрубери до 2,5 атм. на стінках скрубери утворюються щільні карбонатні відкладення відповідно до реакції вуглекислотної рівноваги. Чим вище тиск у скрубери, тим більше CO_2 розчиняється у воді. Надлишкова вуглекислота сприяє підкисленню води та надає їй агресивні властивості, тобто схильність до корозії. При підвищенні тиску до 3 атм і більше відбувається розчинення карбонатних відкладень, що утворилися, і вода стає агресивною стосовно металу. Коли стічні води виходять зі скрубери, надлишкова вуглекислота злетучується і стічні води, що утворюються вже не володіють агресивними властивостями по відношенню до металу, а характеризуються наявністю бікарбонатної лужності (HCO_3). При цьому у скрубери вода має кислу реакцію ($\text{pH}=6,5$), а після скрубери лужну реакцію ($\text{pH}=7-7,5$). Таким чином, у скрубери протікає реакція вуглекислотної рівноваги.



При зсуві реакції вправо, утворюється малорозчинний карбонат кальцію та виникає можливість утворення щільних сольових відкладень на внутрішніх стінках скрубери.

При зсуві реакції вліво, карбонат кальцію, що утворився, розчиняється і у воді утворюється надлишок вуглекислоти CO_2 , яка може спричинити корозійний знос металу скрубери. Для системи оборотного водопостачання газоочисток доменних печей характерний складний водно-хімічний режим.

Таким чином, виникає динамічна рівновага, яку бажано не порушувати з метою вибухонебезпечності скрубери високого тиску та забезпечення його стабільної роботи.

Охолодження доменних печей.

При охолодженні елементів доменних печей водою відвід тепла здійснюється за рахунок нагріву води, у наслідку чого тимчасова жорсткість розкладається у відповідності з рівнянням вуглекислотної рівноваги з утворенням малорозчинного карбонату кальцію. Карбонат кальцію (CaCO_3), що утворюється випадає на теплонавантажених поверхнях і перешкоджає теплообміну, тобто ефективному охолодженню доменних печей. Оскільки теплопровідність CaCO_3 у десятки разів менш ніж теплопровідність металу, охолодження елементів погіршується, що призводить у деяких випадках до виходу їх із строю внаслідок прогару. Витрати охолоджуючої води на 1 доменну піч коливаються від 2 до 3 тис. $\text{м}^3/\text{год}$. Вода у процесі випаровування тільки нагрівається і не забруднюється механічними або хімічними домішками. Система водяного охолодження доменних печей, як правило, організується по оборотній схемі з підживленням свіжою технічною водою, з продувкою у кількості до 5% від витрати циркулюючої у системі води. При водяному

охолодженні доменних печей утворюються умовно чисті стічні води, що несуть тільки термальне забруднення.

Випарувальне охолодження доменних пічок.

Крім водяного охолодження доменних печей застосовують випарувальне охолодження. Сутність його полягає у тому, що замість звичайної води для охолодження доменних печей застосовують пароводяну суміш. В порівнянні з водяним охолодженням у випарувальному охолодженні використовується в 60 разів менше води, дякуючи більш інтенсивному відбору тепла. Але при цьому з'являється проблема утворення щільних сольових (карбонатних) відкладень на усіх теплонавантажених поверхнях. При випарувальному охолодженні інтенсивність сольових відкладень у сотні разів вище, ніж при водяному охолодженні. У зв'язку з цим система випарувального охолодження повинна підживлюватись хімічно очищеною або глибоко зм'якшеною водою.

У процесі охолодження теплонавантаженого елемента (рис.6.3) вода випарується і у вигляді пароводяної суміші піднімається у бак-сепаратор, в якому здійснюється часткова конденсація пару з утворенням води. Вода із бака опускається до теплонавантаженого елемента, тобто відбувається циркуляція води - іноді гравітаційна (природна), а іноді примусова (за допомогою циркуляційного насоса). Вода в системі випарувального охолодження, звичайно, не повинна мати солей жорсткості та мати корозійних властивостей.

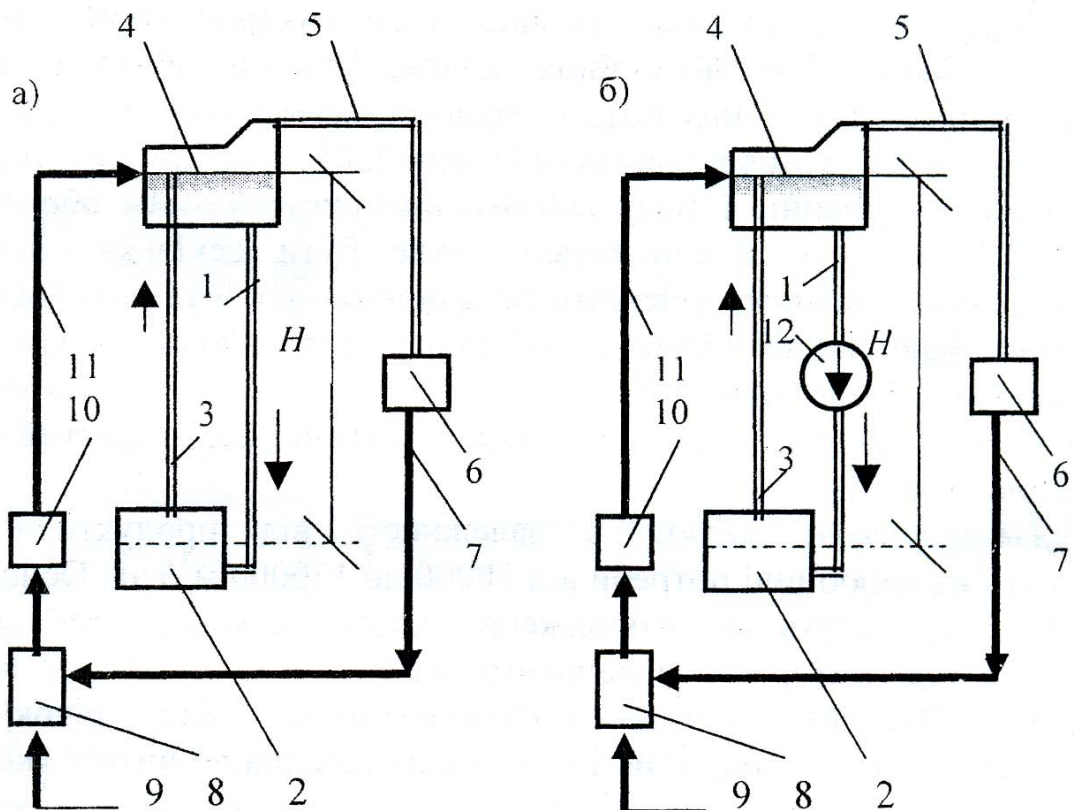


Рис. 12.2 - Схеми випарувального охолодження металургійних пічок:
 а - з природною циркуляцією води; б- із примусовою циркуляцією води;
 1- трубопровід охолоджуючої води; 2- піч; 3- трубопровід пароводяної

емульсії; 4 - бак-сепаратор пару; 5 - паропровід до споживачів ару; 6 - споживачі пару; 7- трубопровід конденсату пару; 8- хімоводоочистка; 9 - подача води з джерела; 10- насосна станція; 11- подача зм'якшеної води; 12 - циркуляційний насос

Грануляція шлаку. Під час плавки чавуна утворюються шлак. Його відводять від доменних печей до грануляційних установок. Грануляція шлаку полягає у перетворенні його з рідкого стану у твердий зернистий матеріал шляхом швидкого охолодження водою. Струми води, що подаються під тиском розбивають шлак на окремі гранули. Стічні води в залежності від складу виплавленого чавуна мають кислу або лужну реакцію і містять сірководень, хлориди, сульфати і 300-650 мг/л завислих речовин. Для освітлення стічних вод грануляційних установок застосовуються горизонтальні відстійники. Кислі води нейтралізуються вапном. Вода після очищення у відстійниках повертається знову у виробництво.

Розливальні машини. Рідкий чавун відводять з доменної печі на розливальні машину, яка являє собою транспортер, що рухається і на якому розташовані мульди (форми). По мірі руху мульди, які заповнені чавуном, інтенсивно поливають водою з дірчастих труб для того, щоб до кінця шляху чавун затвердів. Для того, щоб чавун не приставав до мульд, їх перед тим, як заливати оброблюють розчином вапна. Нагріта вода після розливальних машин містить пісок, вапно, окалину та інші завислі речовини. Для хімічного складу цих стічних вод характерна наявність гідратної лужності, що обумовлено застосуванням розчину вапна для обприскування форм (мульди) для розливання чавуна. Після розливальних машин вода напрямляється на відстоювання, після чого знову повертається у цех. Шлам, що осів у відстійниках, частково використовується для стабілізаційної обробки води, а інша частина, що залишилася напрямляється у шламонакопичувачі для зневоднення. Загальна витрата води на розливі 1 т чавуна складає до 4м³, при цьому коло 20% води губиться.

Чавун, який отримують частково використовується для виготовлення виробів, у тому числі каналізаційних труб та арматури. Основна маса чавуну перетворюється у сталь в сталеплавильних печах (мартенівських, конверторних та електросталеплавильних).

3. Сталеплавильні виробництва

Сталь виробляють з чавуну одним з наступних засобів:

1. киснево-конверторний;
2. мартенівський;
3. електросталеплавильний.

У сталеплавильному виробництві головними водоспоживачами є:

- конвертори, мартенівські і електросталеплавильні печі;
- газоочистки мартенівських печей;
- газоочистки електросталеплавильних печей;
- газоочистки конверторів;

- машини безперервного лиття заготовки.

Киснево-конверторне виробництво

При киснево-конверторному процесі сталь виплавляють в спеціальних агрегатах ємністю від 100 до 400т за допомогою продувки киснем. Шихта завантажується зверху у горловину конвертору. У склад шихти входять: розпалений чавун, вапно (CaO), металолом тощо. Подача чистого кисню дозволяє інтенсифікувати процес виплавки сталі і отримати готову сталь через 50-60 хвилин.

У киснево-конверторному виробництві утворюються наступні види стічних вод:

- 1 стічні води газоочисток;
- 2 стічні води від охолодження тепло навантаженого обладнання;
- 3 стічна вода від машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ).

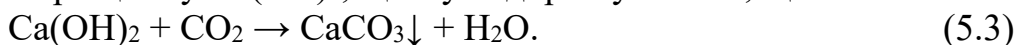
Готова сталь у рідкому вигляді подається на МБЛЗ, де вона розливається у спеціальні форми, охолоджується і твердіє. Заготовки отримують певної форми: сляби – це заготовка для виробництва листової продукції та блюми - це заготовки, з яких виробляють рейки та балки.

Стічні води газоочистки кисневих конвертерів. При виплавці сталі в кисневому конвертері утворюється велика кількість газів, які містять металевий пил і частки вапна (негашена CaO). Очистка газів здійснюється мокрим засобом, тобто за допомогою води. При контакті газу з водою в апараті газоочистки завислі частки металу і вапна переходять у стічні води. Концентрація завислих речовин знаходиться в межах 4-10 г/л. При цьому вапно розчиняється у воді по формулі:



Це обумовлює наявність у стічних водах гідратної складової лужності.

В газах, що відходять від конвертору міститься вуглекислий газ CO₂. Після очищення стічних вод від завислих речовин вода повертається на цілі очищення газів. При цьому Ca(OH)₂, що є у воді реагує з CO₂, що є в газах:



Очищення газів конвертерних цехів здійснюється в апаратах газоочисток, у якості яких найчастіше використовують труби Вентурі. Газу надходять зверху і проходять через труби Вентурі. Швидкість проходження газу до 100 м/с. У горловині відбувається інтенсивне перемішування води і газу. Вода розбивається на дрібні краплі, що захоплює пил, що утримується в газах. Потім очищені газу видаляються з апаратів газоочисток, а стічні води попадають у бункер і видаляються на очищення. При наявності у стічних водах, а потім і в очищеній воді гідратної лужності в апаратах газоочисток відбувається інтенсивне утворення CaCO₃, що осаджується на стінках труб Вентурі. Особливо небезпечне відкладення солей

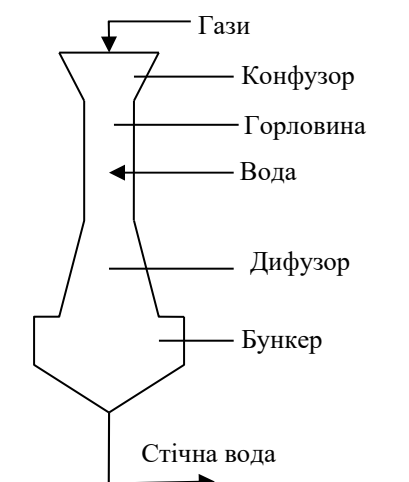


Рис.12.3 - Труби Вентурі

CaCO₃ у горловині труб Вентурі. Бували випадки в практиці, що труби Вентурі практично цілком забивалися CaCO₃, що приводило до виходу з ладу системи газоочисток і до зупинки конвертерного виробництва.

Мартенівське виробництво

Мартенівське виробництво сталі це найбільш традиційний та найбільш поширений засіб. Однією з основних особливостей цього процесу є те, що замість вапна використовується вапняк (CaCO₃). Окрім цього, у порівнянні з конверторним виробництвом – цей процес значно довший і складає до 10 годин та більше. При виплавці сталі цим засобом утворюється велика кількість газів, очистка яких здійснюється мокрим засобом. Найчастіше для цього застосовуються труби Вентурі.

Стічні води газоочистки мартенівських печей містять дрібно дисперсні речовини, концентрація яких коливається в процесі плавки від 2 до 10 г/л. З погляду хімічного складу найчастіше характеризуються кислою реакцією, рН=4-6. Це пов'язано з тим, що в процесі очистки газів вода підкислюється за рахунок уловлювання кислих компонентів, таких, як окислі сери (SO₂, SO₃) а також окислів азоту (NO,NO₂). Для захисту від корозії системи виконуються кислотостійкими або передбачається нейтралізація стічних вод вапном.

4.Електросталеплавильне виробництво

В електросталеплавильному цеху сталь виплавляється в електричних печах, плавка металу відбувається під дією електричного току за рахунок електричної дуги, яка утворюється між електродами. В процесі плавки сталі з електропечей відходить велика кількість газів, які очищаються найчастіше за допомогою води. Стічні води, що утворюються від очистки газів, містять дрібнодисперсні завислі речовин в концентрації до 2-3 тис.мг/л, окисли заліза й інші хімічні забруднення (іони важких металів, сірчані з'єднання), 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. В зв'язку з цим, для повторного цих стічних вод в системах оборотного водопостачання, потрібна певна хімічна обробка (нейтралізація, стабілізація тощо). Найбільш раціональним методом нейтралізації і знешкодження стічних вод при оборотному водопостачанні є застосування вапняного молока.

Склад та фізико-хімічні властивості стічних вод від електросталеплавильного виробництва залежать від марок сталі, що виплавляється, складу шихти, технології виробництва сталі тощо.

Питання для самоконтролю

1. Назвіть основні переділи на підприємствах чорної металургії.
2. Методи збагачення руди.
3. Виплавка чавуну у доменних печах.
4. Які види стічних вод утворюються у доменному виробництві?

Тема 13. Випарне охолодження на підприємствах чорної металургії

1. Виробництво гарячого прокату.
2. Стан холодної прокатки металлу.
3. Обробка поверхні металу.

1. В результаті гарячої прокатки одержують різну металеву продукцію, зокрема листи. Товщина цих листів 1,2-1,6 мм і більше. Ці листи можуть бути використані наприклад, для виробництва труб великого діаметра.

Виробництво гарячого прокату відноситься до найбільш водоемких виробництв на металургійному заводі. Для отримання листової продукції використовують заготовки у вигляді слябів товщиною 20 см, довжиною до 10м та шириною 1-1,5м.

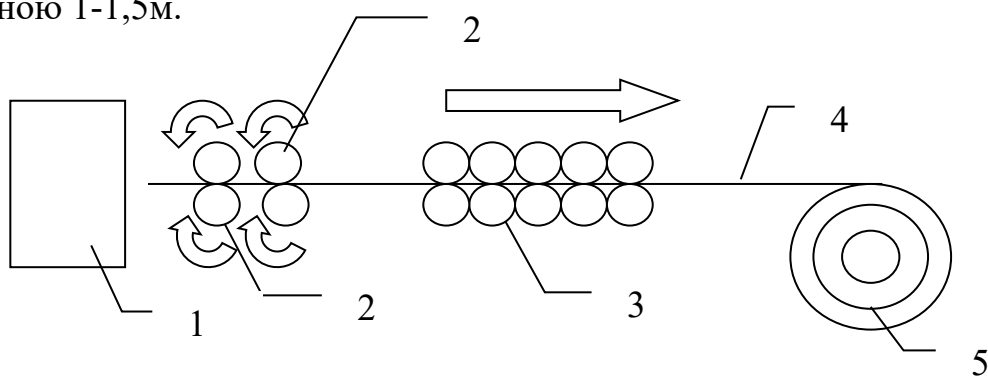


Рис. 12.4 - Виробництво гарячого прокату: 1-нагрівальна піч; 2-чорнові кліті; 3-чистові кліті; 4-охолодження смуги; 5-моталки

Спочатку сляби потрапляють на чорнові кліті, де сляб деформується й отримує певні розміри (це заготовка). Потім вони потрапляють на чистові кліті, з яких виходить готовий лист. Але температура цього листа знаходиться на рівні 900°C і для того, щоб його можна було змотати у рулон на моталках, лист потрібно охолодити на ділянці охолодження смуги з температури 900°C до 600°C. 600°C – це температура змотування, бо при більшій температурі лист зварюється з іншим листом.

На кожен операцію прокатки подається вода у кількості: на кожен чорнову кліть до 1000 м³/год, а на кожен чистову кліть 500-600 м³/год. На ділянці охолодження смуги витрата води досягає до 2000 м³/год, на моталках – 1000-1500 м³/год.

У випадку виробництва тонкого листа цех має довжину більш 1 км. Загальна витрата води для такого цеху у брудному циклі досягає 30 тис. м³/год і в умовно-чистому циклі – 20 тис. м³/год. Таким чином загальна витрата вода цеху складає приблизно 50 тис. м³/год.

Умовно чиста вода утворюється при охолодженні нагрівальних печей. На усіх інших операціях утворюється брудна вода.

У процесі гарячої прокатки металу утворюються стічні води від охолодження металу, що прокочується, і устаткування. Ці стічні води забруднені завислими речовинами (окалиною) і оліями (нафтопродуктами). По мірі 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 попадають у стічні води від змащення різних механізмів, двигунів, підшипників (наприклад, роликів, прокатних валків тощо).

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

Очищення стічних вод виконується у три ступеня. На першому ступені застосовують первинні відстійники у виді ями для окалини, розрахованої на час перебування 5-8 хв. На другому ступені застосовуються відстійники-флотатори. Залишкова концентрація завислих речовин – 30–90 мг/л, олій 12–20 мг/л. Доочищення стічних вод виконується на піщаних або гравійних фільтрах.

Для зняття окалини з поверхні прокатаного металу застосовується система гідрозмиву окалини. Вода подається на лист зверху та знизу під тиском через спеціальні форсунки. Воду для систем гідрозмиву окалини очищують за спеціальною технологією, для того, щоб концентрація завислих речовин була знижена до величини меншій за 20 мг/л. Не дотриманість цих вимог призводить до інтенсивного абразивного зносу всіх елементів системи, в першу чергу насосів високого тиску і форсунок. Знос форсунок призводить до зниження ефективності видалення окалини з поверхні металу й отриманню неякісної прокатної продукції.

На ділянці охолодження смуги здійснюється охолодження смуги, яке регулюється за допомогою ЕВМ. 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 при гарячій прокатці металу використана вода скидається у підстановий лоток. Він має нахил у сторону первинних відстійників, який забезпечує необхідні транспортуючі швидкості для змиву окалини.

6. Стан холодної прокатки металу

Це так званий третій переділ металу. Холодний прокат здійснюється з виробів, отриманих на станах гарячої прокатки шляхом витягування (деформації) у холодному виді. Завдяки дуже великим стисненням з використанням мастильно - охолоджуючої рідини і технологічних змазок, вдається здійснити необхідну деформацію металу. В зоні деформації при холодній прокатці температура металу досягає 1000-1500°C.

Стічні води станів холодної прокатки мають дуже складний хімічний склад, бо у них потрапляють стійкі емульсії нафтопродуктів, різні технологічні змащення або олії (соняшникова, олеїнова, пальмітинова), які використовуються 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 звичайної температурі вони знаходяться у 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, який диктує методи і затрати на очистку. Очищаються ці стічні води звичайно методом флотації, потім нейтралізуються до рН = 7–7,5. Кількість стічних вод від станів холодної прокатки порівняно невелика і складає від 100-200 м³/год.

7. Обробка поверхні металу

Перш ніж відправити метал споживачу, поверхня металу повинна бути оброблена. Це так званий 4-й переділ. Найбільш поширеною технологією обробки поверхні металу є травлення за допомогою різних хімічних речовин, наприклад: кислот (сірчаної, соляної, фосфорної, плавикової) і суміші кислот, а також луг (NaOH, KOH тощо). За допомогою травлення з поверхні металу видаляються частки окалини й інші домішки, а також розчиняється частина основного металу. В результаті обробки поверхні металу травленням утворюються стіні води, забруднені цими речовинами, а також солями різних металів, наприклад солями заліза (FeSO₄). Кількість таких стічних вод порівняно невеличка і досягає для одного травильного відділення 200-500 м³/год. Степінь забрудненості цих вод висока. Очистка їх до вимог скиду в каналізаційну мережу або водний об'єкт викликає труднощі. А забезпечити використання очищених стічних вод цієї категорії у замкненому циклі дуже важко. Це пов'язано із тим, що для процесів травлення потрібна вода високої якості, в частості за концентрацією солей. Тобто ці виробництва інтенсивно забруднюють воду, що використовується і в водночас потребують для себе високу якість вихідної води.

Травлення металів здійснюється міцними травильними розчинами, наприклад при використанні H₂SO₄. Концентрація цієї кислоти у травильних розчинах досягає 200 мг/л. Після травлення вироби повинні бути промити у спеціальних ваннах водою. Це необхідно для видалення з поверхні виробів плівки травильних розчинів. Співвідношення кількості промивної води до травильних розчинів коливається від 1:10 до 1:100. Очистка і використання стічних вод цієї категорії також представляє складну технічну задачу у зв'язку з тим, що потрібно видалити компоненти сольового складу.

Питання для самоконтролю

5. Як здійснюється очистка газів доменних печей?
6. Водяне та випарувальне охолодження доменних печей.
7. Якими методами отримують сталь?
8. Виробництво гарячого прокату.

Тема 14. Випарні установки.

1. Основи розрахунку випарювання розчинів.

2. Вибір граничного числа корпусів установки.
3. Температурний режим роботи випарної установки.
4. Загальна і корисна різниця температур.
5. Розрахунок барометричного конденсатора.

1. Просте випарювання (однократна випарка) економічно доцільне на установках невеликої продуктивності (до 75 м³/доб). Крім того, просте випарювання на установках періодичної дії виправдується при випарюванні розчинів, що відрізняються високою депресією.

Багаторазове випарювання, при якому використовується як гріюча пара, так і вторинна, значно заощаджує теплоту. Такий процес можливий або при використанні гріючої пари високого тиску, або при застосуванні вакууму.

Сутність багаторазового випарювання полягає в тому, що вторинна пара попереднього апарата використовується як гріюча пара у наступному апараті.

2. Витрата пари при багаторазовому випарюванні зменшується з додаванням числа корпусів в установці, але лише до деякої межі [2]. Зі збільшенням числа корпусів збільшуються і температурні втрати: чим більше корпусів в установці, тим більші втрати. Температура гріючої пари повинна бути хоча б на 6...7°C вище точки кипіння розчину в даному корпусі.

Температурні втрати складаються з наступних втрат:

I. Втрати від зростання температури кипіння розчину з підвищенням його концентрації до насичення. Різниця між температурами кипіння розчину T_b , і розчинника T_a називається температурною депресією Δg , °C або K:

$$\Delta g = T_b - T_a,$$

Температурну депресію неконцентрованих розчинів і недисоційованих речовин можна розрахувати по рівнянню ебуліоскопії:

$$\Delta g = (R T_{кип}^2 / r) X,$$

де R — універсальна газова постійна, кДж/(кмоль·К);

$T_{кип}$ — температура кипіння розчинника, К;

r – молярна теплота випару розчинника, кДж/кмоль;

X – концентрація розчиненої речовини, кДж/кмоль.

Для концентрованих розчинів температурна депресія

$$\Delta g = (R T_{\text{кин}}^2 / r) (X / (1 - Bc)),$$

де B – константа, визначена експериментальним шляхом.

Зазвичай, температурну депресію не обчислюють, а знаходять по відповідних таблицях, складених на підставі експериментальних даних.

2. Втрати від підвищення температури кипіння розчину через гідростатичний тиск розчину в апараті. Температура кипіння розчину по висоті апарата неоднакова через зміну тиску. Тому, говорячи про температуру кипіння розчину в апараті, мають на увазі температуру кипіння середнього шару в гріючих трубах.

Гідростатичний тиск у середині гріючої труби прийнятий для розрахунку

$$P_{cp} = P_{в.п.} + (\rho g H_{mp} / 2) (1 - \varepsilon),$$

де $P_{в.п.}$ – тиск вторинної пари в апараті, МПа;

ρ – щільність киплячого розчину, кг/м³;

H_{mp} – висота кип'ятільних труб в апарату, м;

ε – паронаповнення (об'ємна частка пари в киплячому розчині), м³/м³.

3. Втрати від зниження тиску вторинної пари через гідравлічні опори в паропроводах між апаратами. У середньому ці втрати становлять 0,5...1,5°C на кожний корпус установки (гідравлічна депресія).

Температурні втрати у випарній установці обмежують можливе число її корпусів. Найбільший вплив при цьому вносить температурна депресія розчину.

3. Температурний режим роботи випарної установки

Температурний режим роботи однокорпусної випарної установки полягає у визначенні і розрахунку теплових втрат через температурну і гідростатичну депресію, знаходженні корисної різниці температур і поверхні нагрівання.

Температурна депресія, що виражає підвищення температури кипіння розчину в порівнянні з температурою кипіння чистого розчинника (води) при тій же тиску

$$\Delta g = t_{к.р.} - t_{\epsilon},$$

де $t_{к.р.}$, t_{ϵ} — температура кипіння відповідно розчину і води, °С.

Температуру кипіння розчинів можна розраховувати різними способами.

Якщо відомі дві температури (t_1 , t_2) якого-небудь розчину при відповідних тисках (P_1 , P_2) можна використувати рівняння

$$\frac{\ln P_{A_1} - \lg P_{A_2}}{\ln P_{B_1} - \lg P_{B_2}} = K_n,$$

де P_{A_1} , P_{B_1} — тиск насиченої пари двох рідин при температурі t_1 , МПа;

P_{A_2} , P_{B_2} — тиск насиченої пари двох рідин при температурі t_2 , МПа;

K_n — постійна.

Температуру кипіння розчину можна знайти також за правилом Дюринга:

$$\frac{P_1 - P_2}{\theta_{p_1} - \theta_{p_2}} = K_n,$$

де t_{δ_1} , t_{δ_2} — температура кипіння розчину при тисках відповідно P_1 і P_2 ;

θ_{δ_1} , θ_{δ_2} — температура кипіння води або іншої еталонної рідини.

Як вказувалося, температура кипіння розчину у випарному апараті змінюється по висоті гріючих труб. Середня температура кипіння визначається на середині висоти гріючих труб з урахуванням гідростатичного тиску.

Гідростатична депресія залежить від висоти рівня розчину, яка визначається по водомірному склу, і від щільності розчину. Оптимальна висота рівня розчину при випарюванні, м:

$$H_{opt} = [0,26 + 0,0014(\rho_p - \rho_e)] H_{mp},$$

де ρ_p, ρ_v – щільність розчину кінцевої концентрації і води при температурах кипіння відповідно, кг/м³;

H_{mp} – робоча висота труби, м.

При відсутності даних про температури кипіння розчину й води можна прийняти

$$(\rho_p - \rho_v) t_{кип} \approx (\rho_p - \rho_v) t = 20^\circ\text{C},$$

Гідростатична депресія

$$\Delta r = t_{cp} - t_{em},$$

де t_{cp} – температура кипіння води при тиску

$$P_{cp} = P_{en} + \frac{\rho g H}{2} (1 - \varepsilon),$$

t_{em} – температура вторинної пари в сепараторі апарата.

Температура вторинної пари в сепараторі визначається як температура кипіння води при її тиску, рівному тиску в апараті:

$$t_{em} = t_{em.б} + \Delta_{гидр},$$

де $t_{em.б}$ - температура вторинної пари в барометричному конденсаторі, °С;

$\Delta_{гидр}$ – гідравлічна депресія, приймається $\Delta_{гидр} = 0,5 \dots 1,5$ °С або К.

Середня температура кипіння розчину

$$t_{cp} = t_{кон} + \Delta r = t_{em.б} + \sum \Delta_{ним},$$

де $\sum \Delta_{ним}$ – сума температурних втрат,

$$\sum \Delta_{ним} = \Delta g + \Delta r + \Delta_{гидр}$$

4. Загальна і корисна різниця температур

Різниця між температурами гріючої пари першого корпусу установки й водяної пари в барометричному конденсаторі $t_{em.б}$, називається загальною різницею температур Δt_o :

$$\Delta t_o = t_{г.н.} - t_{em.б.}$$

Різниця між температурою гріючої пари і температурою кипіння розчину в одному апараті називається корисною різницею температур, °С або К:

$$\Delta t_{кор} = t_{г.н.} - t_k = \Delta t_o + \sum \Delta_{ним}.$$

Для визначення площі поверхні нагрівання випарного апарата корисну різницю температур $\Delta t_{кор}$ виражають через середню рушійну силу. Тоді площа поверхні нагрівання апарата, м:

$$F = Q / (K \Delta t_{кор}) ,$$

де K – коефіцієнт теплопередачі.

Розподіл корисної різниці температур між окремими корпусами визначають при розрахунку:

- на мінімальну загальну площу поверхні всіх корпусів – пропорційно відношенню $\frac{\sqrt{Q_i/K_i}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{Q_i/K_i}}$

де Δt_i – корисна різниця температур i -ого корпусу, °С;

- на рівну площу поверхні корпусів $\frac{Q_i/K_i}{\sum_{i=1}^n Q_i/K_i}$ пропорційно відношенню Q/K :

5. Розрахунок барометричного конденсатора

Для створення вакууму у випарних установках зазвичай застосовуються конденсатори змішання з барометричною трубою.

Витрата води на конденсаторі визначається з рівняння теплового балансу конденсатора, кг/с:

$$G_e = \frac{W(i_{\text{до}} - C t_{\text{кін}})}{C(t_{\text{поч}} - t_{\text{кін}})}$$

де W – витрата вторинної пари (випареної води) в останньому корпусі випарної установки, кг/с;

i_{em} – питома ентальпія вторинної пари в барометричному конденсаторі, Дж/кг;

$t_{в.поч}$, $t_{в.кін}$ – початкова і кінцева температура відповідно охолоджувальної води та суміші води і конденсату, °С.

Різниця температур між парою і рідиною на виході з конденсатора повинна бути 3...5°C. Тому кінцева температура води на виході з конденсатора приймається на 3...5°C нижче температури конденсації пари:

$$t_{кін} = t_{б.к.} - (3...5),$$

де $t_{б.к.}$ — температура пари в барометричному конденсаторі, °C.

Діаметр труби барометричного конденсатора визначається з рівняння витрати, м:

$$d_{б.к.} = \sqrt{\frac{4W}{\rho_n \pi v}},$$

де ρ_n — щільність пари, кг/м³;

v — швидкість руху пари, м/с, при залишковому тиску в конденсаторі приблизно 10⁴ Па можна прийняти $v = 15...25$ м/с.

Швидкість води в барометричній трубці, м/с:

$$v_{в.} = \frac{4(G_{в.} + W)}{\rho_{в.} \pi d_{б.к.}^2},$$

де $\rho_{в.}$ — щільність води, кг/м³.

Висота барометричної труби, м:

$$H_{б.м.} = \frac{B}{\rho_{в.} g} + (1 + \sum \xi + \lambda_{тр} \frac{H_{б.м.}}{d_{б.м.}}) \frac{v_{в.}^2}{2g} + 0,5,$$

де B — вакуум у барометричному конденсаторі, Па;

$$B = P_{атм.} - P_{б.к.} = 9,8 \times 10^4 - P_{б.к.},$$

$P_{б.к.}$ — тиск у барометричному конденсаторі, Па;

$\sum \xi$ — коефіцієнт місцевих опорів на вході і виході із труби, можна прийняти $\sum \xi = 1,5$;

$\lambda_{тр}$ — коефіцієнт тертя.

Коефіцієнт тертя залежить від режиму течії води в барометричній трубці, що характеризується числом Рейнольдса

$$Re = v_{\text{в}} d_{\text{б.т.}} \rho_{\text{в}} / \mu_{\text{в}},$$

де $\mu_{\text{в}}$ – динамічна в'язкість води, мПа·с.

Обчисливши число Рейнольдса, можна знайти коефіцієнт тертя по таблицях [3].

Приклад розрахунку однокорпусної випарної установки

Задача. Визначити витрату гріючої пари і площу поверхні нагрівання однокорпусної установки для концентрування розчину їдкого натру.

Вихідні дані для розрахунку

1. Витрата розчину $G = 2500$ кг/ч.
2. Початкова (вихідна) концентрація розчину $X_{\text{поч}} = 5\%$.
3. Кінцева концентрація розчину $X_{\text{кін}} = 40\%$.
4. Тиск гріючої пари $P_{\text{г.п.}} = 0,6$ МПа.
5. Тиск вторинної пари $p_{\text{вт}} = 0,015$ МПа.
6. Розчин надходить в установку підігрітим до температури 100 °С.

Подача установки по випарюваній воді

$$W = G (1 - (X_{\text{поч}} / X_{\text{кін}})) = \frac{2500}{3800} \times \left(1 - \frac{5}{40}\right) = 0,6 \text{ кг/с.}$$

Перевіряємо кінцеву концентрацію випареного розчину:

$$X_{\text{кон}} = G X_{\text{поч}} / (G - W) = \frac{2500 \times 0,05}{2500 - 2160} = 0,36 = 36\%$$

Надалі розрахунок можна виконувати на 1 кг розчину, що надходить на випарювання:

$$w = W / C = \frac{2160}{2500} = 0,86 \text{ кг.}$$

Питома теплоємність розчину при початковій концентрації

$$C = (C_{\text{сух}} X_{\text{поч}} + (100 - X_{\text{поч}})) / 100 = \frac{4,13 \times 5 + (100 - 5)}{100} = 1,15 \text{ кДж/(кг·К),}$$

де $C_{\text{сух}}$ – питома теплоємність речовини в чистому виді, кДж/(кг·К),

$$C_{\text{сух}} = 4,13 \text{ кДж/(кг·К).}$$

Температурну депресію знаходять по довідкових матеріалах [2], $\Delta_{+} = 28$ °С.

Гідростатичну і гідравлічну депресію можна прийняти

$$\Delta r + \Delta_{зідр} = 2^{\circ}\text{C}.$$

Тоді сумарна депресія

$$\Sigma\Delta = \Delta_+ + \Delta r + \Delta_{зідр} = 28,0 + 2,0 = 30^{\circ}\text{C}.$$

Температура кипіння розчину

$$t_{кр} = 54 + 30 = 84^{\circ}\text{C}.$$

По таблицях водяної пари необхідно знайти ентальпії гріючої і вторинної пари:

$$P_{г.н} = 0,6 \text{ мПа}; \quad i_{г.н} = 2765 \text{ кДж/кг};$$

$$P_{в.м} = 0,15 \text{ мПа}; \quad i_{в.м} = 2489 \text{ кДж/кг}.$$

Коефіцієнти випару і самовипару:

$$\alpha_i = \frac{i_{г.н} - t_n}{i_{вт.} - t_{к.р}} = \frac{2765 - 158,0}{2489 - 180,0} = 1,12;$$

$$\beta = \frac{i_0 - t_{к.р}}{i_{вт.} - t_{к.р}} = \frac{101 - 180,0}{2489 - 180,0} = 0,034,$$

де t_0 – температура кипіння розчину на вході в апарат, $^{\circ}\text{C}$.

Питома витрата гріючої пари

$$d_{г.н} = \frac{\omega - \epsilon \beta}{\alpha_u} = \frac{0,86 - 1,15 \times 0,034}{1,12} = 0,82 \text{ кг/кг}.$$

Загальна витрата пари

$$D = d G_{нач} = 0,82 \times 2500 = 2052 \text{ кг/г}.$$

Теплова подача апарата

$$Q = D (i_{г.н} - t_n) = 2052 (2765 - 158) = 5349564 \text{ кДж/г}.$$

Температурний напір

$$\Delta t = 158,0 - 80,0 = 78^{\circ}\text{C}.$$

При розрахунку приймають коефіцієнт теплопередачі в I год $K=1530 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Площа поверхні нагрівання установки

$$F = \frac{Q}{k \times \Delta t} = \frac{5349564}{1530 \times 78} = 44,9 \text{ м}^2.$$

За ГОСТ II 987-8I вибираємо випарний апарат з наступними характеристиками:

номінальна площа поверхні теплообміну, м ²	63
діаметр труб, мм	38x2
висота труб, мм	4000
діаметр грючої камери, мм	800
загальна висота апарата, мм	13000

Питання для повторювання

1. Для чого проводиться випарювання розчинів?
2. Як вибрати кількість корпусів установки?
3. Як вибирається температурний режим роботи випарної установки?
4. В яких межах слід приймати загальну і корисну різницю температур?
5. Для чого застосовується барометричний конденсатор?

Тема 15. Водопостачання підприємств теплоенергетики

1. Споживачі води на ТЕС.
2. Системи і схеми водопостачання ТЕС і ТЕЦ.
3. Вимоги до якості води.

1. До підприємств теплоенергетики відносяться атомні, теплові та електричні станції для міст, районів та промислових підприємств. Підприємства теплоенергетики відносяться до найбільш водоемких споживачів в народному господарстві, вони споживають приблизно 25% від загальної витрати води, яку споживають всі промислові підприємства. Достатньо відмітити, одна сучасна ТЕС споживає 100-150 тис. м³/год води. Одночасно ці підприємства характеризуються значною кількістю стічних вод та значною кількістю забруднень.

На теплових електростанціях вода використовується для живлення та продувки котлів, охолодження конденсаторів парових турбін, повітроохолоджувачів та газоохолоджувачів генераторів запитуючих насосів, маслоохолоджувачів систем змащення механізмів, золовидалення та інше. Кожний теплообмінник являє собою батарею латунних або мельхіорових трубок, які знаходяться у металевому корпусі. По трубках циркулює охолоджуюча вода, а між трубками проходить повітря, газ, масло, які потрібно охолоджувати. Нагріта вода після конденсатора часто використовується на

шлако- і золовидалення гідравлічним способом. Найпростіша конденсаційна станція (рис.5.1) передбачає паровий котел 1, з якого пар потрапляє на турбіну 2. Турбіна у свою чергу обертає електричний генератор 3. Відпрацьований пар потрапляє в конденсатор 4, куди насосом 5 подається охолоджуюча вода.

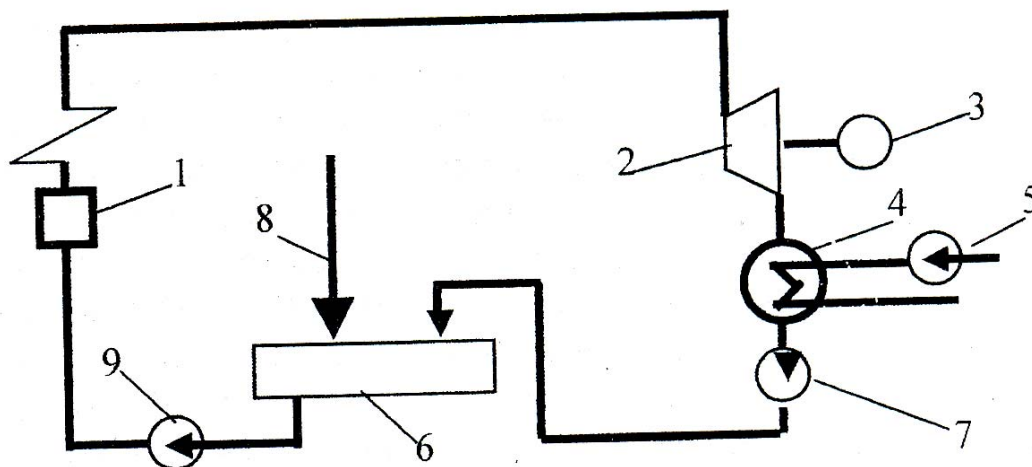


Рис. 15.1 - Схема конденсаційної електростанції:

1- паровий котел; 2- турбіна; 3- електричний генератор; 4- конденсатор; 5-циркуляційний насос; 6- бак запитуючої води; 7- конденсатний насос; 8- подача знесоленої води; 9-запитуючий насос

Конденсат перекачується в бак запитуючої води 6. В бак подається додатково свіжа очищена і знесолена вода. Необхідна кількість води подається в котел насосом 8.

Пар виробляється в котлах, в яких спалюють вугілля, газ, нафтопродукти, торф. На атомних станціях парові котли замінені на атомні реактори. Електричні станції, які виробляють тільки електроенергію, зветься конденсаційними. Якщо додатково виробляється теплова енергія (пар на технологічні потреби, опалення, гаряче водопостачання), то вони називаються теплофікаційними. Витрати води на електростанціях можуть доходити, в залежності від їх потужності, до 100 м³/с.

На сучасних ТЕС утворюються наступні категорії стічних вод:

1. продувочні води систем оборотного водопостачання і стічні води від охолодження конденсаторів парових турбін, які викликають в основному теплове забруднення водних об'єктів;
2. стічні води від установок хімічної підготовки води, зокрема, від регенерації іонообмінних фільтрів, води конденсатоочисток, для яких характерна висока мінералізація;
3. води систем гідрозоловидалення ТЕС, які спалюють тверде паливо;
4. відпрацьовані розчини після хімічної очистки теплосилового обладнання та його консервації;
5. стічні води від сховищ мазуту;
6. поверхнево-зливові стічні води з території підприємств.

2 Системи і схеми водопостачання ТЕС і ТЕЦ

Схеми водопостачання можуть бути:

- прямоточні (при наявності досить потужного джерела),
- оборотні (найчастіше),
- змішані.

Для охолодження конденсаторів використовується технічна вода без нормування її якості. Проте підвищення коефіцієнту корисної дії паросилової установки досягається покращенням якості води та зниженням її температури.

При прямоточній системі охолодження вода проходить через конденсатор турбіни одноразово, при цьому забір води з ріки здійснюється обов'язково із створу, який розташовано вище по течії, ніж скид води. Вода після використання на охолодженні скидається в річку, водосховище. Така система потребує значних капітальних вкладень, потужних джерел водопостачання, проте забезпечує низькі і стабільні температури води.

Подача води з водойми може забезпечуватись блочною або центральною насосною станцією. При блочній станції на кожний блок (котел, турбіна) подається двома циркуляційними насосами й окремим водоводом. В такій системі засувки і зворотні клапани на напірних лініях не встановлюються, а тепла вода скидається в самопливний канал великого перерізу (4.2×3 м). Система найбільш економічна і надійна. При центральній насосній станції вода подається споживачам по двох- трьох водоводах великого діаметра (3-3.3 м) декількома насосами (не менше чотирьох). В схемі багато запірної й запобіжної арматури, відповідно великі гідравлічні втрати. В прямоточній системі витрати води можуть бути забезпечені тільки на великих річках. Крім того, скид великої кількості теплої води обмежує застосування таких систем.

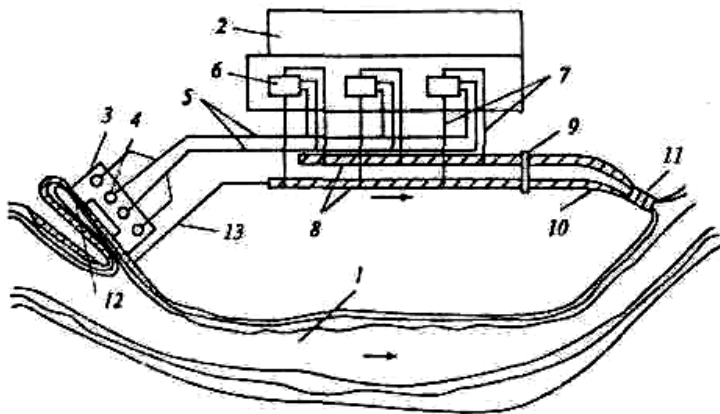


Рис. 15.2 - Схема прямоточної системи технічного водопостачання електростанцій:

1-річка; 2-головний корпус; 3- водоприймальний пристрій та берегова насосна станція; 4- циркуляційні насоси; 5-напірні трубопроводи; 6 – конденсатори турбін; 7-зливні трубопроводи; 8- закритий відвідний канал; 9- пристрій для регулювання води у закритому відвідному каналі; 10-відкритий відвідний канал; 11- водоскидна споруда; 12- водозабір; 13-трубопровід обігрівання водозабору

На теплових і атомних електростанціях з охолоджувальною водою у водні об'єкти скидається велика кількість теплоти. Так, питома кількість теплоти, яка відводиться з охолоджувальною водою при нагріві її у конденсаторах парових турбін на 8-10°C, стає на ТЕС коло 43 кДж/(кВт ч), а на АЕС 73 кДж/(кВт ч) при витраті води 100-300 м³/с. Скидати ці теплі води безпосередньо у водойми не можна, оскільки навіть незначне підвищення температур позначається на екологічній обстановці природних водоймищ.

Таким чином, найбільш вигідною для забезпечення конденсаторів парових турбін водою є оборотна схема з водосховищем-охолоджувачем. У цій схемі дуже важливо забезпечити необхідний хімічний склад охолоджуючої води для того, щоб знизити, або повністю виключити небезпечність утворення щільних сольових відкладень та корозійний знос металу, з якого виготовлені конденсатори. Це і є причиною виготовлення конденсаторів із латуні. З другого боку, потрібно проведення стабілізаційної обробки води у цій системі з метою запобігання утворенню щільних сольових відкладень і корозії. Для цієї системи все це є визначальним для забезпечення її працездатності. Крім того, охолоджуюча вода повинна мати певну температуру.

Найбільш поширеним методом стабілізації охолоджуючої води є продувка систем водяного охолодження, тобто відвід частини оборотної води із заміною її свіжою. При продувці знижуються концентрації усіх домішок, у тому числі хлоридів та сульфатів, що сприяє послабленню процесів корозії в оборотній системі охолодження. Звичайно стабілізацію води проводять разом із обробкою води хімічними реагентами. До хімічних методів обробки охолоджувальної води відносяться підкислення, рекарбонізація, фосфатування.

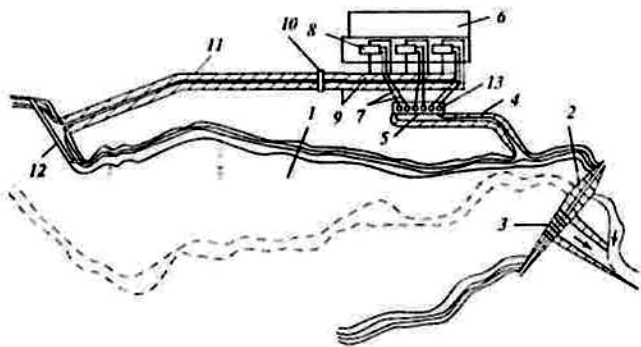


Рис. 15.3 - Схема оборотної системи технічного водопостачання з водосховищем-охолоджувачем:

1-водосховище-охолоджувач; 2-гребля, 3-водоскид греблі; 4-відкритий підвідний канал; 5-водоприймач та берегова насосна станція; 6-головний корпус; 7-напірні трубопроводи; 8-конденсатори турбін; 9 – закритий відвідний канал; 10- пристрій для регулювання води у закритому відвідному каналі; 11-відкритий відвідний канал; 12-струморозподільча споруда; 13-трубопровід обігрівання водозабору

При оборотній системі охолодження вода проходить через конденсатор багаторазово. Охолодження нагрітої вод, яка покидає конденсатор, здійснюється за рахунок її часткового випаровування. За СНиП рекомендований перепад температур нагрітої та охолодженої води - до 9°C. В реальних умовах самого жаркого періоду цей перепад часто не забезпечується, що призводить до зниження ефективності роботи ТЕЦ.

Для охолодження можуть бути використані: 1) пруди та водосховища-охолоджувачі, 2) баштові градирні, 3) вентиляторні градирні.

Градирні – це спеціальні пристрої для штучного охолодження рідких теплоносіїв. Вони знайшли велике поширення у промисловості і, зокрема, на ТЕЦ.

Основним робочим елементом градирні є зрошувальний пристрій. Вода після конденсаторів турбін подається на зрошувальний пристрій, в якому розподіляється на краплини, струмені або плівки. Вода у вигляді крапель, струменів та плівок стікає униз, а назустріч їй рухається повітря через бокові отвори знизу витяжної башти (рис.5.4). в процесі взаємодії з повітрям вода охолоджується в результаті конвективного теплообміну та часткового випаровування. Нагріте та насичене водяними парами повітря відводиться уверх через витяжну башту. За взаємним напрямком руху середовищ найбільше поширення у нашій країні отримали протиточні градирні з природною тягою і зрошувальними пристроями.

Вода потрапляє у градирню до зрошувального пристрою на висоті 10-20 м. Висота витяжної башти залежить від типорозміру градирні і може досягати 150 м, діаметр башти внизу 100м, а вихідний діаметр 45-60м. Площа зрошувального пристрою найбільш крупних градирень складає близько 10000м².

Під витяжною баштою градирні мається басейн глибиною 2м для збирання охолодженої води. Вода з басейну циркуляційними насосами подається у головний корпус електростанції.

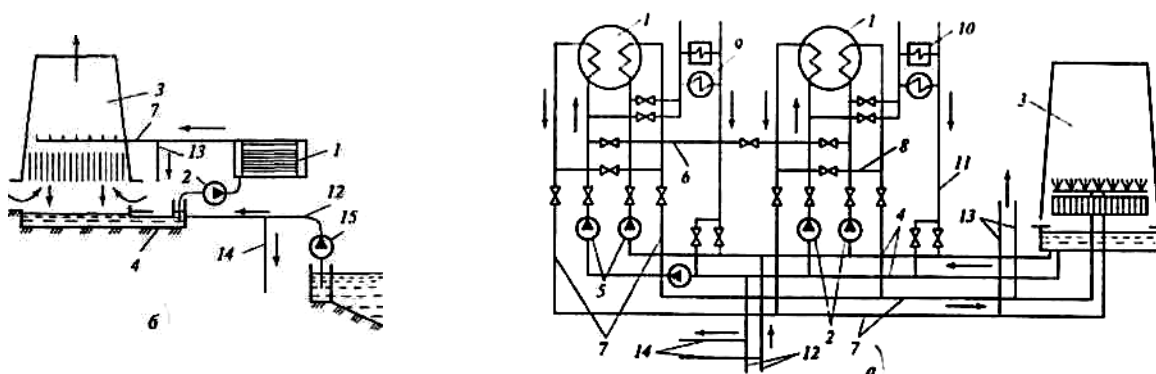


Рис.15.4 - Оборотна система технічного водопостачання з градирнями: а-схема трубопроводів технічної води; б-схема оборотного водопостачання

1-конденсатори турбін; 2-циркуляційні насоси; 3- градирня; 4-підвідні самопливні водоводи к циркуляційним насосам; 5-напірні трубопроводи до конденсаторів турбін; 6-перемичка між напірними трубопроводами до градирні; 8- перемичка між зливними трубопроводами турбін; 9- масло охолоджувачі турбін; 10-газо- та повітроохолоджувачі генератору; 11-трубопровід скидної води від охолоджувачів газу і масла у підвідні водоводи; 12-трубопроводи підживлення циркуляційної системи; 13-трубопроводи продувки циркуляційної системи та подачі води у систему гідрозоловидалення; 14-трубопроводи подачі води на водопідготовку; 15-насоси додаткової води

На великих станціях перевагу слід віддавати оборотним системам з охолодженням води в баштових градирнях (Рівненська атомна електростанція), в водосховищах-охолоджувачах (Хмельницька атомна електростанція), для невеличких станцій – з охолодженням води у вентиляторних градирнях або бризкальних басейнах. При використанні градирень охолоджена вода потрапляє у машинний зал станції, де встановлені циркуляційні насоси подачі води на конденсатори. В деяких випадках використовуються змішані системи, коли в маловодні періоди додатково до прямої системи підключаються водосховища, градирні, бризкальні басейни.

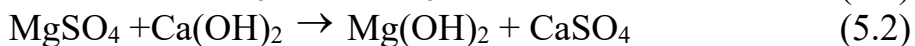
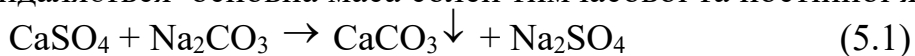
Для охолодження газу, повітря та масла застосовують конденсат, який циркулює в замкненому контурі та охолоджується водою у спеціальних теплообмінниках.

3. Крім охолоджуючих систем оборотного водопостачання у теплоенергетиці є споживачі хімічно обробленої води, які пред'являють до води завищені вимоги. До них відносяться парові котли, випарники, пароутворювачі, теплові мережі з закритою або відкритою системою теплопостачання.

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

Вода для живлення парових котлів проходить спеціальну обробку для надання їй складу та властивостей у відповідність до вимог. З води вилучають механічні домішки, солі жорсткості та розчинний у воді кисень. Поповнення витрат живильної води на ТЕС запроваджується хімічно знесоленою водою або дистиллятом.

Пом'якшення води здійснюється у декілька стадій. Спочатку вода оброблюється реагентним методом (найчастіше содо-вапняним), при якому з води видаляється основна маса солей тимчасової та постійної жорсткості.



Реагентним методом можна знизити загальну жорсткість води до 0,4-0,8 мг-екв/л. Чим вище температура води, яка обробляється, тим нищу жорсткість води можна отримати цим методом. Більш глибоке зм'якшення води досягається застосуванням іонообмінної технології, в результаті якої видаляється та частина солей, що залишилися у воді, а також, якщо потрібно з води видаляються аніони (хлориди, сульфати тощо). На більшості підприємств теплоенергетики для видалення з води солей жорсткості застосовуються натрій-катионітові фільтри. На першому ступені вода знижується до 0,1 мг-екв/л, а на другому – до 0,01 мг-екв/л. У процесі фільтрування іонообмінна смола цих фільтрів поступово насичується солями жорсткості і через визначений час ці фільтри необхідно регенерувати, тобто відновлювати їхню іонообмінну здатність. Для регенерації Na-катионітових фільтрів найчастіше використовують розчин повареної солі NaCl. У результаті регенерації утворюються стічні води, що містять поварену соль, а також солі кальцію і магнію (CaCl₂, MgCl₂). Хімічний склад стічних від регенерації Na-катионітових фільтрів характеризується високим солевмістом та високою жорсткістю. Ці води складають основний об'єм хімічно забруднених стічних вод, що утворюються в процесі хімічної підготовки води. Методи очищення цих стічних вод, на жаль відсутні. Тому вони без очищення скидаються в каналізаційну мережу і потрапляють у водні об'єкти, забруднюючи їх цими солями.

У процесі хімічної підготовки води для живлення парових котлів утворюються декілька видів стічних вод:

- стічні води та осад (шлам) від освітлювачів (вертикальних відстійників) для реагентного (содо-вапняного) зм'якшення води;
- стічні води від промивки механічних фільтрів;
- стічні води від спущування завантаження натрій-катионітових фільтрів;
- засолонені стічні води від промивки (регенерації) натрій-катионітових фільтрів (ці води забруднені солями жорсткості, хлоридами та іншими компонентами сольового змісту).

Схема установки для хімічної підготовки включає практично всі види апаратів для очистки води:

1. очистка від механічних домішок у відстійниках з коагуляцією та флокуляцією;
2. фільтрування води на механічних зернистих фільтрах;
3. зм'якшення води содо-вапняним методом з подальшим прояснюванням пом'якшеної води в освітлювачах із завислим шаром або у вертикальних відстійниках;
4. фільтрування пом'якшеної води на механічних зернистих фільтрах;
5. подальше зм'якшення води на натрій-катионітових фільтрах в один або два ступеня;
6. видалення з води хлоридів та сульфатів на іонообмінних фільтрах.

Контрольні запитання:

1. Основні споживачі води на ТЕС.
2. Системи водопостачання теплових електростанцій, їх характеристика, вибір.
3. Охолодження конденсаторів парових турбін.
4. Хімічна підготовка води для живлення парових котлів.
5. Вимоги до якості води для живлення парових котлів
6. Основні категорії стічних вод підприємств теплоенергетики.
- 7.

Тема 16. Водопостачання атомних електростанцій.

Теплова енергетика виробляє 85% всієї електроенергії і розвивається за рахунок вводу в дію потужних електростанцій з великими енергоблоками, працюючих на високих і зверхвисоких параметрах пару: тиск 130-140 кгс/см², температура 535-565°C.

В сучасних час діють конденсаційні електростанції (ГРЕС) потужністю до 3600МВт з енергоблоками по 200, 300, 800МВт кожний. Теплові електростанції (ТЕЦ) в великих містах обладнуються турбінами по 100 і 250МВт з доведенням потужності до 1000МВт.

Електричні генератори, з допомогою яких механічна енергія перетворюється в електричну, приводяться в дію паровими чи газовими турбінами. Електричні генератори невеликої потужності (до 1000КВт) можуть приводиться в дію двигунами внутрішнього згорання.

Пар для парових турбін виробляється в котлах, де спалюють вугілля, торф, газ, мазут. На атомних електростанціях роль котлів виконують атомні реактори.

Схема конденсаційної електростанції показана на рис. 4.1:

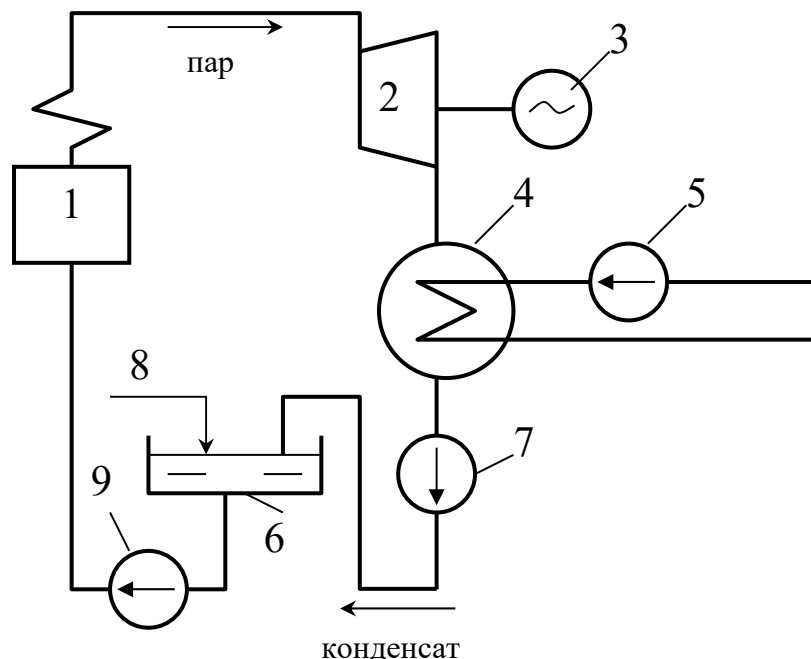


Рисунок 4.1 - Схема конденсаційної електростанції

Із парового котла 1 пар поступає в турбіну 2, котра приводить в дію електричний генератор 3. Відпрацьований пар після турбіни направляється в конденсатор 4, куди подається також охолоджуюча вода з допомогою циркуляційного насосу 5. Конденсат з допомогою конденсатного насосу 7 перекачується в бак 6. Сюди ж подається підпиток хімічно очищеної води або знесоленої води 8. В паровий котел вода подається із бака 6 підпитним насосом 9.

Коефіцієнт корисної дії турбіни можна збільшити підвищивши температуру і тиск пару, поступаючого в турбіну, або знизивши температуру і тиск насиченого пару на виході з турбіни. Електростанції, які працюють на твердому паливі, обладнуються установками для уловлення попелу із димових газів. В деяких випадках в якості попелуловлювачів застосовують мокрі скрубери.

Видалення шлаку і попелу на більшості електростанцій провадиться гідравлічним способом. Шлак і попіл, змішані з водою в вигляді пульпи транспортуються з допомогою багерних і шламових насосів на шлаковідвали, які звичайно проектується у вигляді ставків-відстійників. Ставок утворюється шляхом перегороджування яру земляною греблею або обвалуванням рівнинної площі. Шлак, попіл осаджується в ставки-відстійники, а освітлена вода вертається в котельню електростанції з метою повторного використання для гідротранспорту шлаку і шламів.

Вода, яку ми використовуємо для підживлення котлів, мусить бути очищена від грубодисперсних і колоїдних домішок, солей з обмеженою розчинністю, кисню, а при робочому тиску пару вище 90кгс/см^2 проводиться хімічне обезсолення або підживлення дистилятом.

Для сучасної теплоелектростанції обладнаної, наприклад, вісьмома блоками по 300 тис.кВт кожний, загальні витрати води становлять приблизно $300\text{ тис.м}^3/\text{год}$ літом і $200\text{ тис.м}^3/\text{год}$ зимою.

Тема17. Системи водопостачання підприємств сільського господарства.

1. Класифікація систем сільськогосподарського водопостачання.
2. Приклади систем водопостачання.

1.Сільське господарство є однієї з ведучих галузей народного господарства. У сільській місцевості проживає майже половина населення. Вода в сільському господарстві витрачається на господарсько-питні потреби населення, на тваринницьких фермах, на підприємствах по первинній переробці сільськогосподарської продукції, на приготування рідких підкормок, на

охолодження двигунів сільськогосподарських машин та автомобілів, на полив рослин у парниках та теплицях і для зрошувальних систем.

Системи сільськогосподарського водопостачання по призначенню підрозділяють на :

- 1) системи водопостачання селищ;
- 2) системи водопостачання тваринницьких комплексів і окремо розташованих ферм;
- 3) системи водопостачання пасовищ;
- 4) системи польового водопостачання.

В лікарні, дитячі садки, ясла і багатоповерхові житлові будинки, в приміщення ремонтно-механічних майстерень і тваринницьких ферм влаштовуються водопровідні вводи. Населення, що проживає в одноповерхових житлових будинках, одержує воду, як правило, з водорозбірних колонок.

2. Приклад системи водопостачання селища наведено на рис.17.1.

В тих випадках, коли якість підземних вод не відповідає вимогам ДОСТ до питної води, система водопостачання доповнюється пристроями для обробки води.

Витрати води на водопійних пунктах невеликі, звичайно від 5 до 20м³/доб, тому що прийнято, що водопійний пункт повинен обслуговувати не більш 2000 голів овець, чи 250 голів великої рогатої худоби, чи 250 коней.

Режим водоспоживання на водопійних пунктах має свої особливості.

Влітку в жаркі дні худобу приганяють на водопій 2-3 рази. Таким чином, добова потреба у воді покривається за два-три прийома. Взимку худоба на пасовищах споживає значно менше води. Це варто мати на увазі при проектуванні водопостачання на пасовищах.

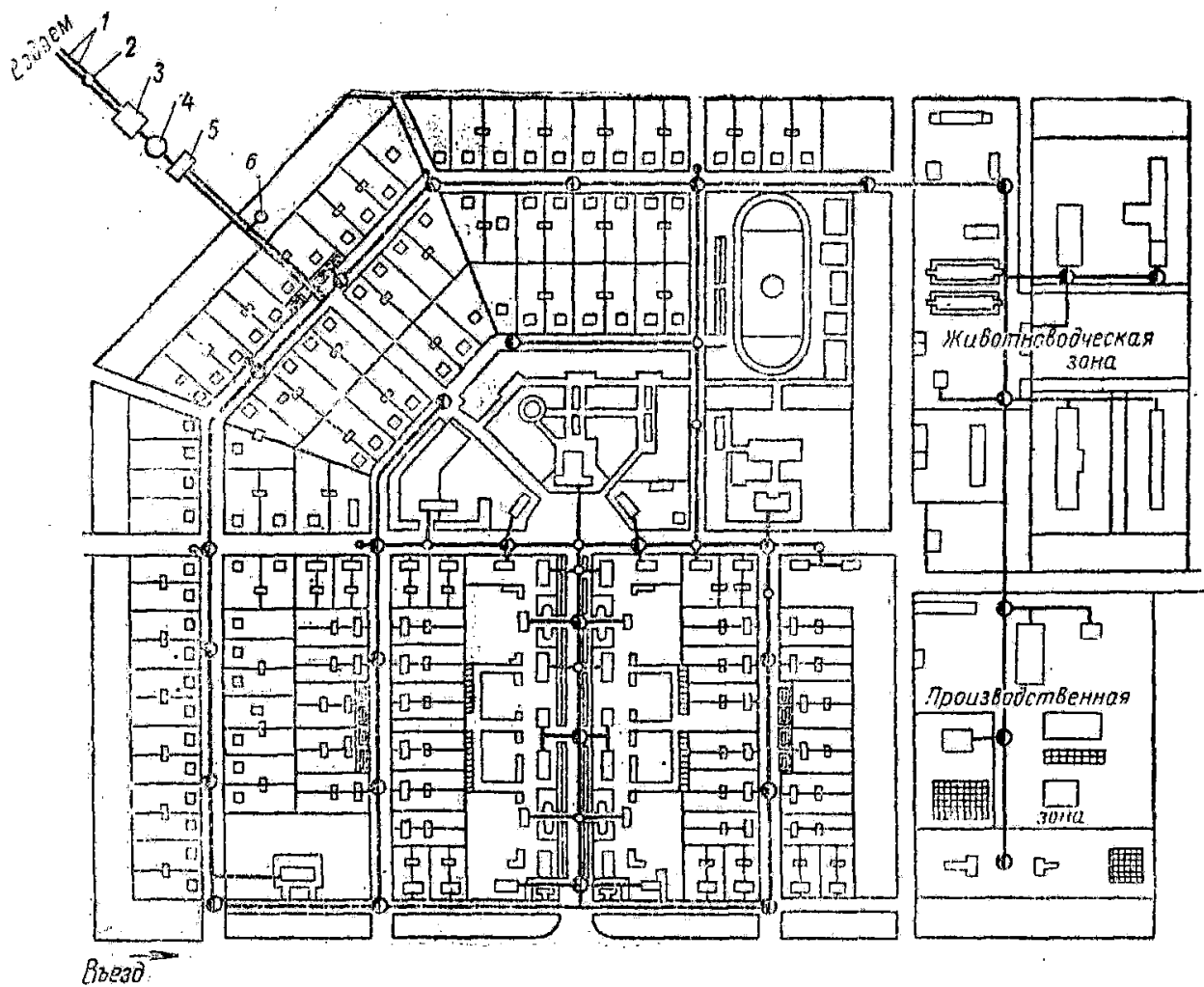


Рисунок 17.1 - Приклад системи водопостачання селища

- 1 – самопливні лінії від водоприймального оголовка;
- 2 – береговий колодязь з насосною станцією першого підйому;
- 3 – очисні спорудження; 4 – резервуари;
- 5 – насосна станція другого підйому; 6 – водонапірна башта.

На водопійних пунктах для напування худоби допускається використання води непитної якості.

Установки з приводом від вітру чи сонячних генераторів необхідно передбачати резервну ємність для води на період затишності або відсутності сонця. Ці джерела енергії можуть використовуватися також і для опріснення води. На рисунку показана технологічна схема розміщення устаткування і споруд водопійного пункту з використанням енергії сонця для підйому та опріснення води.

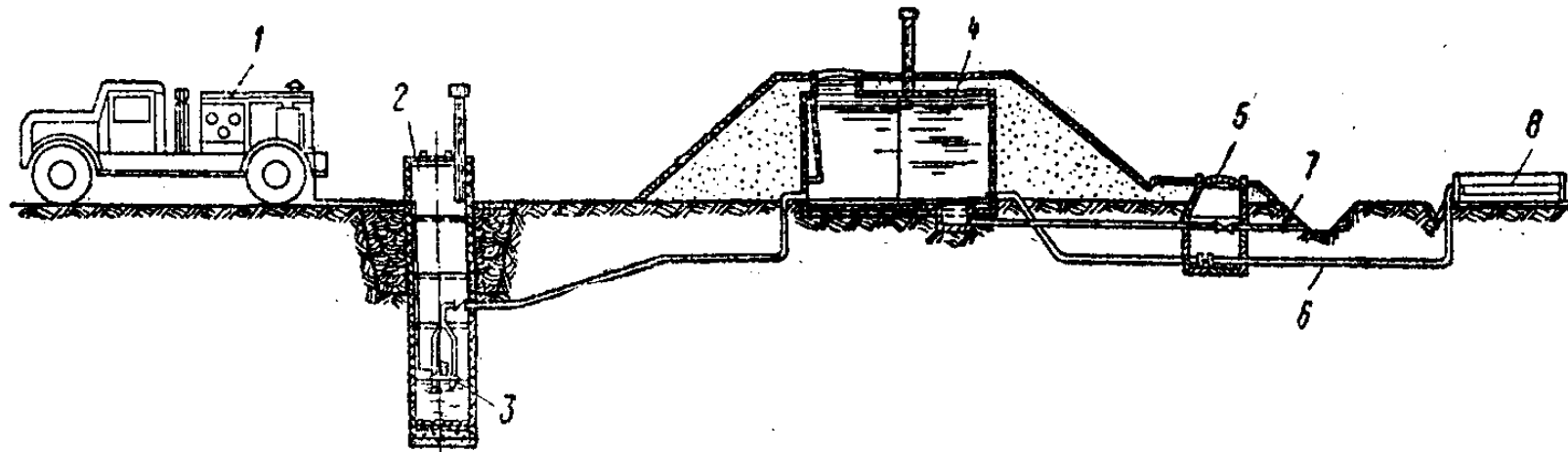


Рисунок 17.2 - Приклад схеми пасовищного водопостачання (водопійний пункт)

1 – пересувна електростанція; 2 – шахтний колодязь; 3 – насос, що плаває; 4 – резервуар ємністю 10 м³; 5 – оглядовий колодязь; 6 – труба, що подає; 7 – грязьова труба; 8 – водопійне корито.

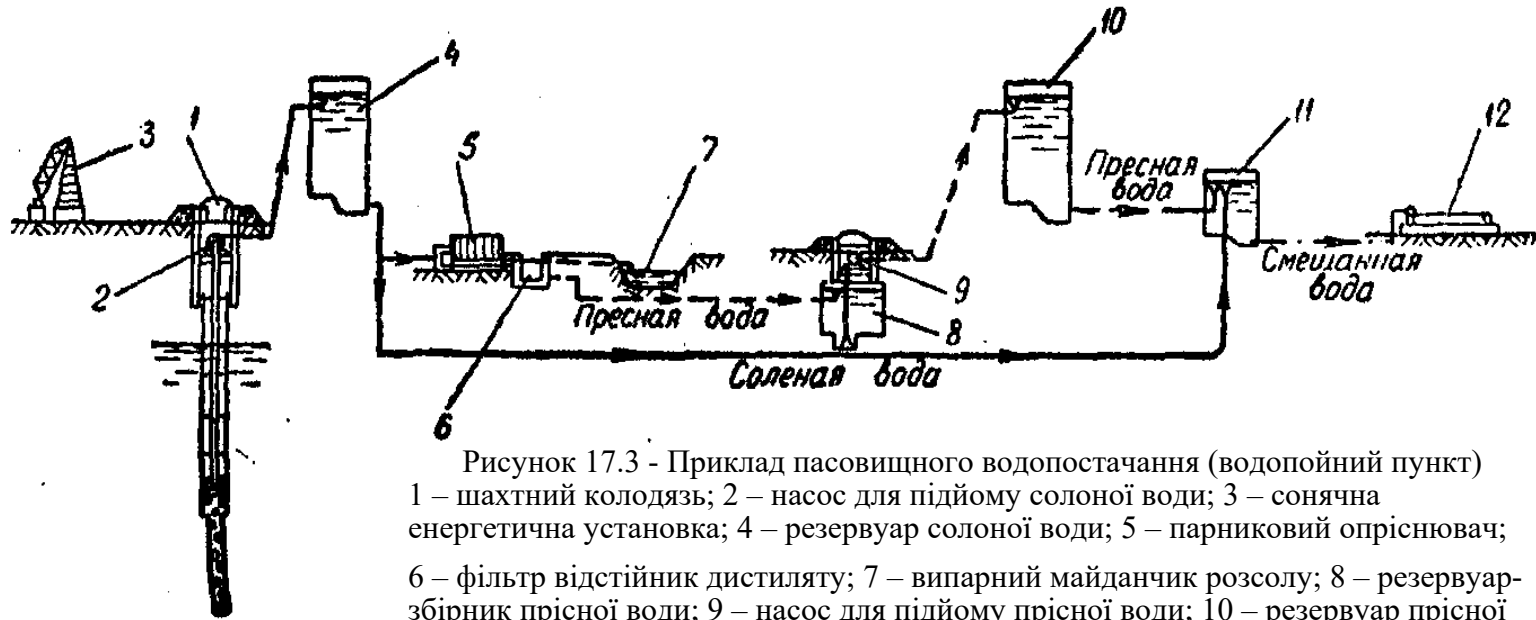


Рисунок 17.3 - Приклад пасовищного водопостачання (водопійний пункт)
 1 – шахтний колодязь; 2 – насос для підйому солоної води; 3 – сонячна енергетична установка; 4 – резервуар солоної води; 5 – парниковий опріснювач;
 6 – фільтр відстійник дистилляту; 7 – випарний майданчик розсолу; 8 – резервуар-збірник прісної води; 9 – насос для підйому прісної води; 10 – резервуар прісної води; 11 – резервуар-змішувач для води; 12 – водопійний майданчик.

