

Габа К.О.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

ВОДНО-ХІМІЧНИЙ РЕЖИМ ЕНЕРГЕТИЧНИХ

ОБ'ЄКТІВ

Київ, 2021 р.

ЗМІСТ

Розділ 1. Загальні положення.....	3
Розділ 2. Методи попередньої обробки вихідної води.....	17
Розділ 3. Обробка живильної води.....	25
Розділ 4. Безреагентні методи обробки води.....	34
Розділ 5. Методи видалення з води розчинених газів.....	43
Розділ 6. Водно-хімічний режим теплових мереж.....	52
Розділ 7. Водно-хімічний режим ТЕС.....	57
Розділ 8. Методи очистки котлів від відкладень.....	68

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Значення водопідготовки у процесах вироблення енергії

Довгі роки водопідготовка не виділялась як галузь техніки. Використовувалися емпірично знайдені прийоми і способи очищення води, головним чином, протиінфекційні. І тому історія водопідготовки – це історія пристосування для підготовки та очищення води відомих хімічних процесів і технологій, що знайшли або знаходять своє застосування.

На сьогодні вода є найбільш доступним і розповсюдженим теплоносієм у теплоенергетиці.

Вода є вихідною сировиною, що використовується для наступних цілей:

- а) як вихідна речовина для одержання пари в котлах, парогенераторах, ядерних реакторах киплячого типу, випарниках, паропереутворювачах;
- б) для конденсації пари, що відпрацювала в парових турбінах;
- в) для охолодження різних апаратів і агрегатів ТЕС і АЕС;
- г) як теплоносіє у теплових мережах і системах гарячого водопостачання.

Недотримання вимог її якості для живлення теплообмінних елементів систем призводить до утворення накипу, відкладень, розвитку корозії на внутрішніх поверхнях котельних агрегатів, теплообмінників, випаровувачів, підігрівачів.

Класифікація та характеристика природних вод

Для водопостачання теплоенергетичних об'єктів використовуються в більшості випадків природні води: як поверхневі так і підземні. Також, останнім часом, у зв'язку з дефіцитом води, енергооб'єкти використовують воду циркуляційних систем підприємств і малозабруднені стічні води.

Для водопостачання *енергетичних об'єктів* використовуються води:

- поверхневі (з рік, озер, ставків);
- підземні (артезіанські свердловини);
- вода циркуляційних систем підприємств;
- мало забруднені стічні води.

Якість річкової води залежить від характеру живлення річки, який може включати в себе:

- поверхневий сток (гірсько-снігові та льодовикові води);
- сток з болот;
- дощові та снігові стоки з поверхні ґрунту;
- ґрунтове живлення водами підземних джерел;
- стічні води промислових підприємств і населених пунктів.

Всі води містять різноманітні домішки, що надходять у воду в процесі її природного кругообігу. Крім того, можливе забруднення вододжерел побутовими та промисловими стоками.

Для більшості річок *хімічний склад води* сильно залежить від гідрометеорологічних умов і пори року, так як поверхневий сток, який виникає за рахунок атмосферних опадів, у окремі пори року є основним.

Ґрунтовий покрив, через який проходить фільтрація води атмосферних опадів, відіграє велику роль у процесі формування складу природних вод. Якщо вода фільтрується через *торф'янисті і болотисті ґрунти*, вона насичується великою кількістю органічних речовин і малою кількістю мінеральних речовин. *Чорноземи* навпаки насичують воду переважно мінеральними речовинами.

Породи, які залягають під ґрунтом, ще у більшій мірі впливають на формування складу води. Вони збагачують воду мінеральними речовинами, в тому числі і накипоутворювачами.

Склад природних вод в значній мірі визначаються і *кліматом*. Велика кількість опадів збільшує поверхневий сток і зменшує мінералізацію за рахунок розбавлення. Мала кількість опадів навпаки збільшує мінералізацію. Тому води північних регіонів мають значно меншу мінералізацію ніж води південних.

У період *весняного танення снігів* поверхневий сток досягає максимуму. Талі води бідні на солі, тому у паводковий період жорсткість, лужність і сухий залишок річкової води знижуються, а концентрація завислих речовин та окислюваність зростають.

Сезонні зміни якості води поверхневих джерел необхідно враховувати при проектуванні водопідготовчих установок.

Склад підземних вод значно менше залежить від гідрометеорологічних умов. Підземні води характеризуються більшою мінералізацією, відсутністю завислих речовин і підвищеним вмістом вільної вуглекислоти.

Води стоячих відкритих водоймищ (водосховища та озера) мають різний склад і мінералізацію залежно від клімату, стоку, величини притоку з річок.

Води морів та океанів високо мінералізовані. Сухий залишок вод відкритого океану досягаю 35000-37000 мг/л, Чорного моря -17000-18000 мг/л, Азовського – 11000-12 000 мг/л. Основними іонами у воді океанів і морів є натрій (30%) і хлор (55%).

Згідно класифікації Валяшко М.Г. виділяють **три геохімічні типи природної** води: карбонатний (специфічні компоненти карбонати та гідрокарбонати натрію), сульфатний (компоненти сульфати натрію і магнію, сульфати магнію) та хлоридний (головні компоненти – хлориди кальцію, хлориди магнію).

Переважає більшість джерел водопостачання на території України відносяться до класу кальцієво-карбонатних вод.

Всі домішки поділяють на три види в залежності від їх розмірів.

1. **Істинно розчинені домішки** - знаходяться у воді у вигляді іонів, окремих молекул, комплексів або складаються з декількох молекул. Розмір частинок менше 10^{-6} мм. В істинно розчиненому вигляді у воді знаходяться гази (O_2 , CO_2 , H_2S , N_2), а також катіони і аніони солей Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- .

2. **Колоїдно-розчинені домішки** - розмір частинок 10^{-6} - 10^{-4} мм. Кожна з частинок утворена великою кількістю молекул. Такі домішки можуть бути органічного (гумінові речовини, які вимиваються з ґрунту) або мінерального походження (кремнієві кислоти, з'єднання заліза).

3. **Грубодисперсні домішки** - розмір частинок більше 10^{-4} мм. Це рослинні рештки, частинки піску, глини і т.і. Вміст грубодисперсних домішок у природних водах різний в залежності від пори року: для рівнинних річок

максимальний вміст у період танення снігів і паводків, а для гірських річок – у паводок і в період злив у горах.

Іонний склад води

У водах енергетичних об'єктів можуть бути присутні іони, наведені у таблиці 1.1

Таблиця 1.1

Катіони	Аніони
Водень H^+	Гідроксильний OH^-
Натрій Na^+	Бікарбонатний HCO_3^-
Калій K^+	Карбонатний CO_3^-
Амоній NH_4^+	Нітритний NO_2^-
Кальцій Ca^{2+}	Нітратний NO_3^-
Магній Mg^{2+}	Хлоридний Cl^-
Залізо двовалентне Fe^{2+}	Фторидний F^-
Залізо тривалентне Fe^{3+}	Сульфатний SO_4^{2-}
Алюміній Al^{3+}	Силікатний SiO_3^{2-}
Мідь Cu^{2+}	Ортофосфатний PO_4^{3-}
	Гідросульфідний HS^-

Основні показники якості води

Для оцінки **якості природних вод** і вод енергооб'єктів на різних стадіях технологічних процесів прийняті **наступні показники**:

Показники якості води поділяють на *фізичні, хімічні та санітарно-біологічні*.

До фізичних відносяться: температура води, вміст завислих речовин, кольоровість, присмак і запах.

Хімічні показники: солевміст, загальна і карбонатна жорсткість, вміст з'єднань заліза, концентрація водневих іонів (рН), розчинений кисень і вуглекислий газ.

Санітарно-біологічні – БПК, ХПК.

Завислі речовини визначаються шляхом фільтрування і подальшим висушуванням фільтру із завислими речовинами при температурі 105 °С. Приріст маси виражається у мг/л. При необхідності швидко отримання результату концентрацію завислих речовин визначають іншими методами косвенними, паприка, визначають прозорість води по хресту або по шрифту.

Сухим залишком називається сумарна кількість нелетких речовин, які присутні у воді у колоїдному та молекулярно-дисперсному стані, вираженому у мг/л або у г/м³. Сухий залишок визначається шляхом випарювання профільтрованої проби і подальшого просушування залишку при температурі 110-120 °С. Кількість цих речовин, визначене зважуванням і перераховане на 1 л води, і дає сухий залишок. У поняття сухого залишку не входять розчинені гази, а також леткі (наприклад NH₃) і завислі речовини.

Крім сухого залишку розрізняють *прокалений, мінеральний та сульфатний залишок*. Якщо сухий залишок прокалювати протягом декількох хвилин при 800°, то за рахунок згорання органічних речовин і випаровування залишків вологийого вага зменшується і утворюється *прокалений залишок*.

Мінеральний залишок (загальний солевміст) визначається шляхом підсумовування концентрацій катіонів і аніонів, визначених при проведенні повного хімічного аналізу води.

Сульфатний залишок отримують шляхом обробки сухого залишку сірчаною кислотою, в результаті чого утворюються сульфати, загальна вага яких і дає сульфатний залишок.

Окислюваність— показник, який характеризує вміст у воді органічних речовин. Виражає кількість мг кисню, необхідного для окислення при певних умовах органічних речовин, що містяться у 1 л води. Зазвичай у якості окислювача використовується перманганат калію KMnO₄ і визначають так звану «перманганатну окислюваність», виражена у мг/л O₂.

Загальна жорсткість — сумарна концентрація у воді катіонів кальцію і магнію. Жорсткість виражають у міліграм-еквівалентах (мг-екв/л) або в мікрограм-еквівалентах (мкг-екв/л) на 1 л води.

Загальна жорсткість дорівнює сумі карбонатної і не карбонатної жорсткості.

$$Ж_z = Ж_k + Ж_{нк}$$

Карбонатна жорсткість обумовлена наявністю у воді бікарбонатів і карбонатів кальцію і магнію.

Некарбонатна жорсткість обумовлена присутністю у воді хлоридів і сульфатів кальцію та магнію.

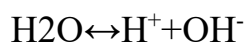
Виділяють також *кальцієву* $Ж_{Ca}$ та *магнієву жорсткість* $Ж_{Mg}$. Кальцієву жорсткість складають з'єднання кальцію, магнієву жорсткість – з'єднання магнію.

Загальна лужність води – сумарний вміст у воді розчинених речовин, які обумовлюють при дисоціації або гідролізі підвищену концентрацію іонів OH^- . Загальну лужність виражають у міліграм-еквівалентах (мг-екв/л).

В залежності від того, які з аніонів присутній у воді розрізняють *бікарбонатну* (HCO_3^-), *карбонатну* (CO_3^{2-}) та *гідратну* (OH^-).

Вода завжди електролітично нейтральна, тому сума концентрацій катіонів дорівнює сумі концентрації аніонів.

Молекула води дисоціює на іони



Від'ємний логарифм концентрації іонів водню називається **водневим показником pH**.

$$-lg[H^+] = pH$$

В залежності від значення pH водного розчину оцінюється реакція:

Кисле.....pH=1-3

Слабокисле.....pH=4-6

Нейтральне.....pH=7

Слаболужне.....pH=8-10

Лужне.....pH=11-14

Розчинені гази. Для вод, які використовуються для енергетичних потреб важливе значення мають розчинені у воді гази: кисень, вуглекислота, сірководень, аміак.

Кисень надходить у воду з повітря (21% у повітрі). Основним джерелом надходження вуглекислоти у воду є біохімічні процеси розкладу органічних речовин у природі. Розчиняючись у воді, CO_2 реагує з водою, утворюючи гідратовану форму вуглекислоти H_2CO_3 .

Принципові схеми обороту води у робочих циклах теплоелектростанцій та опалювальних котельнях

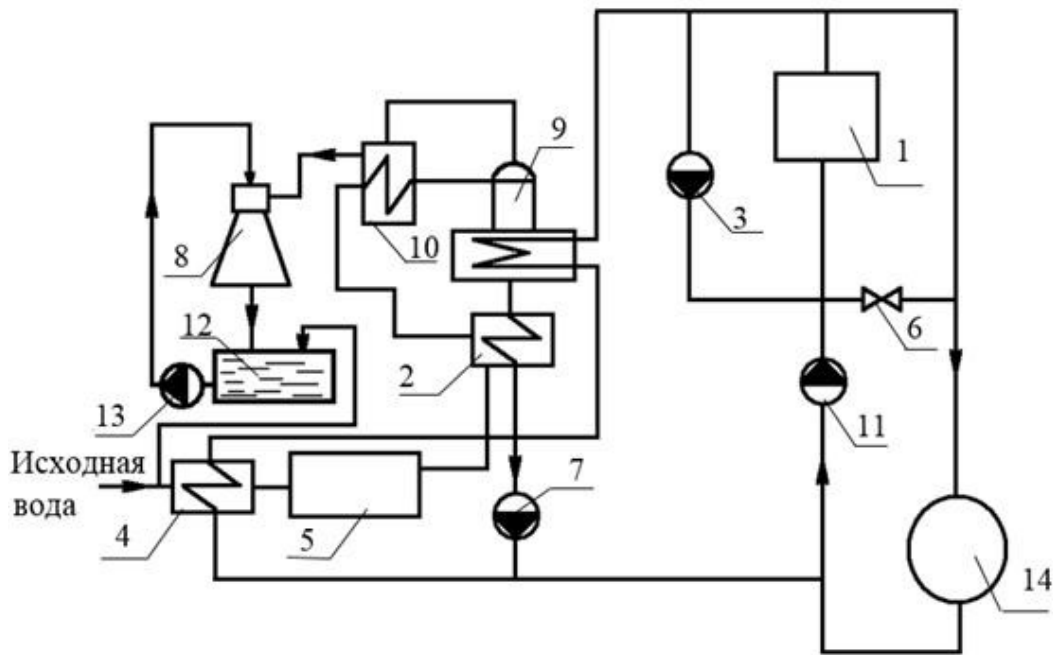


Рис. 1 Принципова схема водогрійної котельні

1 – котел; 2 – підігрівач хімічищеної води після першої ступені очистки; 3 – насос рециркуляції; 4 – підігрівач сирової води; 5 – хімоводоочистка (ХВО); 6 – перепуск холодної води для підтримання постійної температури води за котлом і зниження температури води, яка іде в теплові мережі; 7 – насос для підживлення теплових мереж; 8 – ежектор для створення вакуума в деаераторі; 9 – атмосферний деаератор; 10 – охолоджувач випару з деаератора; 11 – мережний насос; 12 – бак технічної води; 13 – насос до ежектора; 14 – споживач, який використовує тепло на потреби опалення, вентиляції і гарячого водопостачання.

Вода, яка використовується на енергооб'єктах в залежності від її місця знаходження і виду обробки, має такі назви:

Вихідна вода – вода, яка подається в котельня з водопроводу або власного джерела водопостачання.

Хімічно оброблена вода – вода, яка пройшла етапи підготовки.

Конденсат – вода, яка отримана в результаті конденсації пари у конденсаторі.

Живильна вода – вода, призначена для живлення парових та водогрійних котлів.

Котлова вода – вода, яка знаходиться у котлі.

Мережна вода – вода, яка циркулює у тепловій мережі.

Підживлювальна вода – вода, яка подається у теплову мережу для компенсації втрат і розбору на гаряче водопостачання.

Вплив домішок води на надійність роботи теплоенергетичного обладнання

Розчинені у воді речовини викликають перебої у роботі енергетичного обладнання. В основному це пов'язано з утворенням на теплообмінних поверхнях агрегатів накипних відкладень та корозії.

1. При великих значеннях лужності і солемісту відбувається спінювання котлової води і занос солей у пароперегрівач.
2. В теплофікаційних водогрійних котлах при підігріві води вище 130 °С утворюються відкладення гіпсу CaSO_4 .
3. У теплообмінних апаратах при температурах 25-50 °С утворюються низькотемпературні відкладення карбонату кальцію CaCO_3 . Накипні відкладення знижують теплопродуктивність апаратів і підвищують втрати напру у трубах.
4. У підігрівачах ГВП, де підігрів води відбувається до 70°C, при використанні недеаерованої води утворюються накипні відкладення та розвиваються процеси корозії.
5. Утворення на внутрішніх поверхнях нагріву відкладень приводить до перегріву металу, появі віддулін, свищів, розривів екранних труб.

Накипоутворення. Види відкладень теплоенергетичного обладнання.

Процес утворення відкладень – складний механізм, який протікає в декілька стадій: утворення мікрокристалів солей, їх ріст, коагуляція з дисперсними частинками в більші колоїдні з'єднання; перенесення складових відкладень до стінок та їх осадження на поверхню під дією різних сил, закріплення частинок під дією електрохімічних сил, видалення або звичайне змивання під дією потоку, старіння відкладень через впарювання і рекристалізації солей, при яких структура відкладень стає щільнішою.

Відкладення, які утворюються на поверхні нагріву, називаються *первинним накипом*.

Грубодисперсні частинки, які знаходяться у товщі води називаються *шламом*.

Шлам може осідати на поверхнях нагріву з утворенням *вторинні відкладення* (вторинний накип).

За хімічним складом відкладення поділяють на:

- а) лужноземельних металів, які містять CaCO_3 , CaSO_4 , CaSiO_3 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{MgO} \cdot \text{Mg}(\text{OH})$. В залежності від аніона їх розділяють на карбонатні, сульфатні, фосфатні та силікатні.
- б) залізо оксидні і залізо фосфатні.
- в) мідні накипи.

Карбонатні накипи утворюються в теплообмінниках, теплових мережах, конденсаторах турбін. В умовах некиплячого середовища відкладення утворюються густі, кристалічного характеру. В умовах киплячого середовища CaCO_3 зазвичай випадає у шлам.

Сульфатні накипи утворюються густі відкладення, міцно зв'язані з металом.

Силікатні накипи мають великий склад CaSiO_3 , $5\text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $2\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, різноманітні за своєю структурою і утворюють плотні, пористі і комкові відкладення.

Залізооксидні накипи складаються в основному з магнетита Fe_3O_4 , відкладаються зазвичай у зоні високих температур – на екранних трубах.

Залізофосфатні накипи NaFePO_4 , $\text{Fe}(\text{PO}_4)_2$ утворюються при підвищеному вмісті в котловій воді заліза, фосфату натрію і низькій лужності.

У *мідних накипах* міститься 30 і більше відсотків міді з домішками оксиду заліза, з'єднань магнію і кальцію. Мідь у накипах присутня у вигляді металу і оксиду. Такі накипи утворюються у зонах високих температур на стороні труби боку топки. Мідь надходить у котел з живильною водою як продукт корозії латуні та інших сплавів конденсатного тракту.

Основною умовою утворення твердої фази деякої солі Kt_nAn_m у воді при даній температурі є пересичення по цьому з'єднанню, яке описується наступною нерівністю:

$$[\text{Kt}]^n \cdot [\text{An}]^m \cdot f_{\text{Kt}}^n \cdot f_{\text{An}}^m > \text{ДР}_{\text{KtAnm}}, \quad (1.1)$$

де, $[\text{Kt}]$ і $[\text{An}]$ – концентрації катіонів та аніонів даної солі;

f_{Kt} , f_{An} – коефіцієнти активності цих іонів;

ДР_{KtAnm} – добуток розчинності даної солі.

Найбільш вагомим фактором, який впливає на процес утворення відкладень, є *температура теплоносія*. Відомо, що при температурі 60-70 °С в основному осаджується карбонат кальцію CaCO_3 , при 70-100 °С – гідроксид магнію $\text{Mg}(\text{OH})_2$, а при температурі вище 100 °С осад складається із кристалогідратів та сульфату кальцію CaSO_4 .

Відкладення мають низький у порівнянні з металом коефіцієнт теплопровідності.

В найбільшій мірі на теплопровідність відкладень впливає їх *пористість*. Зниження пористості призводить до росту теплопровідності. Найменшу теплопровідність мають відкладення, які містять у своєму складі продукти термолізу органічних з'єднань, а також силікатні відкладення, найбільшу – залізоокисні відкладення.

Величина теплопровідності різних видів накипу в залежності від її складу наведені у таблиці 1.2

Таблиця 1.2

Коефіцієнти теплопровідності різних видів накипу

Вид відкладень та її хімічний склад	λ , Вт/м · К
Накип, просочений маслом	0,1- 0,15
Силікатна із вмістом кремнекислих з'єднань 20% і вище	0,25 – 0,5
Карбонатна із вмістом CaCO_3 і MgCO_3 до 70%	
аморфного типу	0,2 – 1
твердого типу	0,5 – 5,5
Сульфатна (гіпсова) із вмістом гіпсу CaSO_4 більше 50%	0,5-2,5
Накип, який складається з оксидів заліза	4,6 – 5,7

Оскільки відкладення мають низьку теплопровідність, то навіть дуже малий шар накипу призводить до різкого погіршення умов охолодження металу поверхонь нагріву і як наслідок до підвищення його температури.

Підвищення температури стінки t_{cm} труби в результаті утворення накипу описується формулою

$$t_{cm} = t_g + \frac{\sigma_{від}}{\lambda_{від}} q + \frac{q}{\alpha},$$

де t_g - температура середовища (води), °С;

$\sigma_{від}$ - товщина відкладень, м;

$\lambda_{від}$ - коефіцієнт теплопровідності відкладень, Вт/ м·К;

α - коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до середовища, Вт/ м²·К.

Сукупний вплив товщини шару накипу і її теплопровідності виражається комплексом, відомий як «термічний опір». Зі збільшенням товщини шару δ і зменшенням його теплопровідності λ термічний опір зростає. Це призводить до

підвищення температури димових газів t_d'' , і зростання втрат теплоти із вихідними газами q_2 .

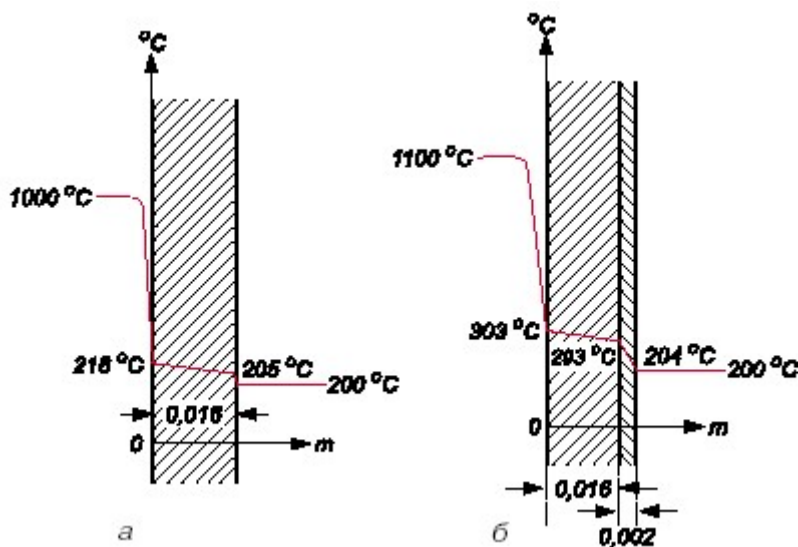


Рис. 2. Передача тепла через поверхню нагріву без накипу (а) або з накипом (б)

Коефіцієнт теплопередачі k_L для циліндричної стінки розраховується через суму термічних опорів за формулою

$$\frac{1}{k_L} = \frac{1}{\alpha_o \cdot d_1} + \frac{1}{\alpha_n \cdot d_2} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{ст}} \cdot \ln \frac{d_1}{d_2} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{нак}} \cdot \ln \frac{d_1}{d_2 - 2\delta},$$

де k_L - коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²·К;

d_1, d_2 - зовнішній та внутрішній діаметр труби, мм;

α_d, α_n - коефіцієнти тепловіддачі димових газів та теплоносія, Вт/м²·К;

$\lambda_{ст}, \lambda_{нак}$ - коефіцієнт теплопровідності стінки та накипу, Вт/м·К.

Перші три доданки представляють собою сумарний термічний опір чистого, без відкладень, котла, а останній – додатковий опір шару накипу, тобто

$$\frac{1}{k_{iae}} = \frac{1}{2 \cdot \lambda_{iae}} \cdot \ln \frac{d_1}{d_2 - 2\delta}$$

Термічний опір у значній мірі впливає на ККД роботи котла та витрату ним палива. Для відкладень багатих на залізо перевитрата є незначна – 2 – 2,5%, для гіпсових відкладень 5-25%, а для накипу багатого на силікати вона може досягати 60-90 і навіть 100% в залежності від густини.

Утворення шару відкладень товщиною 1 мм за даними різних джерел погіршує процес теплообміну на 5-20% в залежності від її складу і типу котла, і веде за собою перевитрати палива на 5-8%. За рахунок різних значень коефіцієнтів теплопровідності металу та утвореного шару відкладень, збільшення товщини останнього призводить до зниження температури теплоносія.

Вимоги до якості води встановлюються нормативним документом ДНАОП 0.00-1.08-94 «Правила будови та безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів». Глава 8 Водно-хімічний режим котлів. <http://ohranatruda.in.ua/pages/5320/>

Водно-хімічний режим повинен забезпечувати роботу котла та живильного тракту без пошкоджень їх елементів унаслідок відкладення накипу і шламу, підвищення відносної лужності котлової води до небезпечних границь або внаслідок корозії металу. Підживлювання сирого водою котлів, обладнаних пристроями для докотлової обробки води, не допускається.

Норми якості котлової води, необхідний режим її корекційної обробки, режими безперервної і періодичної продувок приймаються на підставі інструкції підприємства – виготовлювача котла, типових інструкцій з ведення водно-хімічного режиму та інших відомих нормативних документів або на підставі теплохімічних випробувань.

**Норми якості живильної води водотрубних котлів
з робочим тиском пари до 4 МПа (40 кгс/см²)**

Показник	Робочий тиск, МПа (кгс/см ²)			
	0,9(9)	1,4(14)	2,4(24)	4(40)
Прозорість за шрифтом, см, не менше	30	40	40	40
Загальна твердість, мкг-екв/кг	<u>30</u> ¹	<u>15</u> ¹	<u>10</u> ¹	<u>5</u> ¹
	40	20	15	10
Вміст з'єднань заліза (в перерахунку на Fe), мкг/кг	Не нормується	300 ¹ Не нормується	<u>100</u> ¹ 200	<u>50</u> ¹ 100
Вміст з'єднань міді (в перерахунку на Cu), мкг/кг	Не нормується			10 ¹ Не нормується

Вміст розчиненого кисню, мкг/кг (для котлів з паропроодуктивністю 2 т/год і більше) ² , мкг/кг	<u>50</u> ¹ 100	<u>30</u> ¹ 50	<u>20</u> ¹ 50	<u>20</u> ¹ 30
Значення рН при 25 °С ³	8,5 – 10,5			
Вміст нафтопродуктів, мг/кг	5	3	3	0,5

**Норми якості живильної води парових енерготехнологічних котлів
і котлів-утилізаторів з робочим тиском пари до 5 МПа (50 кгс/см²)**

Показник	Робочий тиск, МПа (кгс/см ²)				
	0,9(9)	1,4(14) і 1,8(18)		4(40) і 5(50)	
	Температура гріючого газу (розрахункова), °С				
	До 1200 включно	До 1200 включно	Більше 1200	До 1200 включно	Більше1200
Прозорість за шрифтом, см, не менше	<u>30</u> ¹ 20	<u>40</u> ¹ 30	40		
Загальна твердість, мкг- екв/кг	<u>40</u> ¹ 70	<u>20</u> ² 50	15	10	5
Вміст з'єднань заліза (в перерахунку на Fe), мкг/кг	Не нормується		150	100	50 ³
Вміст розчиненого кисню: а) для котлів з чавунним економайзером або без економайзера, мкг/кг	150	100	50	50	30
б) для котлів з стальним економайзером, мкг/кг	50	30	30	30	20
Значення рН при 25 °С	Не менше 8,5 ⁴				
Вміст нафтопродуктів, мг/кг	5	3	2	1	0,3

Норми якості підживлювальної води в мережі водогрійних котлів

Показник	Система тепlopостачання	
	відкрита	закрита

	Температура води в мережі, °C					
	115	150	200	115	150	200
Прозорість за шрифтом, см, не менше	40	40	40	30	30	30
Карбонатна твердість, мкг-екв/кг:	<u>800</u> ¹	<u>750</u> ¹	<u>375</u> ¹	<u>800</u> ¹	<u>750</u> ¹	<u>375</u> ¹
при рН не більше 8,5	700	600	300	700	600	300
при рН більше 8,5	Не допускається			З розрахунку РД 24.031.121–91 (Міненерго)		
Вміст розчиненого кисню, мкг/кг	50	30	20	50	30	20
Вміст з'єднань заліза (в перерахунку на Fe), мкг/кг	300	<u>300</u> ¹ 250	<u>250</u> ¹ 200	<u>600</u> ¹ 500	<u>500</u> ¹ 400	<u>375</u> ¹ 300
Величина рН при 25 °C	Від 7,0 до 8,5			Від 7,0 до 11,0 ²		
Вміст нафтопродуктів, мг/кг	1,0					

МЕТОДИ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ВИХІДНОЇ ВОДИ.

ВИДАЛЕННЯ ГРУБО ДИСПЕРСНИХ ТА КОЛОЇДНИХ ДОМІШКІВ

Поверхневі води, які часто застосовуються у якості вихідної води, потребують попередньої очистки. В результаті попередньої очистки вода очищується від грубодисперсних та колоїдних домішок. З даною метою застосовують різні методи.

Освітлення

Видалення грубодисперсних домішок здійснюється *освітленням та фільтруванням*.

Освітленням (осадженням) називається процес видалення з води грубо дисперсних і колоїдних домішок.

При *освітленні* частинки твердих речовин під дією сили тяжіння осідають на дно резервуару, в якому освілювальна вода повільно рухається або по горизонталі, або знизу вгору. Таким чином, осадженням можна видалити лише частинки, які тонуть у воді.

Освітлення води потребує багато часу, великих об'ємів резервуарів і не забезпечує повного видалення грубо дисперсних домішок. Тому освітлення як самостійний метод не використовується.

Фільтруванням називається процес освітлення води шляхом пропускання її через пористий матеріал, на поверхні і в порах якого вода залишає грубодисперсні домішки.

Апарат, в якому проходить фільтрування, називається *фільтром*, а пористий матеріал, який міститься у фільтрі, - *фільтруючим матеріалом* або *фільтруючим середовищем*.

Фільтри, які використовуються для освітлення води, називаються *освітлювальними* або *механічними* фільтрами.

Фільтрування відбувається під дією різниці тисків над шаром фільтруючого матеріалу h_n і під ним h_k . При роботі фільтру різниця тисків $\Delta h = h_n - h_k$ — називається втратою напору у фільтруючому шарі. У значення Δh входить втрата напору не тільки у шарі фільтруючого матеріалу, але і в самому фільтрі.

Втрата напору у фільтруючому шарі — називається опором цього шару. Він залежить від швидкості фільтрування, висоти фільтруючого шару, діаметру зерен фільтруючого матеріалу і ступені забруднення (заносу).

В процесі експлуатації із перелічених характеристик змінюється тільки занос фільтру. Максимально допустимий опір:

- напірних фільтрів $\Delta h_{\max} = (0,8-1,0) \cdot 10^5$ Па.

-відкритих фільтрів $\Delta h_{\max} = (0,2-0,3) \cdot 10^5$ Па.

Швидкість фільтрування на освітлювальних фільтрах v_{ϕ} приймають 5-10 м/год.

При досягненні граничного значення опору фільтр виводиться з роботи та ставиться на промивку. При промивці затриманий шар забруднень вимивається. Після промивання фільтр повертається у роботу. Час роботи фільтра між двома промиваннями називаються *фільтроциклом* T . Величина фільтроцикла має тривати не менше 8 годин.

Важливими фактором, який впливає на величину фільтроциклу є *концентрація завислих речовин у воді Св.в. та грязєємність фільтра Гр.*

Грязєємність фільтру – це кількість затриманих фільтром за фільтроцикл забруднень, віднесене до 1 м³ фільтруючого матеріалу

У якості фільтруючого матеріалу для зернистих фільтрів використовуються дроблений антрацит (0,8-1,5 мм), кварцовий пісок (0,5 – 1,0 мм) зі вмістом SiO₂ не менше 96% та керамзит (0,8-1,5 мм). Кварцевий пісок розчиняється у лужній воді, збагачуючи профільтровану воду (фільтрат) кремнієвою кислотою. Тому у знесолювальних і знекремнівальних установках кварцовий пісок не застосовується.

Конструкція освітлювальних фільтрів. Зернисті освітлювальні фільтри

Освітлювальні фільтри поділяються на *відкриті (безнапірні) та закриті (напірні).*

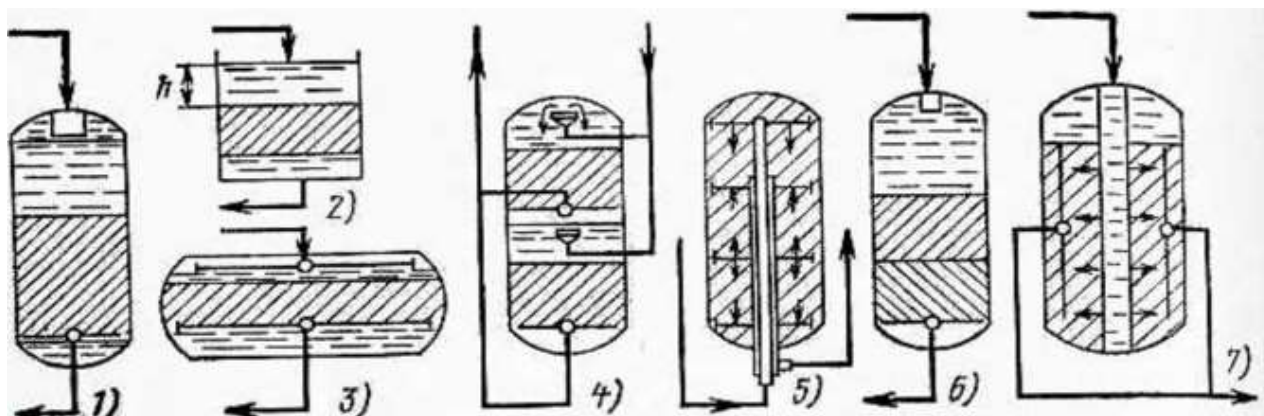
Напірні фільтри можна поділити за конструкцією на горизонтальні та вертикальні; за кількістю фільтруючих шарів на одношарові та двошарові, за способом фільтрування – на однопоточні, двопоточні та трипоточні.

Конструктивно найпростішим є *однопоточний (одношаровий) напірний фільтр 1.* Внутрішній його об'єм заповнений на певну висоту шаром фільтруючого матеріалу, зверху якого знаходиться водяний об'єм (водяна подушка). Напірні фільтри працюють під тиском, який створює насос.

У *відкритих фільтрах 2* фільтрування відбувається під напором стовпа води у самому фільтрі. Ці фільтри переважно застосовують для питного водопостачання. Такі фільтри виготовляють із залізобетону, мають прямокутну форму у перерізі і велику поверхню фільтрування. Недоліком даних фільтрів є малий напір який обмежує можливість форсування їх роботи.

Горизонтальні напірні фільтри 3 мають велику поверхню фільтрування, велику одиничну продуктивність. Їх недоліком є громоздкість і потреба у великих промислових площах.

Камерні фільтри 4 розділені суцільними перегородками на камери, які по суті є двома одношаровими фільтрами які працюють паралельно.



1 — однопоточний, одношаровий, напірний; 2 — відкритий; 3 — горизонтальний; 4 — двокамерний; 5 — трипоточний; 6 — двошаровий; 7 — радіальний.

Багатопоточні фільтри 5 загрузаються повністю фільтруючим матеріалом і там же розміщуються розподіляючі пристрої. Такі фільтри дозволяють створити декілька потоків (тут три) фільтрату і збільшити продуктивність.

З метою підвищення швидкості фільтрування, тримання обробленої води більш високої якості і збільшення грязеемності матеріалу у однопоточні фільтри загрузають два фільтруючі матеріали, наприклад дроблений антрацит і кварцевий пісок (знизу розміщується). Таким чином отримують двошарові фільтри, які часто застосовують у практиці.

У радіальному фільтрі 7 фільтруючий матеріал загрузають у кільцевий зазор, який розміщений між стінкою фільтру і внутрішньою трубою. Вода подається в центральну трубу, по якій розподіляється по висті шару матеріалу.

Найбільше розповсюдженим типом освітлювального фільтру на теплоенергетичних об'єктах є однопоточний напірний одношаровий вертикальний фільтр.

Робота фільтру складається з двох періодів:

- фільтрування води (робочий період);
- промивка фільтру (простой).

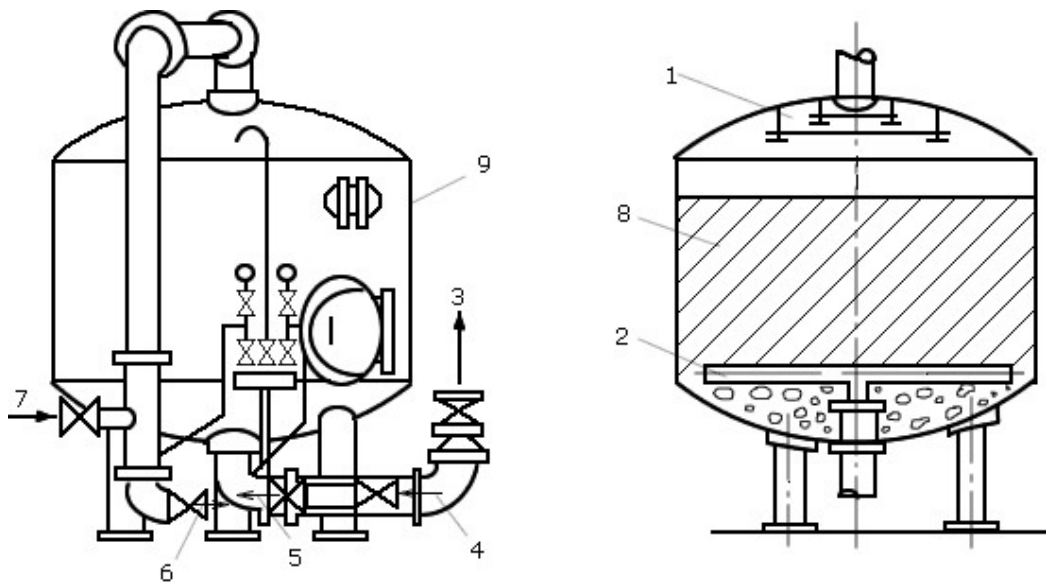


Рис. 3 Фільтр освітлювальний вертикальний однопоточний
 1 – верхній розподільчий пристрій; 2 - нижній дренажно- розподільчий пристрій; 3 - фільтрат; 4 – стиснене повітря, промивна вода; 5 - спуск перших порцій фільтрату; 6 - спуск промивної води; 7 - вихідна вода; 8 - фільтруючий шар; 9 - корпус фільтра

<https://www.youtube.com/watch?v=5XReoZVFmyU>

Намивні освітлювальні фільтри

Зернисті освітлювальні фільтри мають великий шар фільтруючого матеріалу (до 1000 мм і більше), крупнозернистий склад і малу поверхню фільтрування.

Намивні фільтри, характеризуються більшою поверхнею фільтрування, тонким фільтруючим шаром (5-10 мм) і використанням переважно порошків.

У якості фільтруючого матеріалу у наливних фільтрах використовують: діатоміт, целюлозу, азбест, перліт, активоване вугілля та ін.

Цикл роботи наливного фільтру складається з наступних операцій:

- приготування суспензії фільтруючого матеріалу;
- налив фільтруючого шару на фільтруючі елементи;

- видалення відпрацьованого фільтруючого матеріалу та забруднень з поверхні фільтруючих елементів водою та стисненим повітрям.



В циліндричному корпусі з еліптичним днищем закріплена трубна дошка. До неї кріпляться фільтручі елементи (ФЕЛ). Фільтруючі елементи представляють собою трубку діаметром 30-50 мм з отворами. Фільтруючий матеріал у кількості 1 кг на 1 м² поверхні ФЕЛ заружається у бак, який розміщений поряд з фільтром. Фільтруючий матеріал заливається водою і перемішується до утворення однорідної суспензії. Потім насосом суспензія подається у розподільний пристрій фільтру. Заповнивши ФЕЛ, суспензія фільтрується через стінки ФЕЛ. Вода подається у нижню частину фільтру, проходить до фільтруючого матеріалу, далі по ФЕЛ і видаляється через верхню частину фільтру.

<https://www.teko-filter.ru/production/namyvnye-filtry>

Коагуляція

Коагуляцією називається процес укрупнення (злипання) колоїдних частинок, який завершується випадінням речовини в осад, який видаляється осадженням або фільтруванням.

Процес, протилежний коагуляції, тобто перехід твердої речовини (наприклад, осаду) у колоїдний стан, називається *пептизацією*.

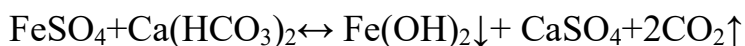
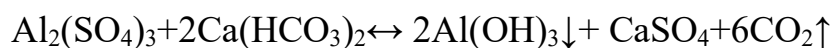
У водопідготовці під коагуляцією розуміють обробку води спеціальними реагентами з метою видалення з неї колоїдних та грубодисперсних домішок.

Колоїдні розчини відрізняються високою стійкістю. Це означає, що вони не здатні до самовільного з'єднання у крупні утворення і випадіння у осад. Це відбувається внаслідок того, що колоїдні частинки мають однойменний електричний заряд.

Найбільш ефективним способом видалення цих зарядів є взаємна коагуляція двох колоїдів, частинки яких несуть різнойменні заряди. Реагенти, які здатні при введенні у воду викликати коагуляцію природних колоїдів, називаються *коагулянтами*.

Через деякий час після введення коагулянта у пробу відбувається помутніння води. Мутність посилюється, поступово утворюються крупні крихкі пластівці (хлоп'я), які осідають на дно ємності.

У якості коагулянтів використовують сірчаноокислий алюміній $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (глинозем), сірчаноокисле залізо $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (залізний купорос), хлорне залізо $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ та сірчаноокисле оксидне залізо $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$.



У воді після коагуляції лужність зростає (збільшується кількість сульфатів), а концентрація вільної вуглекислоти збільшується.

На ефективність процесу коагуляції впливає температура, рН, доза коагулянту. Орієнтовне значення рН при використанні у якості коагулянту зєднань заліза знаходиться у межах 5-7 і заліза 8-10. Доза сірчаноокислого алюмінію 0,2 -1 мг-екв/л, а закислого заліза 0,1-0,5 мг-екв/л. Оптимальна температура води для коагуляції 30-40°C. Точна доза коагулянту та значення рН встановлюється дослідним шляхом у лабораторії.

У випадках, коли застосуванням одного коагулянту неможливо досягти потрібного рівня окислюваності та освітлення води застосовують флокулянти, які прискорюють утворення крупних пластівців.

Флокулянти (поліелектроліти) – це органічні високомолекулярні з'єднання, які містять у своєму складі багато іоногенних груп. При розчиненні у воді відбувається іонізація цих груп. Молекули набувають або позитивний заряд (катионові флокулянти), або негативний заряд (аніонові флокулянти). У якості флокулянтів застосовують ПАА(аніонний) та ВА-2 (катионний).

Важливу роль відіграє по черговість і місце вводу реагентів у воду. Окислювачі (хлор, хлорне вапно) і реагент, який корегує рН (їдкий натр NaOH, вапно $\text{Ca}(\text{OH})_2$, сода Na_2CO_3), вводяться в воду до коагулянта. Флокулянт вводиться через 1-3 хвилини після коагулянту, щоб встигли утворитись хлоп'я (пластівці).

Коагуляцію проводять у коагуляційних установках: у коагуляційних освітлювачах (або відстійниках) і на освітлювальних фільтрах. Послідовність введення реагентів передбачена конструкцією коагуляційних установок.

Методи попередньої очистки в залежності від якості вихідної води приведені у таблиці.

<i>Якість вихідної води</i>	<i>Метод обробки</i>	<i>Основне обладнання</i>
Завислі речовини до 50 мг/л, окислюваність менше 15 мг/л O_2	Фільтрування	Освітлювальні (механічні) фільтри із загрузкою антрацитом кварцевим піском або антрацитом. $H_{\text{ш}} \geq 1\text{м}$.
Завислі речовини до 100 мг/л, окислюваність менше 15 мг/л O_2	Фільтрування	Механічні фільтри з двошаровою загрузкою: 1) кварцовий пісок $d_3=0,5-1,2$ мм; $H_{\text{ш}}= 0,7-0,8\text{м}$; 2) дроблений антрацит - $d_3=0,8-1,8$ мм; $H_{\text{ш}}= 0,4-0,5\text{м}$.
Завислі речовини більше 100 мг/л, окислюваність більше 15 мг/л O_2 , $\text{Жк} \geq 2$ мг-екв/л	Коагуляція у освітлювачі; фільтрування	Освітлювачі для коагуляції з наступним фільтрування на одношарових механічних фільтрах

Завислі речовини більше 100 мг/л, окислюваність більше 15 мг/л O ₂ , Жк≥2 мг-екв/л	Суміщене вапнування з коагуляцією в освітлювачі, фільтрування	Освітлювачі для вапнування з наступним фільтрування на одношарових механічних фільтрах
-----------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------

ОБРОБКА ЖИВИЛЬНОЇ ВОДИ

В котельних установках з паровими котлами основна частина живильної води складається з конденсату. Повністю покрити потребу у живильній воді за рахунок конденсату неможливо через втрати пари, конденсату і котлової води. Ці втрати компенсуються додатковою кількістю підготовленої води. Підготовка живильної води необхідна і для котельних установок водогрійними котлами.

Розрізняють два види обробки живильної води:

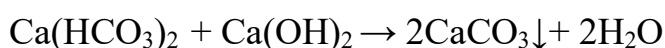
- внутрішньокотлова;
- докотлова.

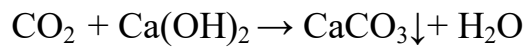
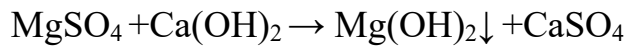
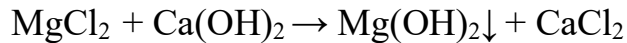
Внутрішньокотлова обробка здійснюється шляхом вводу в котел лужних реагентів, які у поєднанні з підігрівом води викликають осадження солей жорсткості у вигляді нерозчинних з'єднань CaCO₃ та Mg(OH)₂. У якості реагентів використовується їдкий натр, кальціонована сода, тринатрійфосфат.

Докотлова обробка живильної води (в основному це пом'якшення) здійснюється в спеціальних апаратах наступними методами:

- осадження;
- іонного обміну;
- магнітної обробки.

До *методів осадження* відноситься вапнування, содовапнування та обробка їдким натром. Методи засновані на зв'язуванні катіонів Ca²⁺ та Mg²⁺ іонами CO₃²⁻ та OH⁻ з утворенням важкорозчинних солей CaCO₃ та Mg(OH)₂, які випадають у осад і вилучаються з води.





Вапнування проводиться для зниження лужності води, декарбонізації, часткового пом'якшення та зниження солевмісту води.

Содовапнування проводиться з метою видалення солей не тільки карбонатної а і не карбонатної жорсткості. Тобто застосування содовапнування можна досягти пом'якшення води. Але для лужних вод даний метод не застосовується. Він мало застосовується зараз.

Їдконатрове помякшення проводиться рідко через високу вартість їкоо натру у порівнянні содою а вапном. Метод може викристовуватись у випадку неможливості озміщення громоздкого обладнання гасіння вапна.

Пом'якшення

Пом'якшенням називається процес видалення з води катіонів кальцію і магнію.

Пом'якшення води здійснюють наступними методами:

- термічними, які базуються на нагріванні води, її дистиляції та вимороженні;
- осадження, при яких іони Ca^{2+} та Mg^{2+} , що присутні у воді, зв'язуються різними реагентами у практично нерозчинні з'єднання;
- іонного обміну
- комбінованими.

Вибір методу обумовлюється якістю води, необхідною глибиною пом'якшення та з техніко-економічних міркувань.

Термічну підготовку води або термічне пом'якшення проводять у парових котлах-випаровувачах. Суть процесу полягає у нагріванні до кипіння вихідної води і подальшій її конденсації. В результаті утворюється вода нового складу з

меншою кількістю солей. Таким чином, шляхом зміщення вуглекислотної рівноваги зменшується карбонатна жорсткість води.



Термічний метод використовується досить рідко, адже застосування його для приготування води для водогрійних котлів обумовлюється додатковими енергетичними затратами. Метод доцільно застосовувати у комплексі з іншими, реагентними методами, і переважно для вод карбонатного типу

Іонообмінне фільтрування на сьогодні є найбільш розповсюдженим методом пом'якшення води для теплообмінного обладнання. Це пояснюється відносною дешевизною та простотою методу, завдяки чому можливо отримати воду високої якості, що відповідає вимогам водного режиму водогрійних котлів.

Обробка води методом іонного обміну заснована на пропусканні вихідної або частково обробленої води через фільтруючий шар іонообмінного матеріалу, практично нерозчинного у воді, але здатного реагувати з іонами солей жорсткості, які містяться у воді.

Іонообмінні матеріали – смоли, що відносяться до нерозчинних високомолекулярних з'єднань. Якість іонітів характеризується їх фізичними властивостями, хімічною та термічною стійкістю, робочою обмінною ємністю. Фізичні властивості залежать від їх фракційного складу, механічної міцності та насипної густини. Фракційний склад характеризує експлуатаційні властивості катіоніту.

Матеріали, які мають властивість обмінювати катіони, називаються *катіонітами*, а матеріали, які мають властивість обмінювати аніони, називаються *аніонітами*.

У водопідготовці використовують *три обмінні катіони: натрій, водень та амоній*. І в залежності від того, яким з цих катіонів «заряджений» катіоніт, розрізняють три процеси:

- натрій-катіонування (Na -катіонування);
- водень-катіонування (H -катіонування);

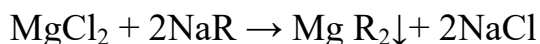
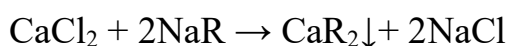
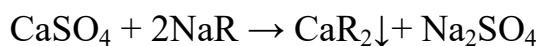
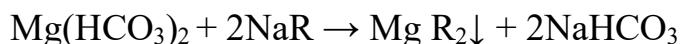
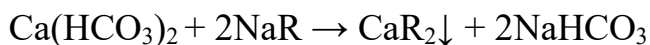
- амоній-катіонування (NH₄ -катіонування).

На водопідготовчих установках енергетичних об'єктів застосовують такі катіоніти: сульфовугілля (найбільш дешевий), катіоніти КУ-2, рідше КУ-1(синтетичні).

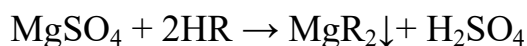
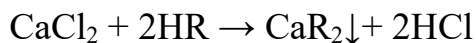
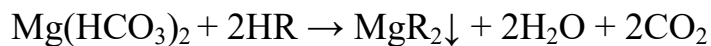
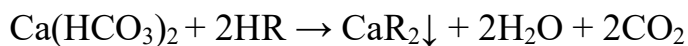
Катіоніти характеризуються наступними властивостями: робоча ємність поглинання, фракційний склад (розмір зерен), насипна вага і коефіцієнт набухання. Робоча ємність катіоніту є найбільш важливим показником його якості.

Суть методу іонного обміну полягає у пропусканні води через фільтр, що завантажений іонообмінним матеріалом, внаслідок чого відбувається заміщення катіонів накипоутворюючих елементів (Ca²⁺, Mg²⁺) на катіони Na⁺ та H⁺, NH₄, тобто вилучення солей жорсткості із вихідної води. При надходженні на фільтр вихідна вода під деяким тиском просочується через пори, утворені зернами іонообмінного матеріалу, залишає частину своїх іонів, натомість іоніт віддає воді еквівалентну кількість своїх іонів. Таким чином, в результаті обміну змінюються хімічні властивості як води, так і самого фільтруючого матеріалу.

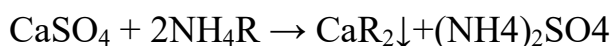
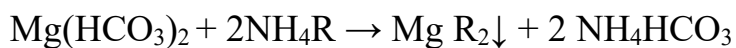
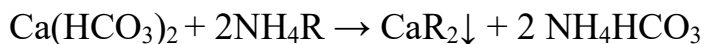
Na -катіонування

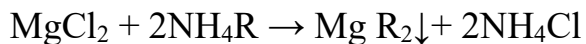
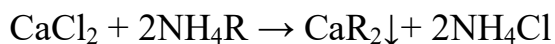


H –катіонування



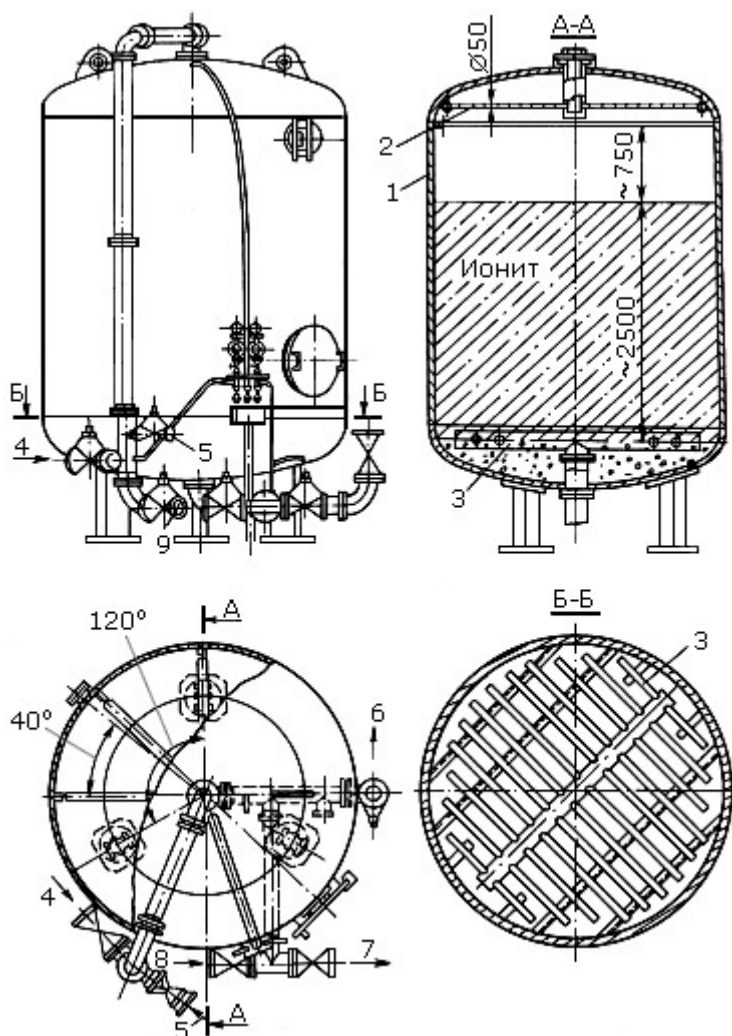
NH₄ -катіонування



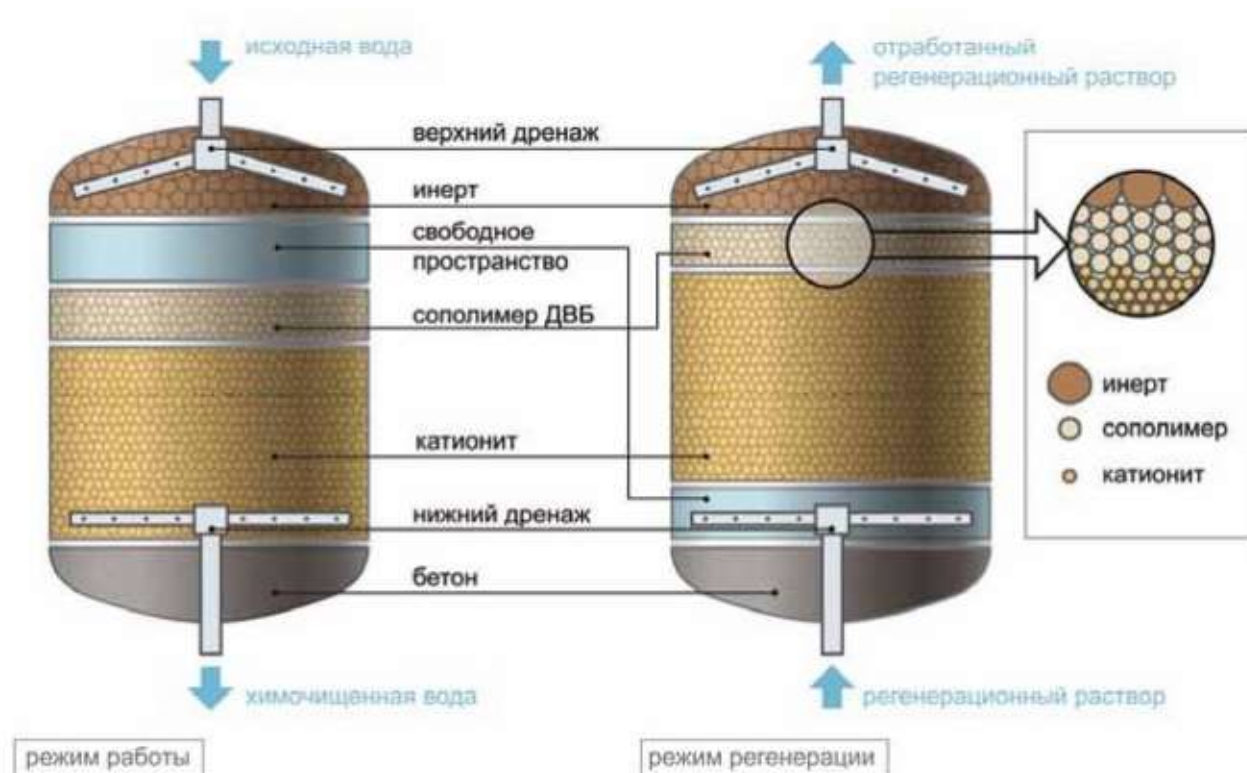


Символи NaR, HR, NH₄R означають натрій- катіоніт, водень-катіоніт та амоній-катіоніт, а R – складний радикал катіоніту , який не розчиняється у воді і виконує роль аніона.

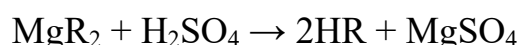
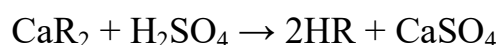
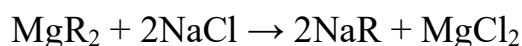
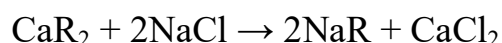
Робочий цикл іонітового фільтру визначається здатністю завантаженого матеріалу здійснювати у повному об'ємі свою роботу, і завершується після вичерпання його об'ємної ємності, тобто після того, як всі здатні до обміну іони іоніту будуть заміщені іонами вихідної води.



1 – корпус; 2, 3 – верхній та нижній дренажно-розподільчий пристрій; 4 – підвод води; 5 – підведення регенераційного розчину; 6 – вихід фільтрату; 7 – спуск регенераційного розчину до промивочної води; 8 – підведення води для взрихлення; 9 – вихід взрихлюючої води



Після виснаження робочої обмінної ємності катіоніту він втрачає свою здатність пом'якшувати воду і потребує циклу *регенерації*. Відновлення іонітового фільтру зводиться також до проведення процесу іонного обміну, але у зворотному напрямку. Для відновлення властивостей іоніту в залежності від виду катіонування використовують технічну сіль NaCl або хлорну кислоту [12].



Жорсткість фільтрату залишається сталою до моменту зміщення нижньої межі зони пом'якшення з нижнім шаром катіоніту. В момент зміщення починається «зіскок» катіонів Ca^{2+} та Mg^{2+} та збільшення залишкової жорсткості. При одноступінчатому Na-катіонуванні постають питання, що пов'язані з неможливістю глибокого пом'якшення води, високою питомою витратою солі на регенерацію, неповним використанням ємності поглинання катіоніту. Часто необхідно застосовувати декілька ступенів фільтрації, оскільки NaCl не завжди встигає вступити в реакцію іонного обміну при регенерації.

Метод Н-катіонування води заснований на пропусканні води через катіоніт, який відрегенований кистю. В процесі фільтрування катіони, які містяться у воді (кальцій, магній) обмінюються на іони водню, які містяться у катіоніті.

При використанні схеми Н-катіонування води, у зв'язку із утворенням кислот у фільтрі, рН води значно понижується та утворюється оксид вуглецю, який необхідно обов'язково видаляти.

При NH_4 -катіонуванні вода фільтрується через шар катіоніту, відрегенованого солями амонію. Солі амонію, які містяться у катіоніті обмінюються на катіони солей жорсткості. При розкладанні бікарбонату амонію аміак і вуглекислота уносяться парою, а в котловій воді повині залишатися соляна та сірчана кислота. Для запобігання корозії під дією кислот застосування амоній-катіонування завжди поєднується з натрій-катіонуванням. Особливістю амоній-натрій катіонування є поява аміаку у воді та парі, метод неможливо застосовувати для обробки систем гарячого водопостачання, де установлюються теплообмінні апарати з латуні або мідних сплавів. Метод не застосовується у відкритих системах теплопостачання.

Всі технологічні схеми іонного обміну направлені на пом'якшення води і одночасно на зниження лужності і солемісту, а також на видалення вільної вуглекислоти.

Всі методи іонного обміну мають обмеження вихідної води по таким показникам якості води як: жорсткість, вміст заліза, окислюваність перманганатна, вміст завислих речовин, кольоровість, вміст сульфатів і хлоридів.

Na –катіонування застосовують для пом'якшення підземних вод з концентрацією завислих речовин не більше 5-8 мг/л і окислюваністю не більше 15 мг/л O_2 . Якщо вода не відповідає цим вимогам, необхідно провести попередню обробку, використовуючи коагуляцію і освітлення. А при високій карбонатній жорсткості доцільно суміщати коагуляцію з вапнуванням.

Одноступінчастим Na –катіонуванням можна отримати воду із залишковою жорсткістю до 0,1 мг-екв/л, але для отримання більш глибокого пом'якшення (із залишковою жорсткістю до 0,01-0,02 мг-екв/л) необхідно суттєво збільшувати

питому витрату солі на регенерацію фільтру. І слід більш строго контролювати зіскок жорсткості. Тому використовують схему двоступеневого Na –катіонування, де всі вище сказані недоліки відсутні і можна досягти помяшення води до рівня залишкової жорсткості 0,01мг-екв/л.

Число ступенів катіонування визначається вимогами до обробленої води. Для парових котлів, де потребується глибоке пом'якшення води, використовується схема двоступеневого Na –катіонування. Для гарячого водопостачання достатньо одного ступеня катіонування.

Декарбонізація

Декарбонізацією називається процес видалення з води вільної вуглекислоти. Частково декарбонізація здійснюється при вапнування вихідної вихідної на етапі попередньої очистки. Багато CO_2 утворюється у схемах H -катіонуванням або при підкисленні води.

Апарати, у яких зниження концентрації CO_2 досягається продувкою води повітрям в результаті розподілення CO_2 між рідкою і газоподібною фазами називаються *декарбонізаторами*. Найбільшого розповсюдження набули апарати баштового типу з насадкою, яка зрошується зверху обробленою водою і продувається повітрям знизу.

Існують два види декарбонізаторів: з насадками з кілець Рашига та з дерев'яною хордовою насадкою. До недоліків декарбонізаторів з хордовою насадкою слід віднести велику витрату повітря, невелику питому поверхню десорбції, що вимагає збільшення площі декарбонізатора, незручність в монтажі і експлуатації.

Декарбонізатори насадкою керамічних кілець Рашига дозволяють зменшити висоту і площу декарбонізатора, зменшити витрату повітря, і отримати більш глибокий ефект декарбонізації. Кільця Рашига більш довговічні і зручні в експлуатації.

Принцип дії декарбонізатора полягає у наступному: вода подається у верхню розподільчу камеру апарату і стікає через насадку, яка складається із кілець Рашига, створюючи умови для хорошого змішування води при контакті з повітрям.

На зустріч воді вентилятором подається повітря. Вуглекислий газ підхоплюється потоком повітря і видаляється з декарбонізатра, а вода через нижню розподільчу камеру стікає у бак декарбонізованої води.

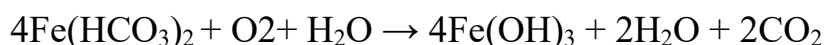
Знезалізнення артезіанських вод

У підземних водах із артезіанських свердловин залізо міститься зазвичай у вигляді бікарбонату $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$. Якщо використовується піду слова вода або вода з водоносних горизонтів, що підживлена болотною водою, залізо може міститись у вигляді комплексних органічних з'єднань.

При надходженні артезіанської води на Na –катіонітовий фільтр іони Fe^{2+} будуть обмінюватись на іони натрію і концентрація заліза у воді зменшиться. Однак цей процес неможливо використовувати для знезалізнення, скільки при регенерації і остановах катіонітового фільтра в нього знаходиться кисень повітря. Відбувається окиснення заліза з утворенням важкорозчинного гідроксида заліза $\text{Fe}(\text{OH})_2$, який обволакує зерна катіоніта і лише частково видаляється при регенерації. Це призводить до зниження об'ємної ємності катіоніта.

При вмісті у вихідній воді заліза більше 0,3 мг/л проводять знезалізнення води до її потрапляння на Na –катіонітовий фільтр.

Процес окиснення киснем повітря двовалентного заліза у тривалентне виражене рівнянням



При вмісті заліза до 10 мг/л і величині рН не більше 6,8 для знезалізнення можна застосовувати спрощену схему аерації, вводячи стиснене повітря в трубопровід вихідної води і відфільтровуючи частинки $\text{Fe}(\text{OH})_3$ у напірних фільтрах. Зазвичай використовують корпуси іонітових фільтрів другої ступені, в яких завантажено сульфовугілля, куди вводиться стиснуте повітря.

Коли концентрація заліза у воді перевищує 10 мг/л аерацію проводять у апаратах близьких до конструкції декарбонізатора з наступним фільтруванням на освітлювальних фільтрах.

БЕЗРЕАГЕНТНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ ВОДИ

Стабілізаційна обробка

Стабільною називають воду, яка не викликає корозію поверхні металу, з яким вона контактує, та на виділяючи на таких поверхнях карбонату кальцію.

Показниками стабільності води є:

- *Індекс стабільності С* (згідно ГОСТ 3313-86). Якщо $C=1$, вода стабільна, $C<1$ – вода агресивна, розвиваються корозійні процеси; $C>1$ – вода здатна до відкладень карбонату кальцію;
- *Індекс Ланжельє* (згідно СНиП 2.04.2-84* Водоснабжение. Наружные сети и сооружения). Якщо $J=0$, вода стабільна; $J<0$ – вода агресивна, розвиваються корозійні процеси; $J>0$ – вода здатна до відкладень карбонату кальцію;
- *Індекс Різнера*. $IP=4-6$ – розвинені карбонатні відкладення; $IP=6-7$ – рівновага, розвиток слабкої корозії сталі та чавуну; $IP=7-9$ – розвинені корозійні процеси.

Для стабілізаційної обробки води у реагентній водопідготовці застосовуються методи: *підкислення, фосфатування та метод обробки комплексонами*.

Підкислення реалізується шляхом додавання у воду сірчаної кислоти, в результаті чого карбонатна жорсткість переходить в не карбонатну. Процес підкислення не застосовується для вод з високою лужністю, оскільки підвищується концентрація сульфатів і виникає небезпека утворення сульфатних відкладень.

Фосфати відносяться до реагентів, які зв'язують солі жорсткості в малорозчинні з'єднання. Найбільш часто застосовують у якості реагентів при фосфатуванні застосовують тринатрійфосфат, гексаметафосфат та триполіфосфат.

Фосфати ефективні для попередження накипоутворення малорозчинних речовин, таких як карбонати, сульфати і фосфати кальцію.

Комплексонами називається група органічних з'єднань, які здатні утворювати стійкі комплексонатні з'єднання з катіонами металів.

Останнім часом широкого розповсюдження набули органічні фосфонати (похідні фосфонові кислоти) та композиції на їх основі.

Технологічно спосіб реалізується пропорційним дозуванням реагентів у підживлюючу воду. Протинакипний ефект досягається шляхом адсорбування стабілізаторів на активних центрах утворення кристалів важкорозчинних з'єднань, що перешкоджає подальшому росту та агрегації кристалів.

Існує ряд обмежень для застосування методу по таким показникам води, як жорсткість, рН, вміст заліза, а також температурі, яка не повинна перевищувати 130°C. Метод не виключає необхідності деаерації підживлюючої води котельні. Дозування реагентів повинно бути точно пропорційним [17, 18], зважаючи на це, без встановлення систем автоматичного дозування в котельні виконання вимог технології неможливе. Теж саме стосується встановлення грязьовиків і їх своєчасної заміни.

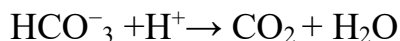
Застосування стабілізаційної водопідготовки для систем теплопостачання повинно проводитися з урахуванням специфіки роботи тепломережі та з дотриманням санітарно-гігієнічних нормативів. Якість мережної води відкритих систем теплопостачання повинна відповідати вимогам до якості питної води. Реагент не повинен бути токсичним, впливати на запах, кольоровість і присмак води.

Електрохімічна обробка

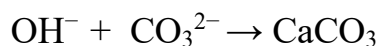
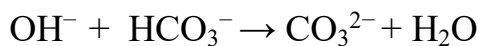
Електрохімічні методи протинакипної підготовки живильної води використовуються при дефіциті виробничих площ, складності або неможливості доставки реагентів чи інших випадках відмови від класичних методів корегування водного режиму.

Дія електрохімічних методів базується на явищі електролізу, в результаті якого відбувається осадження твердих частинок накипоутворювачів CaCO_3 , Mg(OH)_2 та MgCO_3 на поверхнях електродів під дією постійного електричного струму.

На електродах виділяються іони H^+ та OH^- , змінюючи тим самим рівень рН води. В анодній зоні відбувається розклад частинок накипу та підкислення



В катодній зоні йде коагуляція та збільшення мікрокристалів CaCO_3 , при цьому зменшується адгезія до поверхні нагріву:



В результаті електрохімічної обробки частинки накипу осідають на дно у вигляді шламу або на катоді, а гріюча поверхня залишається чистою.

Під дією електричного струму виділяються коагуляційноактивні позитивно заряджені іони, наприклад Fe^{2+} , Fe^{3+} (з катодного покриття), які з присутніми у воді від'ємно зарядженими іонами утворюють коагуляційні комплекси, що випадають в осад.

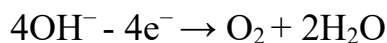
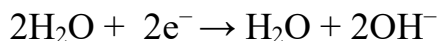
Електрохімічні методи обробки води поділяють на три основні групи. Методи перетворення забезпечують зміну фізико-хімічних характеристик домішок з метою їх швидкого вилучення із водного середовища.

Методи розділення призначені для концентрування домішок в об'ємі розчину без суттєвої зміни їх фазово-дисперсних і фізико-хімічних властивостей.

Третю групу складають *комбіновані методи*, які мають на меті поєднання декількох різних методів в одному апараті – електролізері.

Перевагою методу є відсутність реагентів. Однак його застосування вимагає великих затрат електричної енергії, ретельного дотримання правил техніки безпеки та ПУЕ, а також постійного нагляду кваліфікованого персоналу.

Крім того хімія процесу вимагає встановлення установок деаерації та потужної вентиляції, де вони встановлюються, оскільки в результаті електрохімічної реакції - на катоді виділяється водень, а на аноді – кисень, а також розчинений хлор.



З метою попередження утворення на аноді оксидної плівки його поверхня повинна бути виготовлена з металів, які зберігають стабільність при подальшому окисленні. Це метали платинової групи, а у лужному середовищі – сталі або нікель. До спеціальних анодних матеріалів відноситься графіт. Основний недолік всіх перелічених матеріалів – висока вартість та короткий ресурс електродів – заростання і зношування в процесі електролізу.

Баромембранні технології

Баромембранні технології відносяться до безреагентної групи методів підготовки води. Технологія базується за *явищі осмосу* – процесі перетікання розчину через напівпроникну мембрану, яка розділяє його на 2 розчини різної концентрації.

Якщо розчинник і розчин розділити напівпроникною перегородкою, то розчинник почне переходити через перегородку у розчин до тих пір, поки концентрації розчинів з обох сторін не вирівняється. Процес самовільного перетікання речовини через напівпроникну мембрану, яка розділяє два розчини різної концентрації називається *осмосом* (від грецького *osmos тиск*).

Кількісною характеристикою зворотнього осмосу є *осмотичний тиск* – тиск який потрібно надати розчину, щоб привести його в рівновагу з чистим розчинником, що відділений напівпроникною мембраною.

Група баромембранних методів включає в себе *зворотній осмос* (розмір пор 1-15 Å (ангстрем 10^{-10} м), робочий тиск 0,5-8 МПа), *нанофільтрацію* (розмір пор 15-70 Å, робочий тиск 0,5-8 МПа), *ультрафільтрацію* (розмір пор 30-1000 Å, робочий тиск 0,2-1 МПа) та *мікрофільтрацію* (розмір пор 500-20000 Å, робочий тиск 0,2-1 МПа). Вони відрізняються лише розмірами пор у мембрані.

На теплоенергетичних об'єктах найбільше застосовується зворотній осмос (ЗО) та ультрафільтрація (УФ).

Процес ЗО відбувається наступним чином: якщо воду під деяким тиском пропускати через мембрану, то рідина буде просочуватися і накопичуватися з

іншого боку апарату, а домішки і забруднення – залишатимуться у вихідній воді, поступово їх концентрація буде збільшуватися.

У теплоенергетиці у складі ВПУ використовують апарати продуктивністю до 90 м³/год. Напівпроникні мембрани є дуже чутливими до відкладень малорозчинних солей та мікрочастинок, тому для збільшення терміну експлуатації рекомендується використовувати їх як останню ступінь очистки.

Основні експлуатаційні характеристики мембран:

- висока розділяюча здатність (селективність);
- висока питома продуктивність (проникність);
- хімічна стійкість до дії компонентів розчину;
- достатня механічна міцність до умов транспортування, монтажу та зберігання;
- низька вартість.

В даний час на ринку є мембрани, які виготовляються з ацетилцелюлози та ароматичних поліамідів.

Мембранам з ацетилцелюлози характерна висока проникність.

За формою *ацетил целюлозні мембрани (АЦМ)* розділяються на трубчасті, листові (звернені у спіралі) та виконані у вигляді порожнистих волокон.

Мембрани з поліамідних волокон (МПВ) мають нижчу проникність. Їх випускають у вигляді рулонів. Це дозволяє забезпечити максимальну площу поверхні на одиницю об'єму, яка до 15 разів більша ніж у елементів з плоскою конструкцією. Мембрани з поліамідних волокон стійкі до впливу хімічних і біологічних факторів. Це забезпечує їх більший термін експлуатації у порівнянні з ацетилцелюлозними мембранами. Ацетилцелюлозні мембрани сильно гідролізуються, тому при їх застосуванні необхідно контролювати рН та температуру.

При фільтруванні під тиском відбувається зміна структури мембрани внаслідок її деформації та закупорка окремих пор. При забрудненні поверхні комірок в апараті можуть інтенсивно розвиватися колонії мікроорганізмів.

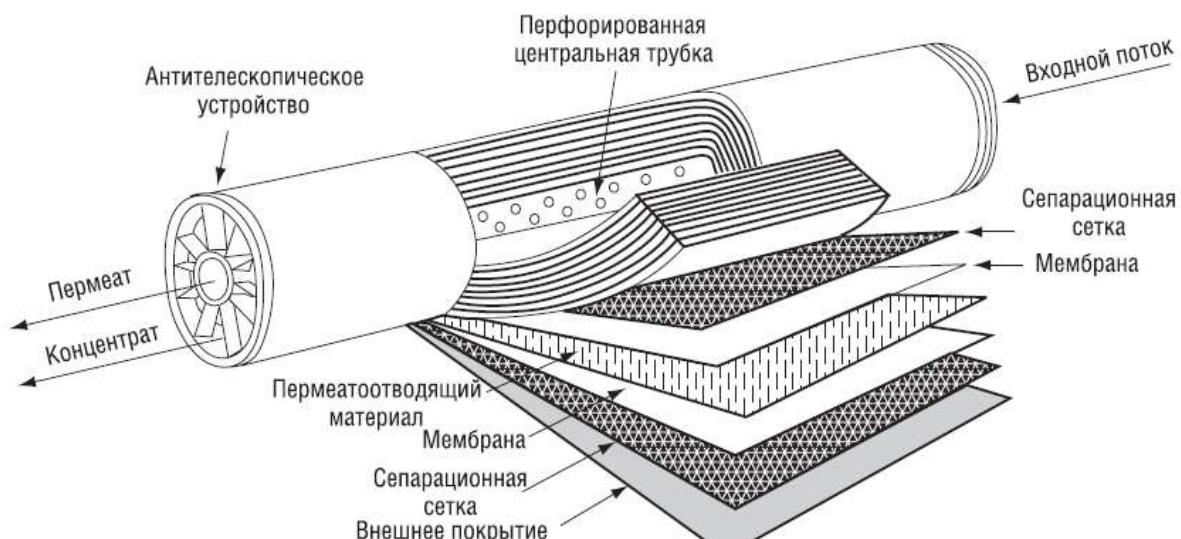


Рис. Конструкція мембранного елемента

Для попередження вищеперерахованих процесів проводяться промивки розчинами активних реагентів, підкислення підживлюючої води, внесення інгібіторів, які уповільнюють кристалізацію малорозчинних солей, здійснення конструктивних заходів, таких як встановлення турбулізаційної сітки між мембранами.

За способом укладки мембран виділяють такі мембранні апарати:

- фільтр-прес з плоскокамерними фільтруючими елементами;
- з трубчатими фільтруючими елементами;
- з рулонними або спіральними фільтруючими елементами;
- з мембранами у вигляді порожнистих волокон.

Регенерація мембранних апаратів проводить в залежності від виду мембран раз на 1-3 місяці.

Ультразвукова обробка

Протинакипний ефект ультразвукової водо підготовки полягає у активуючій дії генераторів ультразвуку. Під дією коливань змінюється структура кристалів солей жорсткості з утворенням арагонітової форми CaCO_3 . Арагоніт – крихка форма кальциту, з голкоподібною структурою кристалу. Враховуючи це, солі жорсткості осідають не на нагріваючій поверхні, а залишаються у товщі води.

Ефект радіочастотної обробки води пов'язують із явищем *кавітації* – процесом росту і подальшим руйнуванням бульбашок, каверн, які заповнені газом, паром або їх сумішшю в рідині, спричиненого флуктуацією тиску. Мікрровибухи кавітаційних каверн відбуваються при потраплянні бульбашок до області локального розрідження і супроводжуються гідравлічними ударами. Таким чином, ультразвукові коливання перешкоджають росту кристалів накипоутворюючих солей CaCO_3 та MgCO_3 до розмірів, необхідних для випадіння в осад. Теоретичні знання про механізм дії радіочастотних приладів знаходиться на стадії досліджень і чітких відповідей у науковців поки немає.

Експлуатація ультразвукових протинакипних пристроїв з точки зору енергозбереження є досить вигідною. Однак теоретично і експериментально доведена руйнівна дія процесу кавітації на металеві та інші тверді поверхні.

Силікатна обробка

Силікатну обробку використовують як антикорозійний та протинакипний метод обробки внутрішніх поверхонь трубопроводів у закритих системах теплопостачання від центральних та індивідуальних теплових пунктів, а також окремих мереж гарячого водопостачання котелень. Метод реалізується шляхом додавання у вихідну воду розчину рідкого скла. Захисна феросилікатна плівка на внутрішніх поверхнях трубопроводів створюється після трьох місяців безперервного дозування силікату у систему гарячого водопостачання. Після припинення дозування стійкість плівки зберігається не більше дванадцяти діб.

Для попередження інтенсивного накипоутворення при силікатній обробці води необхідно витримувати температуру води системи ГВП не вище 60 °C після водопідігрівальника.

Обробка води ПАР

Поверхнево-активні речовини (ПАР), які належать до класу плівкоутворюючих амінів, в теплоенергетиці донедавна були відомі як високоефективні інгібітори корозії. При додаванні їх у мережну воду шляхом

адсорбції молекул на поверхні металу формується бар'єрний шар. Завдяки утвореній плівці доступ корозійно-активних іонів зупиняється, а швидкість корозії уповільнюється.

Характерною особливістю будови молекул є полярна голова та неполярний хвіст. На гідрофобній поверхні молекули утворюють «частокол» Ленгмюра, орієнтуючись вуглеводневим радикалом до твердої поверхні, а полярною групою у воду. На цьому гідрофобному шарі може утворюватися другий шар, полярні групи якого орієнтовані у воду, а неполярні – до першого шару. При цьому поверхня спочатку гідрофобізується, а потім знову гідрофілізується, що обумовлюється наявністю максимуму на кривій залежності кута змочування від концентрації ПАР[29].

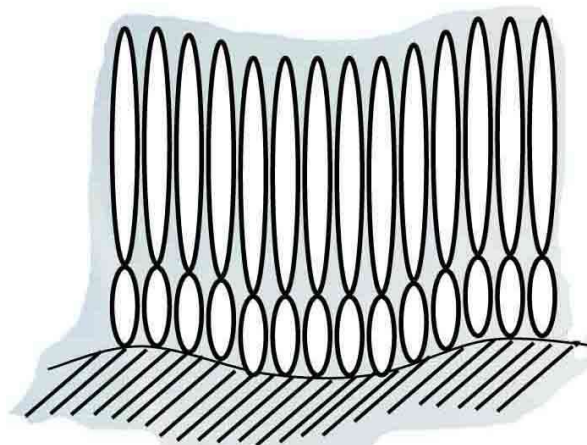


Рис. Розміщення молекул ПАР на металевій поверхні

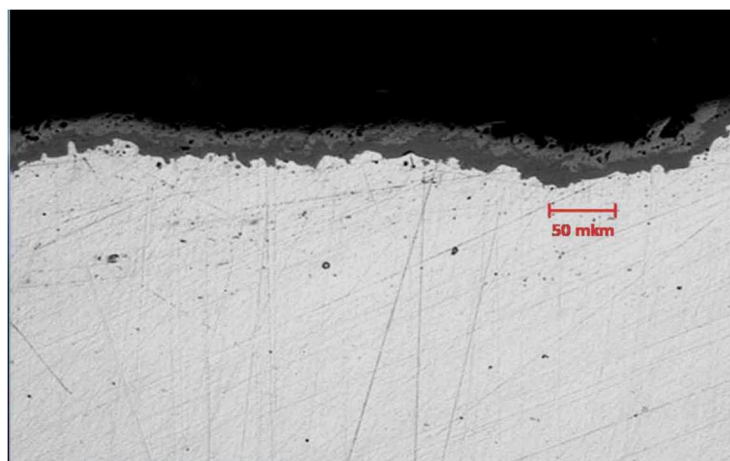


Рис. Формування захисного шару з молекул ПАР на поверхні металу.

Одним з важливих ефектів використання ПАР у водному потоці є ефект Томса, який проявляється у значному зниженні гідравлічного опору. Це поклало початок широким дослідженням течії з добавками високомолекулярних ПАР.

Шляхом кондиціонування внутрішніх поверхонь трубопроводів щільними мономолекулярними шарами ПАР в діапазоні швидкостей теплоносія від 0,5 до 2,5 м/с призводить до зниження гідравлічного опору магістральних та розвідних трубопроводів на 25-30% і підвищення внутрішнього ККД мережних насосів до 4%. Добавки молекул ПАР здатні знижувати швидкість накопичення термобар'єрних відкладень у 5-20 разів.

Досліджено чотири основних етапи зміни гідравлічного опору трубопроводу Δp [32]. На першому етапі відбувається пониження гідравлічного опору за рахунок формування молекулярних шарів ПАР, які повністю повторюють профіль поверхні. На другому етапі спостерігається стабілізація значень Δp , яка характеризується поступовим заповненням молекулами простору між виступами шорсткості до повного її згладжування. Максимальне значення зниження Δp трубопроводу досягається на третьому етапі. На останньому етапі відмічається зворотній процес – гідравлічний опір збільшується до стабілізації в діапазоні 5-10% від вихідного значення. Отже, модифікація трубних поверхонь шляхом формування молекулярних шарів ПАР веде до зміни профілю швидкості течії теплоносія. При цьому профіль швидкості теплоносія наближається до профілю швидкості в абсолютно гладкій трубі.

Магнітна обробка води

Схожою з радіочастотною обробкою за технологічними параметрами є магнітна обробка води. Дія методу зводиться до попередження утворення твердих мінералізованих відкладень на теплообмінних поверхнях шляхом впливу магнітного та електромагнітного поля, внаслідок чого у товщі води утворюється крихкий осад у вигляді шламу. В залежності від джерела магнітного поля розрізняються магнітну та електромагнітну обробку.

Перші згадки про вплив магнітів на властивості води йдуть з медицини. В XIII столітті женевський фізик де Герсю відмітив позитивний вплив на людину води, яка перебувала під дією магнітного поля, і поклав початок лікуванню «омагніченою водою».

У 1945 році бельгійським інженером Т. Вернмайерном був запатентований спосіб боротьби з відкладеннями та накипом на теплообмінних поверхнях методом магнітної обробки води. В результаті обробки в товщі води збільшувалася кількість центрів зародження кристалів солей жорсткості, зменшувався їх розмір, а накип залишався у товщі води у вигляді шламу, тоді як нагріваючі поверхні були чистими.

Теорія механізму дії магнітного поля на воду і водні системи ще й досі знаходиться на гіпотетичному рівні, а єдиної чіткої, науково обгрунтованої теорії немає. Існує велика кількість гіпотез, які можна класифікувати на наступні групи:

- а) «колоїдні», передбачають дію магнітного поля на колоїдні частинки, які мають досить високу магнітну сприйнятливість;
- б) «іонні», об'єднують твердження про дію магнітних полів на іони солей, які містить в собі вода;
- в) «водяні», об'єднують уявлення про вплив магнітного поля на структуру води, що викликає зміну агрегації молекул та переорієнтацію ядерних спінів протонів молекул.

МЕТОДИ ВИДАЛЕННЯ З ВОДИ РОЗЧИНЕНИХ ГАЗІВ

Корозія

Всі матеріали, з яких виготовляються теплоенергетичне обладнання, схильні до корозії.

Корозія металу – процес руйнування під дією оточуючого середовища (в енергетиці води, пари, топкових газів) в результаті хімічних та електрохімічних процесів, які протікають на поверхні металу.

Руйнування поверхні металу, спричинене дією механічних процесів (тертям, ударом) називається *ерозією*.

В залежності від форми прояву розрізняють:

- рівномірну або загальну
- нерівномірну або місцеву корозію.

Рівномірна корозія характеризується руйнуванням металу по всій поверхні приблизно на однакову глибину.

Нерівномірна (точкова) корозія поділяється на корозію плямами, язвенну (виразкова), точкову, вибірккову та міжкристалічну.

При язвенній і точковій корозії руйнування металу сильно розвинуте в глибину. *Вибіркова корозія* характеризується тим, що руйнується певна складова сплаву, наприклад у латуні (сплаві міді з цинком) руйнується цинк. Такий вид корозії найбільш часто зустрічається у конденсаторах турбін, у яких латунні трубки втрачають цинк у складі при охолодженні їх мінералізованою або морською водою. Латунь, яка втратила цинк стає крихкою.

Міжкристалічна корозія або каустична крихкість металу виникає у нещільностях заклопочних швів та розвальцьованих кінців кип'ятильних труб при механічних і термічних перенапруженнях металу. Проявляється у вигляді тріщини розвальцьованих кінців труб.

Хімічна корозія обумовлюється тільки хімічними процесами і має місце при безпосередній взаємодії металу з оточуючим середовищем, без присутності електричного струму.

Електрохімічна корозія обумовлена дією великої кількості мікрогальванічних пар, які виникають на поверхні металу. Вона виникає при дії на метал розчинів електролітів і характеризується протіканням електричного струму від однієї частини металу до іншої.

До електрохімічної корозії схильне у водопідготовче обладнання, тракт живильної води, котел, тепломережа.

Домішки, які містяться у вихідній або котловій воді, і викликають прискорення корозії називають *стимуляторами корозії*. Речовини, які сповільнюють швидкість корозії називаються *уповільнювачами або інгібіторами*.



Рис. Механізм електрохімічної корозії в системі «метал-повітря-вода»: 1 – металева стінка; 2 – анод із заліза; 3 – катод: вода, включення в металі, домішки

Для утворення і протікання електрохімічної корозії металу необхідні наступні умови:

наявність гальванічних пар, тобто двох ділянок металу з різними потенціалами;

присутність електроліту;

наявність прискорювачів корозії (деполяризаторів) – кисень, водень, аміак, нітрати.

У стінці сталевий котельної труби утворення гальванічних пар обумовлене електрохімічною неоднорідністю різних ділянок поверхні.

В умовах водного режиму електростанцій роль деполяризаторів виконує розчинений кисень та іони водню.

Основними факторами, які визначають інтенсивність корозії, є розчинений у воді кисень O_2 і вільна вуглекислота CO_2 .

Особливістю корозії у присутності кисню у нейтральному та лужному середовищі є утворення язв, тобто різко вираженої місцевої корозії. Продукти корозії мають більший об'єм ніж залізо, з якого вони утворюються. Тому над заглибленням часто утворюються бугри, які свідчать про пошкодження металу язвенною корозією.

Вільна вуглекислота перешкоджає утворення на поверхні металу захисної плівки з оксиду заліза, внаслідок чого швидкість корозії не зменшується з часом.

У присутності CO_2 продукти корозії сталі слабо зв'язуються з поверхнею металу і уносяться потоком води в котли, і далі переходять у шлам.

Вуглекислота понижує рН води і створює умови для протікання корозії.

Корозія водоконденсатного тракту електростанцій

В умовах водно режиму електростанцій зустрічаються корозійні пошкодження:

- живильних трубопроводів;
- сталевих водяних економайзерів;
- підігрівачів і теплообмінників регенеративного циклу;
- конденсатопроводів зворотного конденсату.

Результатом кисневої корозії сталевих економайзерів є утворення свищів, через які можуть виходити струйки води. Такі струйки, направлені у сторону сусідньої труби, можуть зношувати (перерізати) її до утворення наскрізних отворі. Чугунні економайзери кисневій корозії не піддаються.

Корозія живильних трубопроводів проявляється також в утворення свищів, які призводять до розриву труби.

Корозія підігрівачів і випаровувачів йде зі сторони гріючої пари і викликана вмістом у конденсаті CO_2 .

Методи боротьби з корозією живильного і пароконденсатного тракту теплових станцій заснована на видаленні з живильної води і конденсату агресивних газів - кисню та вільної вуглекислоти.

Корозія парових котлів

Міжкристалітна корозія

Стояночна корозія.

Пароводяна корозія

Термічна деаерація. Деаераційні установки. Основи процесу деаерації

Видалення з живильної води теплоенергетичних об'єктів розчинених газів (повітря, вуглекислого газу, азоту та ін.) необхідне для ефективної і надійної

роботи теплообмінних апаратів, поверхонь нагріву котла і елементів проточної частини самої турбіни.

Деаерація (дегазація) води – це виробничий процес, який має за мету видалення з неї розчинених агресивних газів – кисню та вільної вуглекислоти.

Видалення з води тільки кисню називається *знекисненням*.

Деаерація води здійснюється *термічним (фізичним) та хімічним методом*.

Деаерація є завершальним етапом обробки живильної води.

Деаерації підлягає весь потік живильної води, додаткової води циклу, підживлювальної води теплових мереж, живильної води випарників та парогенераторів. На електростанціях найбільш розповсюджений термічний метод деаерації.

Термічна деаерація – це процес десорбції газів, при якому відбувається перехід розчинених газів із рідини у пару при їх контакті.

Процес виділення розчиненого газу з рідини при контакті з паровим або газовим середовищем називається *десорбцією*.

Сутність процесу деаерації полягає у встановленні рівноваги між рідкою і паровою фазами відповідно до закону Генрі.

Термічна деаерація описується *законом Генрі* – розчинність газу пропорційна його парціальному тиску в середовищі на границі розділу фаз.

$$c_{\text{г}} = k_{\text{г}} p_{\text{г}} = k_{\text{г}} (p_{\text{общ}} - p_{\text{H}_2\text{O}}),$$

де $c_{\text{г}}$ – масова концентрація (розчинність) газу у воді, мг/кг; $k_{\text{г}}$ – коефіцієнт розчинності газів(Генрі), мг/(кг·МПа); $p_{\text{г}}$ - парціальний тиск газу, МПа; $p_{\text{общ}}$ - сумарний тиск газу і водяних парів, МПа; $p_{\text{H}_2\text{O}}$ - парціальний тиск водяних парів, МПа.

Коефіцієнт Генрі (коефіцієнт розчинення газу) при одному і тому ж тиску залежить лише від температури і не залежить від кількісного складу фаз і загального тиску системи. Чим вища температура розчину тим коефіцієнт розчинення газів менший.

Для повного видалення газів з води необхідно, щоб парціальний тиск газу над рідиною дорівнював нулю. Цей стан може бути досягнутий при кипінні води, тобто коли парціальний тиск парів води буде рівний тиску в деаeratorі, а температура води стане рівною температурі насичення.

Термічна деаерація є поєднанням процесів *теплообміну* (нагрівання води до температури насичення) і *масообміну* (видалення корозійно-активних та інертних газів з води в парове середовище).

Видалення газів при термічній деаерації відбувається в результаті дифузії і їх дисперсного видалення. При цьому повинні бути створені *умови переходу газів з води у паровий простір*.

Одною з таких умов є *збільшення площі* контакту фаз (води з парою). Це досягається дробленням потоку води на тонкі струмени, краплі та плівки, а також барботажем пари через тонкі шари води.

Збільшення середньої температури води, оскільки зі збільшенням температури в'язкість і поверхневий натяг знижуються, а дифузія газів зростає.

Газ, який виділились з води знаходиться на поверхні або у безпосередній близькості від неї і при незначному зниженні температури або підвищенні її тиску може знову поглинатись водою. Тому ефективність деаерації досягається повним відведенням газів за рахунок безперервної вентиляції і виведення їх з деаератора.

Газ з деаератора відводиться разом з парою, який називається *випаром*. Значення випару впливає на ефективність деаерації. Чим нижчий відсоток випару тим вища ефективність деаерації.

Призначення і склад деаераційних установок

Основною функцією термічних деаераторів є видалення з води розчинених агресивних газів (кисню і вуглекислого газу).

Залежно від робочого тиску деаератори підрозділяються на:

- *вакуумні* (типу ДВ), що працюють при тиску 0,0075- 0,05 МПа і $t=40-80^{\circ}\text{C}$
- *атмосферні* (типу ДА), що працюють при тиску 0,12 МПа і $t=104^{\circ}\text{C}$

- *підвищеного тиску* (типу ДП) з робочим тиском 0,6-0,7 МПа, рідше 0,8-1,2 МПа.

Деаератори атмосферного типу ДА застосовуються для дегазації живильної і підживлювальної води в котельнях з паровими котлами та на ТЕЦ. Застосовуються також і в якості першого ступеня деаерації конденсату, що повертається з виробництва.

Використання деаераторів для підживлювальної води у першому контурі передбачається тільки при відсутності деаераційного пристрою в конденсаторах турбін або в тих випадках, коли кількість підведеної в конденсатор хімічно очищеної або знесоленої води обмежується умовами його нормальної роботи.

Деаератори вакуумного типу ДВ застосовуються для підживлювальної води систем теплопостачання на ТЕЦ і в котельнях, в тому числі і водогрійних. ДВ працюють при температурах нижче 100°C, що дозволяє знизити витрату пари або обійтись без пари. Для котельних з водогрійними котлами та для систем ГВП переважно застосовують деаератори такого типу. Це дозволяє обійтись без встановлення парового котла на деаерацію. Випар вакуумних деаераторів у 2-3 рази більший ніж у атмосферних (2 кг/т води для ДА та 4-6 для ДВ).

В якості теплоносія в них можуть використовуватися перегріта деаерована вода і пара. Вакуумні деаератори випускають у горизонтальному та вертикальному виконанні.

Деаератори підвищеного тиску призначені для видалення корозійно-агресивних газів з живильної води парогенераторів ТЕЦ, ГРЕС (гідро-рециркуляційна електростанція), блокових конденсаційних електростанцій та АЕС.

В схемах турбоустановок *деаератори підвищеного тиску* виконують три основні функції:

- деаерації конденсату, що надходить з ПНТ;
- підвищення температури конденсату до температури насичення, яка відповідає тиску в деаераторі;
- створення запасу живильної води для котлів.

Перші дві з перерахованих функцій виконує *деаераційна колонка*, третю - *бак-акумулятор* (деаераторний бак), на який встановлюється деаераційна колонка.

Деаераційні колонки підвищеного тиску встановлюються безпосередньо на деаераторних баках.

Баки-акумулятори деаераторів підвищеного тиску, призначені для остаточної деаерації і створення аварійного запасу живильної води, випускаються з корисною ємністю 65-185 м³ на робочий тиск 0,12-0,7 МПа.

Запас води в баках деаераторів блокових установок повинен забезпечувати живлення котлів при повному навантаженні протягом 3,5 хв, а на неблочних ТЕС - протягом 7 хв.

Підігрів води та її дегазація у деаераторах відбувається в *змішувальних пристроях* (колонках) *струминного, плівкового і барботажного типів*.

В колонках *плівкового типу* поділ води на плівки здійснюється за допомогою різних насадок. Вода у вигляді тонкої плівки стікає по поверхні насадки зверху вниз, а пар рухається від низу до верху протитечією. У деаераторах використовуються *два типи насадок: упорядкована і неупорядковані*.

Струменеві деаератори представляють собою апарати, в яких вода системою дірчастих тарілок розділяється на струмени, що стікають каскадами зверху вниз. Назустріч струменів води рухається пар. Характер обтікання паром струменів наближається до поперечного.

В даний час поширені струменеві деаератори і деаератори, в яких поряд з деаерацією і підігрівом при омивання паром струменів ці процеси здійснюються також і в умовах барботажа.

У деаераторах *струминно- барботажного і барботажного типів* потік пари, який вводиться в шар води, підлягає дробленню на бульбашки. Перевагою деаераторів барботажного типу є їх компактність при високій якості деаерації. Завдяки введенню пари в шар води відбувається деякий перегрів її щодо температури насичення, яка відповідає тиску в паровому просторі над поверхнею води. При русі захоплена бульбашками пари води вгору відбувається її закипання, що сприяє кращому виділенню з розчину не тільки кисню, а й вуглекислого газу.

У струменево-барботажних деаераторах досягається більш глибока деаерація, ніж в деаераторах без барботажних пристроїв.

Деаераційні колонки встановлюються безпосередньо на деаeratorних баках. Деякі деаератори виготовляються безколонковими, коли все деаеруючі елементи розміщуються безпосередньо в об'ємі бака.

Принципова схема деаераційної установки представлена на рис. 1

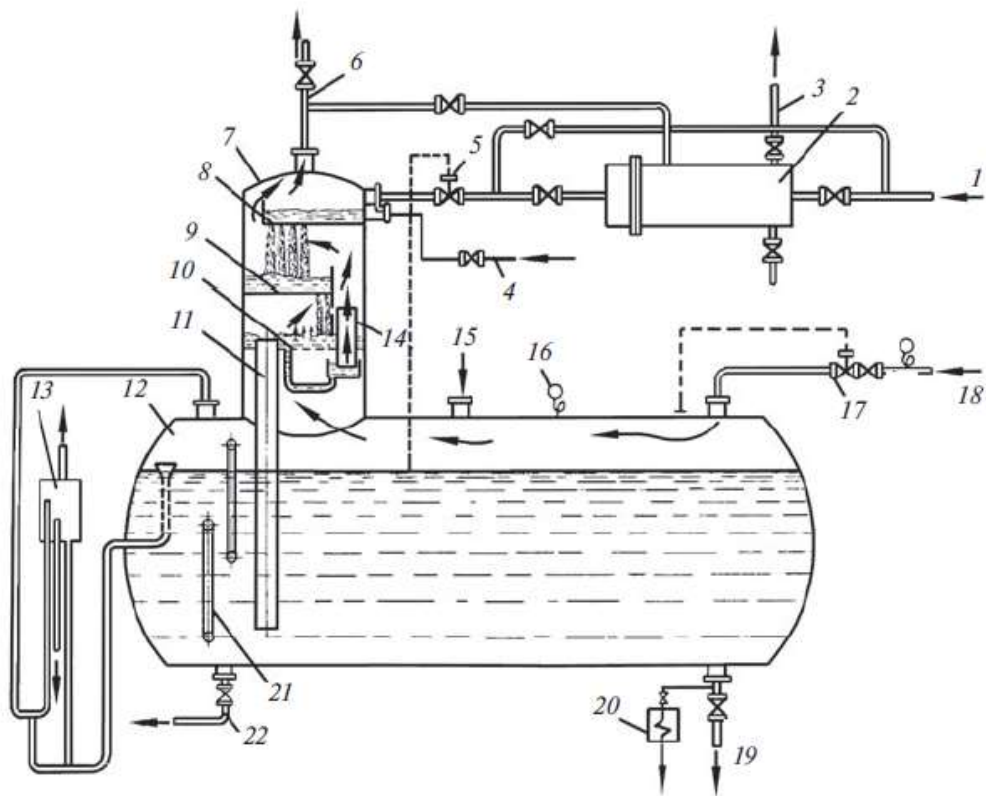
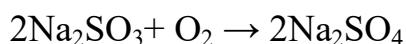


Рис. 1. Принципова схема деаераційної установки атмосферного тиску

1 - підведення хімічно очищеної води; 2 - охолоджувач випару; 3, 6 - вихлоп в атмосферу; 4 – підведення основного конденсату; 5 - регулятор рівня; 7 - деаераційно колонка; 8 - верхня тарілка; 9 - пропускну тарілка; 10 - барботажна тарілка; 11 - водозливна труба; 12 - деаeratorного бак; 13 – запобіжний пристрій; 14 - пароперепускний пристрій; 15 - підведення гарячого конденсату; 16 - манометр; 17 - регулятор тиску; 18 - підведення пари, що гріє; 19- відведення деаерованої води; 20 - теплообмінник для охолодження проб води; 21 - показчик рівня; 22 – дренаж.

Хімічна знекиснення

Хімічне знекиснення води реагентним способом засновано на зв'язування розчиненого у ній кисню речовинами, які здатні вступати у реакцію з ним. До числа таких речовин відноситься сульфїт натрію Na_2SO_3 , гідразин N_2H_4 та фосфонатні комплекси. Найчастіше застосовують сульфїт натрію та його похіді – сульфїтування. Гідразин у промислових установках не застосовується через його токсичність. Сульфїт натрію вступаючи в реакцію з киснем води окислюється до сульфата натрію



Реакція окиснення протікає при підігріві води до температурі 70°C досить швидко.

Сульфат натрію, який утворився, легкокорозчинний у воді і не викликає корозію металу. На 1 мг/л кисню необхідно 8 мг/л сульфїту натрію. Сульфїтування призводить до підвищення сухого залишку води, тому необхідне обов'язкове застосування шламовідокремлювачів або освітлювальних фільтрів.

ВОДНО-ХІМІЧНИЙ РЕЖИМ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ

Вихідна вода, яка використовується для підживлення тепломереж з відкритим водо розбором і для гарячого водопостачання, повинна відповідати санітарним вимогам відповідно до *ДержСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до питної води, призначеної для пиття людини»*.

Якість води, яка використовується для підживлення теплових мереж, повинна відповідати вимогам «Правил технічної експлуатації теплових установок і мереж» 2015 р., п.6.8 «Водопідготовка і водно-хімічний режим».

Водно-хімічний режим - сукупність заходів, які регламентують відповідну якість робочих середовищ з метою забезпечення надійної та економічної експлуатації устаткування, яке контактує з ними.

Під час експлуатації джерел теплопостачання і теплових мереж слід забезпечувати компенсацію втрат пари та мережної води підживлювальною водою установленої якості.

Режим експлуатації водопідготовчих установок та водно-хімічний режим забезпечують роботу ДТ і теплових мереж без пошкоджень і зниження економічності роботи устаткування, зумовлених корозією внутрішніх поверхонь теплоенергетичного, мережного устаткування та устаткування водопідготовки, без утворення накипу й відкладень на поверхнях теплообміну і трубопроводах.

Експлуатація устаткування, трубопроводів та арматури установок водопідготовки та очищення конденсату, поверхні яких контактують з корозійно-активним середовищем, допускається за наявності на цих поверхнях *антикорозійного покриття*.

Внутрішні огляди устаткування, відбір проб відкладень, складання актів огляду, а також розслідування технологічних порушень та неполадок, пов'язаних з водно-хімічним режимом, виконується персоналом технологічного підрозділу за участю персоналу хімічного підрозділу суб'єкта господарювання.

Організацію і контроль водно-хімічного режиму роботи устаткування здійснює персонал хімічного цеху (лабораторії або відповідного підрозділу) суб'єкта господарювання, яке експлуатує теплові мережі і/або ДТ.

Хімічний контроль має забезпечувати:

- своєчасне виявлення порушень режимів роботи водопідготовчого, теплотехнічного та тепломережного устаткування, які призводять до корозії, утворення накипу та відкладень;
- визначення якості або хімічного складу води, пари, конденсату, відкладень, реагентів, консервуючих і промивних розчинів, стічних вод, палива, газів;
- перевірку загазованості виробничих приміщень, баків, колодязів, каналів та інших об'єктів;
- визначення стану устаткування, яке перебуває у консервації.

Якість конденсату, який повертається з виробництва, має відповідати таким нормам і не перевищувати:

загальна твердість	50 мкг-екв/куб.дм;	
-----+-----		
уміст заліза	100 мкг/куб.дм;	
-----+-----		
уміст міді	20 мкг/куб.дм;	
-----+-----		
уміст кремнієвої кислоти	120 мкг/куб.дм;	
-----+-----		
значення рН	8,5-9,5;	
-----+-----		
перманганатна окислювальність	5 мгО /куб.дм;	
	2	
-----+-----		
уміст нафтопродуктів	0,5 мг/куб.дм.	

Конденсат, який повертається, не повинен містити потенційно кислих та лужних сполук, наявність яких призводить до відхилення значення рН котлової води від установлених норм більше ніж на 0,5 одиниці в незмінному режимі корекційної обробки фосфатами або фосфатами та їдким натром. За наявності в конденсаті, який повертається, потенційно кислих або лужних сполук, він не приймається ДТ.

Якщо якість конденсату, що повертається на ДТ, не відповідає нормам якості живильної води, слід передбачати його очищення до цих норм.

Для закритих систем теплопостачання з дозволу теплопостачального суб'єкта господарювання верхнє значення рН допускається до 10,5 за одночасного зменшення значення

карбонатного індексу І до 0,1 (мг-екв/куб.дм) , нижнє - може коректуватися залежно від інтенсивності корозійних процесів в устаткованні, трубопроводах систем теплопостачання.

Якість підживлювальної води *відкритих систем* теплопостачання (з безпосереднім водорозбором) має відповідати вимогам до якості питної води та гігієнічних вимог до якості води централізованого господарського питного водопостачання.

У разі силікатної обробки води для підживлення теплових мереж з безпосереднім розбором гарячої води вміст силікатів у підживлювальній воді повинен бути не більшим ніж 50 мг/куб. дм у перерахунку на SiO .

Для підвищення рН середовища можлива корекційна обробка живильної води із застосуванням їдкого натру.

Безпосереднє дозування гідразину та інших токсичних речовин у підживлювальну воду теплових мереж та мережну воду забороняється.

Якість мережної води має відповідати таким нормам:

уміст вільної вуглекислоти	0;	
-----+		
значення рН для систем теплопостачання:		
-----+		
відкритих	8,3-9,0 *;	
-----+		
закритих	8,3-9,5 *;	
-----+		
уміст заліза, мг/куб. дм, не більше ніж, для систем		
теплопостачання:		
-----+		
відкритих	0,3 **;	
-----+		
закритих	0,5;	
-----+		

уміст розчиненого кисню, не більше ніж	20 мкг/куб.дм;	
-----+-----		
кількість завислих речовин, не більше ніж	5 мг/куб.дм;	
-----+-----		
уміст нафтопродуктів мг/куб. дм, не більше, ніж для систем		
теплопостачання:		
-----+-----		
відкритих	0,3;	
-----+-----		
закритих	1,0.	
-----+-----		

Після закінчення опалювального сезону або під час зупину водогрійних котлів та теплових мереж слід ужити заходів, які перешкоджають стоянковій корозії.

Закриті системи теплопостачання

При закритій системі теплопостачання мережна вода немає безпосереднього контакту з людьми. Коли джерелом водопостачання є поверхнева вода, водо підготовчі установки для теплових мереж і для парових котлів використовують такі ж. Для попередньої очистки використовується вапнування з коагуляцією в освітлювачах та освітлення на механічних фільтрах. Вапнуванням обмежуються за умови загальної жорсткості вихідної води до 3 мг-екв/л. Коли не карбонатна жорсткість вище цього значення, необхідно застосовувати пом'якшення води на Na-катіонітових фільтрах.

Крім пом'якшення підживлювальна вода повинна пройти етап термічної деаерації. При погано налагодженій системі деаерації в мережі слід дозувати інгібітори корозії або використовувати силікатну обробку.

Відкрита система теплопостачання

В теплових мережах з відкритою системою теплопостачання гаряче водопостачання здійснюється безпосередньо з теплової мережі. Об'єм підживлювальної води складається з втрат у мережі і витрати води на гаряче

водопостачання. Нагрів води у відкритій системі теплопостачання зазвичай складає 130-150°C.

Для підготовки підживлювальної води відкритих систем теплопостачання можна використовувати таку схему: Н-катіонування, декарбонізація, деаерація.

Гаряче водопостачання

При закритій системі теплопостачання для гарячого водопостачання (в котельні чи тепловому пункті) повинна бути передбачена обробка вихідної водопровідної води. Вибір методу антикорозійної і протинакипної обробки залужить від індексу насичення. Використовується комбінація методів вакуумної деаерації, підкислення, силікатної та магнітної обробки.

Живлення парових котлів поводитьсь в основному конденсатом пари, втрати якої компенсуються хімічно обробленою водою.

ВОДНО-ХІМІЧНИЙ РЕЖИМ ТЕС

Водопостачання ТЕС

Конденсатори парових турбін є основними споживачами води в системі технічного водопостачання теплових і атомних електростанцій. Частка води, що йде на охолодження конденсаторів, становить 90-94% загального споживання води електростанцією. При цьому для конденсаторів парових турбін АЕС витрата охолоджуючої водив 1,5-1,7 рази більше, ніж для конденсаторів парових турбін ТЕС. Це обумовлюється застосуванням на АЕС турбін насиченої пари невисоких параметрів, що при однаковій потужності вимагає істотно більшої витрати пари.

Розрізняють три основних *типи системи водопостачання*: прямоточну, оборотну з водосховищами-охолоджувачами і оборотну з градирнями.

Найбільш ефективна і економічна *система прямоточного водопостачання*. Джерелом води при такій системі зазвичай є море, річка або озеро. Вода з водоймища циркуляційним насосом прокачується через конденсатор і скидається назад у водойму. Якщо в якості джерела води використовується річка, то скидання повинно здійснюватися нижче за її течією. Якщо джерелом служить озеро, то місця

забору і скидання води повинні бути рознесені на відстані, що виключає підмішування нагрітої води до свіжої охолоджуючої. При використанні солоної морської води необхідні спеціальні заходи захисту обладнання від корозії. В умовах браку води, що охолоджує все більшого поширення набувають системиоборотного водопостачання. У таких системах нагріта в конденсаторах вода після охолодження в атмосферних умовах повторно направляється в конденсатор.

В системі оборотного водопостачання з водосховищами-охолоджувачами джерелом води зазвичай є водосховище. Забір води з нього виконується поблизу греблі, а підігріта в конденсаторах вода скидається на такій відстані, щоб вона встигла охолонути до температури на вході в конденсатор. При витягнутої формі водосховища, яка досягає 12 км. При глибокому водосховищі (більше 6 м) свіжу воду забирають з більшої глибини (з придонного шару), а підігріту в конденсаторі воду зливають тут же в поверхневий шар.

В системі оборотного водопостачання з градирні (на електростанціях невеликої потужності з бризкальними басейнами) охолодження нагрітої в конденсаторах води здійснюється в спеціальних охолоджувачах - градирнях. Градирні використовуються тоді, коли немає можливості спорудити водосховище-охолоджувач на місці будівництва електростанції. Таке становище виникає зазвичай при будівництві великих ТЕЦ в містах.

Методи боротьби з відкладеннями у парових котлах

Якість насиченої пари, що виробляється котлами, залежить від таких факторів:

- конструктивних особливостей котла (висота і об'єм парового простору барабану, способу відбору пари наявності і ефективності внутріньобарабанних пристроїв та ін.);
- експлуатаційного режиму котла (зміна навантаження, рівня води і тиску в процесі роботи);
- якості котлової води;

- наявності інших джерел забруднення пари (нещільність пароохолоджувачів – теплообмінників, призначених для регулювання температури перегрітою пари шляхом охолодження живильною або котловою водою; недоліки у схемі або збірці внутрішньобарабанних сепараційних пристроях).

З метою попередження утворення у барабанних котлах відкладень і шламу застосовують такі міри:

- глибоке пом'якшення води, яка надходить для живлення котлів;
- попередження забруднення живильної води продуктами корозії металів;
- усунення присосів охолоджуючої води у конденсаторах турбін;
- організація внутрішньої колової обробки води.

Потрапляння охолоджуючої води у між трубний простір конденсаторів парових турбін називається – *присосом*.

Присоси присутні у кожному конденсаторів, оскільки важко повністю усунути нещільності у місцях з'єднання трубок з трубними дошками. Величина присосу виражається у відсотках від кількості пари, що надходить у конденсатор.

Для контролю величини присосів на практиці найчастіше використовують величину жорсткості.

Внутрішньокотлова або корекційна обробка води проводиться з метою знешкодження накипоутворювачів, які надходять у котел. Використовуючи корекційну обробку води на практиці намагаються створити у котловій воді умови, при яких накипоутворювачі з котла видаляються у формі неприкипаючого шламу. Це досягається тим, що у котловій воді створюють і безперервно підтримують певну концентрацію іонів CO_3^{2-} та OH^- (лужний режим) або PO_4^{2-} і OH^- (фосфатний режим). Реагенти, які використовуються для внутрішньої котлової обробки: їдкий натр NaOH , кальціонована сода Na_2CO_3 , тринатрійфосфат Na_3PO_4 .

Попередження утворення відкладень у прямоточних котлах досягається тим, що котли живляться водою, яка містить мінімальну кількість нелетких речовин.

Задача забезпечення без накипного стану внутрішніх поверхонь прямооточного котла зводиться до усунення джерела забруднення живильної води – присосів охолоджувальної води в конденсаторах турбін.

Іншим джерелом забруднення живильної води є процеси корозії, які протікають у водо-конденсатному тракті станції. Задачею попередження забруднення живильної води продуктами корозії є забезпечення глибокого знекиснення і підтримання лужного середовища.

Фосфатування котлової води проводиться з метою попередження утворення тільки карбонатних відкладень. Метод реалізується шляхом постійного підтримання певної концентрації фосфат - іонів PO_4^{2-} , нижня границя якої залежить від вмісту силікатів і сульфатів. Фактична концентрація фосфат-іонів слугує показником правильності ведення фосфатного режиму.

При пуску котла у роботу у воді, якою заповнений котел, створюють початковий надлишок фосфат-іону.

Тринатрійфосфат вводиться у котел у вигляді розчину певної концентрації.

Реагент може подаватися за двома схемами:

- індивідуальною (реагент подається у кожний котел окремо і вводиться безпосередньо у барабан);
- центральною (розчин реагенту вводиться у певному місці живильного тракту до живильних насосів).

Якщо жорсткість живильної води висока, то центральне введення тринатрійфосфату призводить до заносу регенеративних підігрівачів високого тиску і водяних економайзерів котлів відкладеннями. Тому центральну схему застосовуються для вод з жорсткістю 5 мг-екв/кг.

Живильна вода прямооточних котлів не фосфатується.

Правилами технічної експлуатації дозволено для корегування живильної води барабанних котлів застосовувати поряд з фосфатуванням і *комплексонатну* обробку. У якості реагентів-комплексоутворювачів використовується етилендіамінтетраоцтова кислота (ЕДТА) або її натрієві солі, наприклад трилон Б (більша розчинність).

Оскільки фосфатування не працює на попередження утворення відкладень із вмістом оксидів заліза і міді, тому для котлів середнього і високого тиску його застосовувати недоцільно.

Важливою перевагою трилона Б його здатність утворювати комплекси зі всіма катіонами, присутніми у воді.

Для підвищення термічної стійкості трилона Б проводиться підлучення води їдким натром.

Схема приготування і дозування розчину комплексну включає:

- бак для приготування концентрованого розчину;
- бак для робочого розчину;
- насоси-дозатори і перекачувальні насоси;
- бак-мірник розчину їдкого натру.

Забруднення живильної води ТЕС продуктами корозії конструкційних матеріалів (оксидами заліза, міді, цинку) обумовлене присутністю корозійно активних газів. Надходження кисню і вуглекислоти у живильний контур здійснюється із додатковою водою, присосами охолоджувальної води, присосами повітря у вакуумній частині конденсаторів турбін, ПНТ і зливних насосів. Агресивні гази видаляються у деаераторах живильної води, а також вентиляцією і організованим відсмоктуванням з теплообмінних апаратів теплової схеми.

Для пригнічення корозії з водневою деполаризацією (на катодних ділянках виділяється водень) проводиться *корекційна обробка аміаком*. Для повного зв'язування 1 мг CO_2 потрібно 0,4 мг NH_3 . В результаті нейтралізації вугільної кислоти аміаком утворюється карбонат NH_4HCO_3 та бікарбонат амонію $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$.

Для попередження паро- та конденсатопроводів ТЕЦ з відбором пари на виробництво можуть використовуватись *плівко утворюючі аміни*, наприклад оксидециламін ОДА. Захисна дія ОДА заснована на адсорбції його на металевих поверхнях трубопроводів і апаратів утворенням захисної плівки бар'єра, який блокує контакт між металом та агресивним середовищем. Найкращі результати досягають при рН вод не більше 8. ОДА вводять у пару, яка йде споживачам на виробництво.

Для попередження корозії металу з кисневою деполяризацією (на катодних ділянках виділяється гідроксид –іони) на електростанціях проводиться *гідразинна обробка* живильної води. В результаті реакції відбувається зв'язування кисню з виділенням азоту та води. Гідразинну обробку проводять безперервно. Робочий розчин вводять після деаератора у всмоктувальний трубопровід живильних насосів. Через токсичність парів гідразину склад зберігання обладнуються птужною вентиляцією.

Утворення відкладення солей у пароперегрівачах і турбінах і їх видалення

Пароперегрівачі

Насичена пара на виході з бережену кота надходить у пароперегрівач. Тут краплі котлової води, які містяться у парі, випаровуються, а розчинені в них тверді речовини у деякій кількості залишаються у пароперегрівачі або уносяться у турбіну.

Явище переходу у пар нелетких речовин, які присутні у котловій воді, називається *уносом* (виносом). Розрізняють унос крапельний та вибірковий.

Крапельний унос характеризується рівномірним надходженням забруднень у водяну пару. Кількість розчинених речовин, які містяться у парі, пропорційна їх концентрації у котловій воді.

При *вибірковому уносі* певний компонент розчину переходить у пару у більшій кількості ніж інші.

Пароперегрівачі можуть заноситись відкладеннями, які, як правило, складаються із обрє розчинних у воді з'єднань натрію. З метою видалення таких відкладень проводяться регулярні промивання пароперегрівачів водою. Розрізняють *промивання загальне та індивідуальне*.

При *загальному* промиванні всі змієвики пароперегрівача заповнюються водою одночасно.

При *індивідуальному* промиванні кожен змійовик промивається окремо.

Загальне промивання виконується під час короточасних зупинок котла (2-3 дні) на профілактичний ремонт, а індивідуальна – в період капітального ремонту котлоагрегату.

Парові турбіни

У парових турбінах солі відкладаються переважно на лопатках. Наслідком цього є збільшення шорсткості поверхні лопаток, викривлення профілів каналів і перерозподіл теплових перепадів через нерівномірне відкладення солей по різних ступенях.

Це обумовлює зниження економічності роботи турбіни. При значному заносі лопаточного апарату живий переріз переходу пари зменшується і потужність турбіни знижується.

Відкладення, які утворюються у турбінах можуть складатись із розчинних і нерозчинних з'єднань. До розчинних відносяться з'єднання натрію (Na_2SO_4 , Na_2SiO_3 , NaCl , NaOH). До нерозчинних – оксиди заліза, алюмінію і кремнієва кислота.

Склад відкладень турбін високого і середнього тиску різний. У стурбінах середнього тиску відкладення на 70-80% складаються із сульфату, хлориду або карбонату натрію, у той час як основна частина відкладень у турбінах високого тиску складається з креснекислих з'єднань.

Основним способом боротьби з відкладеннями у турбінах є попередження їх утворення шляхом забезпечення високої якості пари. Якщо відкладення утворились, видалення їх виконується шляхом промивки проточної частини турбіни вологою парою. Змиті солі розчиняються у конденсаті.

У випадку, коли у турбіні утворюються нерозчинні у воді силікатні з'єднання, у пар вводиться розчин їдкого натру, який добре розчиняє оксид кремнію.

Сепараційні пристрої

Внутрішньобарабанні пристрої мають пряме відношення до забезпечення чистоти насиченої пари.

Призначення сепараційних пристроїв:

- гасіння кінетичної енергії потоків пароводяної суміші;
- відділення пари від води – груба сепарація;
- осушення пари – видалення з нього крапельної вологи – тонка сепарація.

Сепарація пароводяної суміші здійснюється за допомогою відбійних щитків, дирчастих і глухих перегородок, циклонів.

Сепараційні пристрої призначені для видалення крапельної вологи, які містять забруднення. Але вони не видаляють речовини, які розчинені у парі. Тому на ряду з сепараційними пристроями у котлах високо та надвисокого тиску застосовується *промивка* пари живильною водою або конденсатом.

Промивання пари заснована на тому, що розчинність нелетких речовин у воді значно вища ніж у парі. Тому при контакті пари водою речовини, нелеткі компоненти пари переходять у водний розчин і видаляються.

Продувка парових котлів

Продувкою парових котлів називають вивід з котла частини котлової води і заміну її на живильну. Це виконується для того, щоб попередити надмірне збільшення концентрації речовин у котловій воді.

Розрізняють продувку безперервну та періодичну. *Безперервна продувка* виконується з метою підтримання визначеної концентрації котлової води, а *періодична продувка* призначена для виводу із котла шламу.

Згідно Правил технічної експлуатації електростанцій величина продувки становить:

- 5% для ТЕЦ з незворотною подачею пари на виробництво;
- 2% для ТЕЦ без паді пари на сторону і поновленням втрат хімічно очищеної води;
- 1% для конденсаційних ТЕЦ.

Очистка турбінного конденсату

Основними складовими живильної води ТЕС є турбінний конденсат і конденсат грітої пари регенеративних підігрівачів. На відміну від чисто

конденсаційних ТЕС до складу живильної води ТЕЦ, також входить конденсат мережних підігрівачів і зворотній конденсат від виробничих споживачів пари.

У відповідності до вимог ПТЕ до якості живильної води котлів різних конструкцій і робочих параметрів необхідна очистка конденсату турбін для блоків надкритичного тиску. З цією метою використовуються блочні БОУ (блочна знесолювальна установка).

На конденсаційних та опалювальних ТЕС з барабанними котлами високого тиску конденсат турбін і мережних підігрівачів зазвичай не очищують.

За характером забруднень, які видаляються з конденсату у схемі БОУ передбачають дві послідовні стадії: очистка від завислих речовин і видалення розчинених електролітів.

Від *завислих речовин* конденсат очищається на *механічних фільтрах*:

- фільтруванням через ущільнений шар целюлози (целюлозні наливні фільтри);
- фільтруванням через шар сульфовугільної заправки (наливні фільтри).
- фільтруванням конденсату через шар намагніченої заправки (електромагнітні фільтри).

Для очистки конденсату від завислих речовин застосовуються наливні фільтри, завантажені сульфовугіллям, катіонітом КУ-2 та сополіметом.

Знезалізнення конденсату проводять на електромагнітних флокуляторах.

Чистка конденсату від розчинених електролітів проводиться на фільтрах змішувальної дії (ФЗД), який містить одночасно і катіоніт, і аніоніт в одному фільтрі. Або за схемою окремого іонування у послідовно розміщених фітах, завантажених катіонітом і аніонітом.

Очистка виробничого конденсату

Конденсат пари, яка повертається електростанція промисловими підприємствами, може забруднюватись як специфічними домішками, характерними технології цих підприємств, так і продуктами корозії конструкційних матеріалів. Забруднюючі речовини можуть містити:

нафтопродукти, різні органічні з'єднання, лужні солі, алюмінати, оксиди металів і т.і.

При виборі технології і схеми очистки виробничого конденсату необхідно враховувати вплив не тільки самих забруднювачів на стан поверхонь нагріву теплосилового обладнання, а і продуктів термічного розкладу цих домішок.

Конденсат, який може бути забруднений з'єднаннями, які при термолізі утворюють мінеральні або органічні кислоти, не можуть використовуватись у циклі ТЕС.

Виробничий конденсат на відміну від турбінного забруднений продуктами низькотемпературної корозії у формі тонко дисперсної зависі гідроксидів металів, які повністю не видаляються фільтруванням.

З метою зниження інтенсивності корозії оптимальним значенням рН конденсату є 8,5 -9,5. Забезпечується дозуванням аміаку або їдкого натру.

Для пари, яка направляється на підприємства, можливим є введення плівкоутворюючих амінів – інгібіторів корозії, якщо така обробка не має протипоказань у технології використання пари у споживача.

Очистка конденсату від нафтопродуктів

Виробничий конденсат, забруднений нафтопродуктами, необхідно попередньо очищати. При концентрації не більше 20 мг/кг нафтопродукт утворюють нестійку емульсію, розшаровуються при відстоюванні, особливо при високій температурі (підвищення температури зменшує в'язкість води).

При вмісті нафтопродуктів не більше 10 мг/кг очистка досягається застосуванням тільки сорбційних фільтрів.

Коли вміст нафтопродуктів більше 10 мг/кг, установки обладнують спеціальними відстійниками з нафтоловушками. І конденсат на сорбційні фільтри подається після відстійників. Для повного відділення нафтопродуктів тривалість відстоювання має бути не менше 3 годин. А кількість відстійників – не менше двох. У сорбційних фільтрах у якості фільтрувального матеріалу використовується малозольне деревне активоване вугілля та полі кокс.

Знезалізення і знесолення конденсату

Установка очистки виробництв конденсатів від заліза і мінеральних солей складається з баку-збірника конденсату, механічних фільтрів та фільтрів іонного обміну.

За допомогою механічної очистки проводиться знезалізнення (до 50%). На іонітових фільтрах відбувається подальше очищення. У якості фільтруючого матеріалу для знезалізнення використовують антрацит, активоване вугілля або катіоніт. Якщо на очищення подається конденсат після знемаслення, то механічний фільтр, завантажений антрацитом, суміщає знезалізнення та бар'єрного для уловлювання проскоків масел.

Роботу механічного фільтру контролюють п вмісту заліза на фільтрі і перепаду тиску. По закінченню робочого циклу проводять регенераційну відмивку матеріалу у виносному фільтрі-регенераторі.

Виробничі конденсати звільняють від мінеральних солей на одноступеневому Н-ОН-іонуванні.

Термічний метод підготовки додаткової води котлів

Термічний спосіб знесолення із застосуванням парових випаровувачів відомо давно. Він полягає у тому, що вода випавується, а пара, яка утворилась, конденсується. Тим самим утворюється конденсат, позбавлений солей. Зконцетровані накиоутворювачі виводяться з апарату продувкою. Випаровування води проводиться у апаратах, які називаються *випаровувачами*.

Випаровувач представляє собою циліндричний металевий посуд із сферичним днищем, у який поміщається гріючий елемент. Нагрівач представляє собою трубчатий теплообмінник, по трубках якого циркулює вода (водотрубний випаровувач) або пара (паротрубний випаровувач). Гріюча пара називається *первинною*. Конденсат первинної пари через конденсатовідводчик стікає у збірний бак. Утворена у випаровувачі пара називається вторинною. Пройшовши сепараційний пристрій, надходить у охолоджувач, де перетворюється на коденсат і стікає у приймальний бак. Конденсат вторинної пари називається *дистилятом*.

Випаровувачі в тепловій схемі ТЕС включаються наступним чином: гріючий пар до випаровувача підводиться із відборів турбіни. Конденсат пари повертається у цикл регенеративних ПНТ, а вторична пара направляється у систему регенерації для конденсації. На установку відбирається із турбіни пара більш високого тиску, а повертається пар низького потенціалу. Тому у ряді випадків економічно більш вигідно застосовувати знесолення методом іонного обміну ніж термічний метод знесолення.

Часто для збільшення продуктивності випарювальні установки включаються по парі послідовно. Розрізняють одно-, двох- та багатоступеневі випарювальні установи.

На електростанціях, де втрати конденсату незначні, дистилят отримують у двоступеневих випарювальних установках.

При великій незворотній подачі пари на виробництво і необхідності підживлювати воду чистим конденсатом застосовують паро *перетворювачі*. Принципова відмінність їх від випаровувачів полягає у тому, що вторинна пара паро перетворювачів має більш високий тиск і повністю віддається споживачам. Відповідно, споживачі отримують не пару котлів, а пару пар перетворювачів. Конденсат первинної пари перетворювачів повністю повертається у котел.

Випаровувачі і перетворювачі живляться хімічно обробленою водою.

МЕТОДИ ОЧИСТКИ КОТЛІВ ВІД ВІДКЛАДЕНЬ

Контроль водно-хімічного режиму

Виконання регламентуючих показників якості живильної і котлової води не може повністю виключити утворення відкладень на екранних трубах котлів. На швидкість утворення відкладень впливають різні фактори, і перш за все теплові напруження, якіска живильної і котлової води і робочі параметри середовища.

Оцінку стану водно-хімічного режиму ведуть по результатам оперативного контролю показників якості котлової і живильної води. Об'єм і періодичність періодичного контролю визначають для кожної котельні чи станції, виходячи з місцевих умов експлуатації. Підсумкову оцінку стану водно-хімічного режиму за

конкретний період отримують за вимірюванням температури металу труб і забрудненості поверхонь труб, яка визначається вибірковою вирізкою зразків.

Для контролю за зміною температури екранних труб у них вварюються спеціальні *температурні вставки* із встроєними термopарами. Показання термopар виводять на реєстраційні пристрої. Температурні вставки зазвичай встановлюють у зоні підвищених теплових напружень.

При відсутності температурного контролю металу проводять вибірку вирізку контрольних зразків. Зони екранної поверхні, з якої проводять вирізку, уточнюють для кожного типу котлів, в залежності від особливостями топчного режиму, розміщення пальників схеми циркуляції і виду палива.

Періодичність вирізок складає для котлів, які працюють на рідкому паливі , 10 000-15 000 годин, на твердому паливі 18 000 -21 000.

Кожен зразок розрізають вздовж по лінії розділу вогневої і тилової сторони а потім впоперек на окремі ділянки для визначення забрудненості і хімічного аналізу відкладень.

Чітке виконання системи контролю за станом поверхонь нагріву котлів дозволяє за станом металу, структурі відкладень, а також їх складу оцінити надійність водно-хімічного режиму за конкретний період.

Видалення відкладень з поверхонь нагріву котлів

Видалення відкладень у котлах виконується двома способами: *хімічним та механічним*. Для очистки відкладень, які важко видаляються, застосовують комбіновану чистку – хімічну з механічною доочисткою.

Механічна чистка полягає у видаленні відкладень накипоочищувальними головками різної конструкції, які приводяться в обертання пневмо- та електроприводами. Такий метод очистки трудомісткий, вимагає тривалої зупинки котлоагрегату, не забезпечує очистки великих і складних за конфігурацією котлів.

Широке розповсюдження отримала хімічна очистка від відкладень розчинами мінеральних та органічних солей.

Суть методу хімічного очищення полягає у тому, що кислоти, вступаючи у взаємодію з відкладеннями в процесі промивання, розчиняють її, переводячи нерозчинні у воді солі у розчинні. Промивання проводиться такими *мінеральними кислотами*: соляною, сірчаною, фосфорною (2-6%).

Органічні кислоти використовуються для очищення котлоагрегатів, у яких основними складовими відкладень є оксиди заліза. Їх застосовують також і в тому випадку, коли неможливо використовувати мінеральні кислоти (наприклад, коли у конструкції котла є елементи з аустенітних сталей). Промивання проводиться такими органічними кислотами: оцтова, щавлева, лимонна.

Найбільш розповсюдженою кислотою для очистки від відкладень є соляна кислота.

Дія кислоти в процесі промивання не обмежується відкладеннями. При очистці кислотний розчин проникає через тріщини у шарі відкладень, розчиняє оксидну плівку, руйнує зв'язок відкладень з металом і при сильній примусовій циркуляції видаляється з поверхні.

Для запобігання руйнування металу під дією кислот використовується наступна нейтралізація лугами і пасивування поверхонь для створення захисної плівки. До промивного розчину додають інгібітори корозії.

Оптимальною температурою для кислотного очищення є температура 60°C, тому промивочний розчин підігрівають.

Видалення відкладень з прямоточних котлів виконується шляхом водних промивок на ходу. При горящій топці через котел прокачується вода і волога пара зкидається у спеціальний збірний бак. Проходячи по змійовиках котла, вода розчиняє відкладення і таким чином досягається їх видалення.

Механічний метод очищення проводиться ручним та механічним способом. Ручний спосіб, який застосовується переважно для парових котлів низького тиску, полягає у тому, що відкладення видаляються за допомогою молотка та скребка. Зовнішню чистку від шлаку та нагару проводять за допомогою щіток, скребків та інших абразивних засобів.

Парові котли середнього тиску очищають механічно за допомогою спеціальних інструментів – шарошок, пневматичних зубил і круглими проволочними щітками.

Очистку труб виконують з барабана зверху вниз, а клеkotів – через лючки зверху вниз.

Кислотні промивки є ефективним способом видалення відкладень з поверхонь нагріву різних апаратів. Однак вони не можуть розглядатись як експлуатаційна міра боротьби накипоутворенням, оскільки кислота навіть у присутності ефективних інгібіторів корозії все ж розчиняє метал і систематичне застосування кислотних промивок створює небезпеку пошкодження обладнання. Боротись з відкладеннями слід способами, які попереджують їх утворення.

Для котлів малої потужності і низького тиску застосовують замість кислотної промивки обробку відкладень кальціонованою содою або тринатрійфосфатами. Повністю відкладення у такий спосіб не видаляються, але відкладення стають м'які і можуть бути видалені механічним способом.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. ДНАОП 0.00-1.08-94 «Правила будови та безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів».
2. *ДержСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до питної води, призначеної для пиття людини».*
3. Правил технічної експлуатації теплових установок і мереж, 2015 р.,
4. Лифшиц О.В. Справочник по водоподготовке котельных установок.- М.: «Энергия», 1976. –288 с.
5. Кострыкин Ю.М., Мещерский Н.А. Водоподготовительный и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления.- М.: Энергоатомиздат, 1990.- 254 с.
6. Белоконова А. Ф. Водно-химические режимы тепловых электростанций / А. Ф. Белоконова. – Москва: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.
7. Дойников В.Б., Прохнич Ю.П. В помощь персоналу по организации водного режима котлов и очистки их от накипи. – Мн.: БОИМ, 2007. – 186 с.
8. Балабан-Ирменин, Ю.В. Защита от внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей / Балабан-Ирменин Ю. В. , Липовских В. М., Рубашов А. М. – М. : Энергоатомиздат, 1999. – 248 с.
9. Бузников Е. Ф. Производственные и отопительные котельные / Е. Ф. Бузников, К. Ф. Роддатис. – Москва: Энергоатомиздат, 1984. – 248 с.