УДК: 628.164

ОСОБЛИВОСТІ ВОДОПІДГОТОВКИ ДЛЯ КОТЕЛЬНИХ

Долінський А.А., академік НАН України, **Ободович О.М.,** доктор техн. наук,
Сидоренко В.В., канд. техн. наук, **Лимар А.Ю.,** канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна, 03057 м. Київ, вул. Марії Капніст (Желябова), 2а

https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2021.2

В роботі представлено аналіз існуючих технологій та обладнання водопідготовки для різних видів котлів. Висвітлено основні вимоги до якості води, що використовується в котлах. Наведено основні види обладнання для очищення води від домішок.

В работе представлен анализ существующих технологий и оборудования водоподготовки для разных видов котлов. Освещены основные требования к качеству используемой в котлах воды. Приведены основные виды оборудования для очистки воды от примесей.

The paper presents an analysis of existing technologies and equipment for water treatment for different types of boilers. The main requirements for the quality of water used in boilers are highlighted. The main types of equipment for water purification from impurities are given.

Бібл. 9, рис. 3.

Ключові слова: котли, водопідготовка, знезалізнення, пом’якшення, дегазація, обладнання.

В промисловості, комунальній енергетиці та сільському господарстві країни працюють тисячі парових та водогрійних котлів середніх та низьких параметрів. Їх надійна робота багато в чому визначається веденням раціонального водно-хімічного режиму.

Вода володіє унікальною теплоємністю. У зв'язку з цим, та завдяки її відносній дешевизні, вода широко використовується в якості теплоносія, проте той факт, що вода не буває абсолютно чистою, тобто такою, що не містить ніяких домішок, створює низку проблем при експлуатації котельного обладнання, починаючи зі створення різних відкладень на поверхнях та закінчуючи корозійними процесами. Ті, в свою чергу, призводять до зниження ефективності роботи котлового обладнання, збільшення енерговитрат, прискорення зношування обладнання аж до повного дострокового виходу його з ладу.

В силу цього, вимоги до води, що використовується для роботи котельного обладнання, є дуже високими. Вони встановлені «Правилами будови і безпечної експлуатації теплових і водогрійних котлів» або вимогами виробників котельного обладнання. Регламентується прозорість води, її жорсткість, вміст заліза і міді, кількість розчиненого у воді кисню, значення pH, вміст нафтопродуктів.

Отримання води з необхідними характеристиками питання непросте і, найчастіше, багатоетапне.

Метою роботи є аналіз існуючих технологій та обладнання для підготовки води для різних видів котлів. Визначення фізико-хімічних показників та вимог до вихідної та підготовленої води. Презентація нового багатоцільового енергоефективного та ресурсозберігаючого обладнання для очищення води.

Є поняття докотлової і внутрішнькотлової водопідготовки. Докотлова обробка забезпечує доведення параметрів вихідної води (одержаної з водопроводу, свердловини тощо) до рівня вимог котлонагляду або виробника обладнання, тобто отримання живильної води з заданими параметрами. У зв'язку з тим, що в процесі роботи парових систем частина пари втрачається (пара, тобто, чиста вода, уходить, а домішки, що містилися в живильній воді, залишаються) концентрація їх в котельній воді зростає. Виникає необхідність повторного впливу на воду з метою недопущення негативних наслідків погіршення параметрів води. Це і є внутрішньокотловою обробкою води.

Існують різні методи і технології вирішення питань, пов'язаних з водопідготовкою для котельного обладнання. Вибір їх залежить не тільки від технічних питань (виду і призначення устаткування, його потужності, якості вихідної води, вимог до живильній воді, тощо), але і від фінансової складової [1].

Очевидним є той факт, що чим більш автоматизовані процеси водоочищення, тим дорожче обладнання. До подорожчання також призводить застосування сучасних більш досконалих матеріалів і технологій.

Однак, не підлягає сумніву і той факт, що втрати, викликані повним або частковим виходом з ладу котельного обладнання, зниженням його продуктивності, підвищенням енерговитрат, погіршенням якості

кінцевого продукту, викликані відсутністю або низькою якістю водопідготовки, незрівнянно більше, ніж витрати на її проведення, в особливості, якщо враховувати техногенні ризики. Не варто також забувати, що гарантійні зобов'язання виробників котельного обладнання не поширюються на випадки невиконання вимог, встановлених ними для живильної води.

Таким чином, питання - бути чи не бути водопідготовці для котельного обладнання, вирішується однозначно. Без якісної підготовки води успішна і безперебійна робота котельного обладнання на протязі тривалого часу неможлива.

Робота з водопідготовки починається з отримання лабораторного аналізу вихідної води. Потім, виходячи з потужності і призначення котла, теплового режиму, максимальної годинної витрати води для його підживлення і вимог щодо якості живильної води проводиться підбір технологій та обладнання для доведення параметрів вихідної води до заданих.

Зазвичай першим кроком в очищенні води є видалення домішок (пісок, глина, іржа тощо) за допомогою сітчастих механічних фільтрів. Розмір частинок, які через них можуть проходити, не повинен перевищувати 50 мкм.

Високий вміст заліза (зазвичай з марганцем), розчиненого у воді призводить, при його окисленні, до утворення шламу, що осідає на поверхнях. Разом з накипом ці відкладення призводять до зменшення діаметра труб, потовщення стінок котлів, забивають тонкоструменеві пристосування і фільтри, засмічують воду всередині котла. Вимоги до вмісту заліза в живильній воді для різних типів котлового обладнання різний і коливається, в основному, від 0,03 до 0,6 мг/дм^3. Видалення заліза проводиться, зазвичай, на фільтрах - знезалізнювачах з каталітичної завантаженням.

Серйозну проблему створюють для котельного обладнання солі, розчинені у воді, особливо, солі кальцію і магнію, так звані солі жорсткості. Жорстка вода при нагріванні створює накип на всіх поверхнях, з якими вона стикається. Відомо, що кожен градус жорсткості збільшує вапняні відкладення на 18 г/м^3.

Як уже згадувалося, накип є основою всіх відкладень на поверхнях, що стикаються з гарячою водою. Чим більше накип, тим більше тепловтрати в системі в результаті порушення теплопередачі. Встановлено, що використання для підживлення води з жорсткістю 15 градусів, втрати енергії становлять близько 10%. Крім того, відбувається перегрів окремих ділянок котлів, що може привести до утворення тріщин на них. Через накип та інші відкладення знижується робочий перетин труб, що призводить до збільшення опору потоку, підвищення тиску в котлі, вспінюванню води і викиду частини води разом із забрудненнями в пару. В результаті погіршується якість пари, що використовується. Найчастіше це неприпустимо. Підвищення тиску в котлі само по собі дуже небезпечно.

Усунення солей жорсткості називається пом'якшення. Найбільш поширеними, доступними і дають хороший результат є іонообмінні фільтри. Суть роботи цих фільтрів зводиться до обміну деяких видів катіонів, якими насичена іонообмінна засипка на катіони кальцію і магнію солей жорсткості розчинених у воді. Такий процес називається катіонуванням. Як катіонітів (засипки для фільтра) застосовуються різні матеріали, як природні, так і штучно створені. Найбільш ефективними є синтетичні іонообмінні смоли. У порівнянні з іншими катіонітами вони мають велику об'ємну ємність. Кількість регенерації (повернення до первісного стану), яке вони можуть забезпечити в рази вище, ніж у інших іонообмінних матеріалів. Відповідно вище їх продуктивність і термін служби.

Для парових котлів, що використовуються в технологічних процесах, наприклад, харчової промисловості, де втрати пара більше 30 % пом'якшення води (тобто усунення тільки солей жорсткості) може не вистачити. Потрібна демінералізація. У таких випадках використовують фільтри, що працюють за методом зворотного осмосу, суть якого полягає в пропущенні води під тиском через напівпроникні мембрани. При цьому через мембрану може проходити тільки вода, а всі забруднення (96-99,9% в залежності від виду) залишаються за мембраною і скидаються в каналізацію. Наступним кроком у підготовці води для котельного обладнання є очищення води від розчинених в ній газів, що входять до складу повітря. Частково розчинені у воді кисень і двоокис вуглецю руйнують захисний шар оксидів на поверхні металів. Потім, вступаючи в реакцію з залізом (при наявності навіть невеликої кількості води) призводять до корозії металевих поверхонь. Для зменшення кількості цих газів використовується деаераційне обладнання. Вода після проходження через деаератор, надходить в бак для підживлення води. Це останній етап докотлової підготовки води [2,3].

Живильна вода при будь-яких методах очищення не може бути абсолютно чистою. У ній все одно міститься певна кількість домішок. В процесі роботи котла відбувається втрата деякої кількості пари.

Величина втрат пари залежить від характеру виробництва.

Наприклад:
в машинобудуванні – до 20%;
в промисловості будматеріалів – до 30%;
в хімічній – до 40%;
в нафтопереробній – до 50%;
в опалювальних котельнях – від 10 до 100%.

Крім того: протікання в теплотрасах становлять 0,5… 1%; з продувкою – 5…10 %.

Ці втрати заповнюються за рахунок додавання води, що пройшла обробку. Додаткової водою називають воду, що пройшла підготовку. Живильною водою називається суміш додаткової води і конденсату, що повертається. Котловою водою називається вода, що циркулює в контурі котла. При роботі котлоагрегату відбувається безперервне накопичення домішок в котельній воді внаслідок її упарювання і припливу солей з живильною водою. Ці домішки можуть забруднювати пару (солі кремнієвої кислоти розчиняються в парі при високому тиску, а потім відкладаються на стінках апаратів при зниженні тиску). Решта домішок в котельній воді викликають негативні наслідки, якщо не вжити відповідних заходів при переробці води.

Попадання механічних домішок і солей карбонатної жорсткості викликають утворення в випарному контурі шламів і пухких сполук, які необхідно періодично видаляти. Теплопровідність накипу і шламу незначна в порівнянні з теплопровідністю металевих стінок. Тому збільшується термічний опір процесу теплопередачі від газів до води, що призводить до неприпустимого підвищення температури стінок труб і зниження їх механічної міцності.

Збільшення термічного опору підвищує витрату палива. Найбільше накипоутворення відбувається в зоні високих температур (на вогневої стороні).

Розчинені у воді гази (CO_2 і O_2) при високих температурах володіють великою корозійною активністю. Лужність води трохи знижує інтенсивність корозійних процесів, але зі збільшенням лужності збільшується вспінювання води в барабанах, і можливе винесення піни з парою. Присутність у воді органічних сполук також небажано. Висока окислюваність води ускладнює її обробку та видалення мінеральних солей, підвищує піноутворення.

Отже, до якості живильної води пред'являються вимоги в залежності:

1) від типу котлоагрегату (барабанний (з багаторазової циркуляцією); прямоточний; водогрійний);

2) від виду палива, що спалюється (різні теплонапруження);

3) від тиску пари, що виробляється [4].

Вимоги до живильній воді парових котлів.

Для котлів з природною циркуляцією з паропродуктивністю 0,7 т/год і вище, з $P_{роб}$ <4,0 МПа (39 кгс/ см^2) живильна вода повинна задовольняти наступним нормам:

а) $Ж_о$ (не більше):

- для газотрубних і жаротрубних котлів, що працюють на твердому паливі – 500 мкг-екв/кг;

- для газотрубних і жаротрубних котлів, що працюють на газоподібному або рідкому паливі - 30 мкг-екв /кг;

- для водотрубних котлів з робочим тиском до 1,4 МПа (13 кгс/см^2) – 20 мкг-екв/кг;

- для водотрубних котлів з $P_{роб}$ від 1,4 до 4,0 МПа (від 13 до 39 кгс /см^2) – 15 мкг-екв / кг;

б) вміст розчиненого кисню (не більше):

- для котлів з $P_{роб}$<4,0 МПа (39 кгс/см^2) і паропродуктивністю 2 т/год і більше, які не мають економайзерів, і котлів з чавунними економайзерами - 100 мкг/кг;

- для котлів з $P_{роб}$<4,0 МПа (39 кгс/см^2) і паропродуктивністю 2 т/год і більше зі сталевими економайзерами - 30 мкг/кг;

в) вміст масел (не більше):

- для котлів з $P_{роб}$ <1,4 МПа (13 кгс/см^2) – 5 мг / кг;

- для котлів 13 <$P_{роб}$<39 кгс/см^2 – 3 мг/кг.

Для котлів з природною циркуляцією з $P_{роб}$<4,0 МПа (39 кгс/см^2), а також для прямоточних котлів незалежно від тиску якість живильної води повинна задовольняти Правилам технічної експлуатації електричних станцій і мереж.

Норми вмісту солі та лужності котлової води встановлюються на основі випробувань. Відносна лужність не повинна перевищувати 20%.

У парових котлах зі звареними барабанами допускається підвищення відносної лужності понад допустиму норму до 50% за умови вжиття заходів щодо попередження міжкристалітної корозії металу.

Якість підживлювальної води для водогрійних котлів:

а) карбонатна жорсткість – не більше 700 мкг-екв/кг;

б) вміст розчиненого кисню – не більше 50 мкг-екв/кг;

в) вміст завислих речовин – не більше 5 мг/кг;

г) вміст вільної вуглекислоти не допускається;

д) pH не менше 7 [5-7].

Механізм утворення накипу

При випаданні в осад речовини, що важко розчиняється, встановлюється динамічна рівновага між

осадом і розчином. Воно характеризується постійністю концентрації цієї речовини в розчині за даної температури.

Добуток активностей іонів називається добутком розчинності.

Добуток розчинності для бінарних електролітів (КА):

$$ДР_1 = a_k \cdot a_A = f_1^2 \cdot C_k \cdot C_A, \quad (1)$$

де $a_к$, a_A – активності іонів;
f_1 – коефіцієнт активності однозарядних іонів;
$C_к$, C_A – концентрації іонів.
Розчинність (КА):

$$S = C_k = C_A = \frac{1}{f_1}\sqrt{ДР_1}, \quad (2)$$

Коефіцієнт активності f_i залежить не тільки від концентрації даного іона C_i, але і від концентрації інших іонів, що знаходяться в розчині.

Вплив на f_i всіх іонів характеризується іонною силою розчину:

$$\mu_i = \frac{1}{2}(C_1Z_1^2 + C_2Z_2^2 + ... + C_nZ_n^2), \quad (3)$$

де Z – валентність іонів

Відповідно до рівняння Дебая-Гюккеля

$$\lg f_i = \frac{A \cdot Z_i^2 \cdot \sqrt{\mu}}{1+\sqrt{\mu}}, \quad (4)$$

для розбавлених розчинів: $\lg f_i = -0,5 \cdot Z_i^2 \cdot \sqrt{\mu}$,
для більшості природних вод: $\mu = \frac{S}{40} \cdot 10^{-3}$,
де A – експериментальний коефіцієнт;
S – вміст солі води, мг/кг.
Добуток розчинності для (K_2A):

$$ДР_2 = C_k^2 \cdot C_A \cdot f_1^2 \cdot f_2, \quad (5)$$

Розчинність:

$S = C_A$, тоді

$$C_k = 2C_A = 2S_2; S_2 = C_A\sqrt[3]{\frac{ДР_2}{4f_1^2 \cdot f_2}}, \quad (6)$$

Для речовин типу K_mA_n:

$$a_k^m \cdot a_A^n = f_k^m \cdot C_k^m \cdot f_A^n \cdot C_A^n = ДР_m, \quad (7)$$

$$S_m = C_{k/m} = C_{A/n}, \quad (8)$$

Тверді відкладення утворюються в результаті різних фізико-хімічних процесів, що викликаються нагріванням і упарюванням води. Практика експлуатації показує, що основними утворювачами накипу є нерозчинні сполуки кальцію і магнію: $CaCO_3$, $CaSO_4$, $Mg(OH)_2$.

При нестачі розчиненої вуглекислоти відбувається розпад бікарбонатів:

$$2HCO_3^- \leftrightarrow CO_2^- + 2CO_2 + H_2O, \quad (9)$$

$$Ca^{2+} + CO_3^- \rightarrow CaCO_3, \quad (10)$$

$\downarrow$

осад

$$Ca(HCO_3) \rightarrow CaCO_3 + CO_2 \uparrow + H_2O, \quad (11)$$

$\downarrow$

осад

$$\begin{cases} HCO_3^- \leftrightarrow CO_2 + OH^- \\ Mg^{2+} + OH^- \rightarrow Mg(OH)\downarrow \end{cases}, \quad (12)$$

$$Mg^{2+} + 2HCO_3^- \rightarrow Mg(OH) + 2CO_2 \uparrow, \quad (13)$$

$\downarrow$

осад

Наприклад, ПР $_{CaCO3}$ за 25 ºС – $4,8 \cdot 10^{-9}$; за 95 ºС – $0,83 \cdot 10^{-9}$. Це означає, що за умови повного термічного розпаду бікарбонатів утворення $CaCO_3$ відбувається і без упарювання котельної води. ПР $_{CaSO4}$ при 25 ºС– $6,1 \cdot 10^{-5}$; при 95 ºС – $1,08 \cdot 10^{-5}$. Тобто $CaSO_4 \cdot nH_2O$ випадає при досягненні деякої концентрації, якщо добуток активності іонів Ca_2+ та SO_4^{2-} перевищить величину добутку розчинності.

Шар накипу призводить до зменшення коефіцієнта теплопередачі і до підвищення температури зовнішньої поверхні теплообмінних труб котлів. В результаті труби прогорають, що призводить до аварії котлоагрегату або до скорочення терміну служби.

Домішки сирої води. Методи водопідготовки для котельної.

Домішки, що містяться у воді, можна розділити на дві групи: розчинені і нерозчинені (механічні). Висока каламутність, наявність зважених і колоїдних частинок веде до накопичення шламу і забивання трубної системи котла і порушення циркуляції. Залежно від джерела води і кількісних показників нерозчинених забруднень вибирається метод механічного очищення, освітлення. У найпростішому випадку це механічний фільтр з рейтингом фільтрації 200-500 мкм, а при поверхневому водозаборі може знадобитися обробка коагулянтами, флокулянтами, з подальшим відстоюванням і висвітленням.

До розчинених домішок, які впливають на роботу котлового обладнання, в першу чергу відносять солі жорсткості. При використанні жорсткої води відбувається утворення накипу на поверхні, погіршується тепловіддача, відбувається перегрів труб з боку нагріву, що може привести до їх руйнування. Залежно від типу котла пред'являються менш або більш жорсткі вимоги по вмісту солей кальцію і магнію в живильному і котельній воді. На підставі вимог до очищення, вихідної жорсткості води і необхідної продуктивності вибирається спосіб пом'якшення. До основних способів можна віднести

1.Пом’ягчення на Na-катіонітовій смолі;

2.Вапнування;

3. Пом’якшення, зниження загального солевмісту на установках зворотного осмосу;

4. Пом’якшення, зниження загального солевмісту послідовним пропусканням води через Н, ОН-іонообмінні фільтри.

Найпоширенішим методом пом'якшення для котелень невеликої потужності є метод іонного обміну на Na-катіонітових фільтрах. При протіканні води через шар завантаження іони кальцію і магнію заміщають іони натрію в гранулах смоли. Таким чином, іони жорсткості витягуються з води, а для підтримки іонного балансу в еквівалентному співвідношенні виділяються іони натрію, солі якого мають високу розчинність.

Для безперервного пом'якшення використовують установки типу Duplex (Дуплекс) - два фільтри працюють одночасно, але регенеруються по черзі; або типу Twin (Твін) - два фільтри працюють по черзі, регенерація відбувається в момент роботи іншого фільтра (рис.1).

Підготовка живильної води методом зворотного осмосу застосовується, коли необхідно отримати дуже високу якість води і/або пари, а також коли необхідно рішення декількох завдань, наприклад, якщо крім пом'якшення необхідно знизити лужність води, видалити хлориди або сульфати. Установки зворотного осмосу (УЗО) (рис. 2) завжди розраховуються індивідуально для кожного випадку, виходячи з якості вихідної води. Очищена на зворотньоосмотичних мембранних елементах вода називається «пермеат» і має знижений водневий показник pH. УЗО працюють на накопичувальні ємності, а до подачі вихідної води на установку обов'язково необхідна попередня підготовка.

Для води зі свердловини характерним є перевищення вмісту заліза і марганцю, які також впливають на

Рис. 1. Обладнання для безперервного пом’якшення води DUPLEX

робочий режим котлового обладнання. Вибір методу знезалізнення визначається багатьма факторами - від продуктивності установки до супутніх домішок. Для запобігання кисневої корозії необхідно видалити розчинений кисень з живильної води. Розрізняють декілька видів деаерації, але найбільш часто застосовується термічний і хімічний спосіб. Хімічний (реагентний) - введення в воду речовини, що зв'язує розчинений кисень, найчастіше застосовують сульфіт, гідросульфіт або тіосульфат натрію. При термічній обробці живильна вода нагрівається до температур, близьких до температури кипіння, при цьому розчинність газів у воді зменшується і відбувається їх видалення. Апарати, в яких проводиться термічна дегазація, називаються «деаератори». Бувають деаератори атмосферного, підвищеного тиску і вакуумні. За способом нагріву деаератори діляться на струменеві, барботажні і комбіновані. У деаераторах, крім кисню, видаляється також розчинений у воді вуглекислий газ, який є причиною вуглекислотної корозії. Для зменшення вмісту вуглекислого газу в живильній воді використовують також підлужування.

Як видно з вищевикладеного, технологія водопідготовки та водоочищення для котельних складна, багатоетапна та потребує великої кількості різноманітного обладнання. В ІТТФ НАНУ розроблено багатоцільову аераційно-окислювальну установку роторного типу (АОРТ) на котрій можливо здійснювати операції по видаленню з води заліза, марганцю, солей жорсткості, збільшення pH, а також дегазації (рисунок 3). Працює установка за методом дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) [8].

Реалізація методу ДІВЕ передбачає створення великої кількості рівномірно розподілених в дисперсному середовищі робочих органів або робочих елементів, які трансформують стаціонарну теплову, механічну або інші види енергії в енергетично потужні імпульси, дискретні в часі і в просторі. Супроводжуючі ці явища ударні хвилі, міжфазна турбулентність, мікрокавітація, проникаючі кумулятивні мікрострумені та вихори викликають на міжфазних поверхнях нестійкості типу Релея - Тейлора або типу Кельвіна-Гельмгольца, що призводить до інтенсивного дроблення дисперсних включень, значного збільшення сумарної поверхні контакту фаз і підвищенню процесів масо-і теплопереносу. Подібні ефекти зазвичай недосяжні при використанні традиційних методів при обробці дисперсних середовищ навіть при значно більшому рівні питомих енерговитрат [9].

Установка АОРТ дозволяє інтенсифікувати процеси перемішування, розчинення, нагрівання, диспергування, аерації, дегазації, збільшує швидкість хімічних реакцій, дозволяє скоротити кількість реагентів на різних етапах водопідготовки.

Висновки. Водопідготовка і водоочищення є важливим фактором для надійної та продуктивної роботи різного виду котлів. Вибір раціонального водно-хімічного режиму залежить від технологічної характеристики котлів від фізико-хімічних показників вихідної води. Технологія водопідготовки і водоочищення складна, багатоетапна та потребує великої кількості різноманітного обладнання. В технології

Рис. 2. Установка зворотнтого осмосу (УЗО)

Рис. 3. Аераційно-окислювальна установка роторного типу (АОРТ)

водопідготовки рекомендується застосовувати нове обладнання, розроблене в ІТТФ НАН України, а саме аераційно-окислювальну установку роторного типу. З її допомогою можна здійснювати операції по видаленню з води заліза, марганцю, солей жорсткості, збільшення pH, а також дегазацію.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Лившиц О. В.* Справочник по водоподготовке котельных установок. – М.: Энергия, 1978. – 168 с.

2. *Мещерский Н. А.* Эксплуатация водоподготовительных установок электростанций высокого давления.– М.: Энергостройиздат, 1984. – 408 с.

3. *Патент 2 014* 283 РФ. МКИ С 02 F 1/04. Способ подготовки питательной воды из высокоминерализованных вод / И. А. Гейвандов, А. Н. Вислогузов, А. И. Воронин, Н. И. Стоянов, Е. Е. Злыгостев.

4. *Стоянов, Н. И., Беляев Е.И., Куклите Й.Я.* Водоподготовка: курс лекций. – Ставрополь: Северо-Кавказский Федеральный университет (СКФУ), 2018. – 109 с.

5. *Баулина А. И., Гурвич С.М., Квятковский В. М.* и др.; под ред. В. А. Голубцова. Обработка воды на тепловых электростанциях. – М.: Энергия, 1966. – 448 с.

6. *Кострикин Ю. М.; Мещерский Н. А., Коровина О. В.* Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления: Справочник. –М.: Энергоатомиздат, 1990. — 248 с.

7. *Роддатис К. Ф., Полтарецкий А. Н.* Справочник по котельным установкам малой производительности. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 488 с.

8. *Микро- и наноуровневые* процессы в технологиях ДИВЭ: Тематический сборник статей /под общей ред. А.А. Долинского; Институт технической теплофизики НАН Украины. – К.: Академпериодика, 2015. – 464 с.

9. *Долинский А.А., Ободович А.Н., Борхаленко Ю.А.* Метод дискретно-импульсного ввода энергии и его реализация: Монография – Х.: Віровець АП “Апостроф”, 2012. – 185 с.

FEATURES OF WATER TREATMENT FOR BOILER ROOMS

Dolinsky A. A., Obodovych O. M., Sydorenko V.V., Lymar A.Y.

Institute of Engineering Thermophysics of National academy of sciences of Ukraine

UKRAINE, 03057 Kyiv, Marii Kapnist (Zhelyabov) 2a

https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2021.2

Thousands of medium and low steam boilers and hot water boilers operate in the country's industry, municipal energy and agriculture. Their reliable operation is largely determined by the maintenance of a rational water-chemical regime. The main problems of source water are the presence of dissolved oxygen, iron ions, salts of calcium, and magnesium.

The aim of the work is to analyze the existing technologies and equipment for water treatment for different types of boilers. Determination of physicochemical parameters and requirements for source and prepared water. Presentation of new multi-purpose energy-efficient and resource-saving water treatment equipment.

The article considers the negative impact of dissolved iron, hardness salts, dissolved gases present in the feed water on the operation of boiler equipment.

The main requirements for feed water in terms of hardness, the content of dissolved oxygen, and oils for steam and hot water boilers are given. The mechanism of scale formation is given. The main existing methods of feed water treatment are considered, namely softening on Na-cation exchange resin, liming, softening, and reduction of total salt content on reverse osmosis units, softening, and reduction of total salt content by the sequential passage of water through H, OH-ion exchange filters. A multi-purpose aeration-oxidation setup of rotor type (AORT) is presented, which implements the method of discrete-pulse energy input, on which it is possible to carry out operations to remove iron, manganese, hardness salts, increase pH and degassing from water.

References 9, figure 3.

Key words: boilers, water treatment, iron removal, softening, degassing, equipment.

1. *Livshits O. V.* [Handbook for water treatment of boiler plants]. M.: Energiya, 1978. 168 p. (in Rus.)

2. *Mescherskiy N. A*. [Operation of water treatment plants for high-pressure power plants]. M.: Energostroyizdat, 1984. 408 p. (in Rus.)

3. *I. A. Geyvandov I.A., Visloguzov A.N., A. I. Voronin A.I., Stoyanov N.I., Zlyigostev E.E.*[Method for preparing feed water from highly mineralized waters]. Patent Russian Federation, No 2 014 283. (in Rus.)

4. *Stoyanov, N. I., Belyaev E.I., Kuklite Y.Ya.* [Water treatment: a course of lectures]. Stavropol: Severo-Kavkazskiy Federalnyiy universitet (SKFU), 2018. 109 p. (in Rus.)

5. *Baulina A. I., Gurvich S.M., Kvyatkovskiy V. M.* et al. /under. ed. V. A. Golubtsov. [Water treatment in thermal power plants] – M.: Energiya, 1966. 448 p. (in Rus.)

6. *Kostrikin Yu. M.; Mescherskiy N. A., Korovina O. V.* [Water treatment and water regime of low and medium pressure power facilities]. M.: Energostroyizdat, 1990. 248 p. (in Rus.)

7. *Roddatis K. F., Poltaretskiy A. N.* [Small Boiler Plants Handbook]. M.: Energostroyizdat, 1989. 488 p. (in Rus.)

8. *[Micro- and nano-level* processes in DIVE technologies: Thematic collection of articles] / [under. ed. acad. of NASU] A.A. Dolinsky. K.: Akademperiodika, 2015. 464 p. (in Rus.)

9. *Dolinsky A.A., Obodovich A.N., Borhalenko Yu.A.* [Method of discrete-pulse energy input and its implementation: Monograph]. Kharkiv: VIrovets AP “Apostrof”, 2012, 185 p. (in Rus.)

Отримано 19.10.2021
Received 19.10.2021