

П.М. ГЛАМАЗДІН

Є.П. ДАВИДЕНКО

Київський національний університет будівництва і архітектури

В.С. ВІТКОВСЬКИЙ

НВО «Нафтохімекологія», Київ

М.А. КАРПЮК

КП «Житомиртеплокомуненерго»

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ РЕАГЕНТНОЇ ВОДОПІДГОТОВКИ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

У статті наведені відомості про результати багаторічного використання реагентної водопідготовки для теплових мереж м. Житомира та Луцька. У результаті проведених робіт зменшились витрати води на підживлення теплових мереж, знизилась технічна собівартість 1 Гкал виробленої теплової енергії на 4...5%. Проведений аналіз реагентів, що використовуються для обробки води, визначені найбільш ефективні для подальшого використання. Описані особливості використання реагентів при організації водно-хімічного режиму котлів з димогарними трубами. Підтверджена необхідність попереднього пом'якшення води перед введенням реагентів. Описані перспективні розробки з використання поверхнево-активних речовин для обробки води для підживлення теплових мереж.

Ключові слова: реагентна водопідготовка, тепла мережа, ПАР.

В статье приведены сведения о результатах многолетнего использования реагентной водоподготовки для тепловых сетей г. Житомира и Луцка. В результате проведенных работ снизились расходы воды на подпитку тепловых сетей, снизилась техническая себестоимость Гкал производимой тепловой энергии на 4...5%. Проведенный анализ реагентов, используемых для обработки воды, определены наиболее эффективные для дальнейшего использования. Описанные особенности использования реагентов при организации водно-химического режима котлов с димогарными трубами. Подтверждена необходимость предварительного умягчения воды перед вводом реагентов. Описанные перспективные разработки по использованию поверхностно-активных веществ для обработки воды для подпитки тепловых сетей.

Ключевые слова: реагентная водоподготовка, тепловая сеть, ПАВ.

The article gives information about the results of long-term use of reagent water treatment for heat networks of Zhytomyr and Lutsk. As a result of the carried out work, water consumption for heating of heating networks decreased, technical cost of Gcal made thermal energy by 4...5%. The analysis of the reagents used for water treatment has been determined to be most effective for further use. The features of the use of reagents in the organization of water-chemical regimes of boilers with flue pipes are described. The need for preliminary water softening prior to the introduction of reagents has been confirmed. Described are promising developments for the use of surface-active substances for treatment of water for the replenishment of thermal networks.

Key words: reagent water preparation, thermal network, SAS.

До переходу на реагентну водопідготовку у КП "Житомиртеплокомуненерго" змусило життя, а саме: повний вихід з ладу систем вакуумної деаерації внаслідок їх фізичного та морального зношення. Це пояснюється зміною режиму роботи систем умовах жорсткої економії енергоносіїв та поступового зниження температури теплоносія. За таких умов експлуатації системи вакуумної деаерації стають неефективними та виключаються з роботи. В результаті простою обладнання процеси його корозії прискорюються та стають некерованими. Окрім цього, зношення катіоннообмінних матеріалів, вихід з ладу обладнання водопідготовки добавляє проблем у вигляді накипоутворення, і як результат – перевитрати енергоносіїв, зростання гідравлічного опору елементів систем теплопостачання. Утворення накипу провокує зростання швидкості підшламової корозії, що дає значну добавку у загальну проблему втрат металу. Це, у свою чергу, призводить до збільшення витрат води на підживлення теплової мережі, збільшення витрат труб та інших матеріалів для ремонту теплових мереж та котельного обладнання, збільшення витрат на проведення ремонту.

Таким чином, виявились об'єктивні причини необхідності створення системи захисту елементів системи теплопостачання від корозії та накипоутворення. Після проведеного літературного пошуку було розроблено теоретичне обґрунтування методів, що мали бути впроваджені для захисту елементів систем теплопостачання [1].

Основою системи захисту була обрана реагентна обробка води для підживлення теплових мереж. Спочатку це було поєднання хімічної деаерації з комплексоною обробкою води на основі неорганічних фосфонатів. Причому перші кроки проводились на котельні без пом'якшення вихідної води. По мірі розвитку системи захисту було випробувано багато реагентів та їх поєднань. Проводилась обробка як сирої, так і пом'якшеної води. Ці заходи впроваджувались на котельнях з різними типами котлів та різним ступенем зношення котельного обладнання та трубопроводів теплових мереж, і у віх випадках спостерігався позитивний ефект.

Так витрати води для підживлення теплових мереж зменшились з 658 тис. м³/рік до 102 тис. м³/рік (рис. 1), тобто більше, ніж у 6 разів.

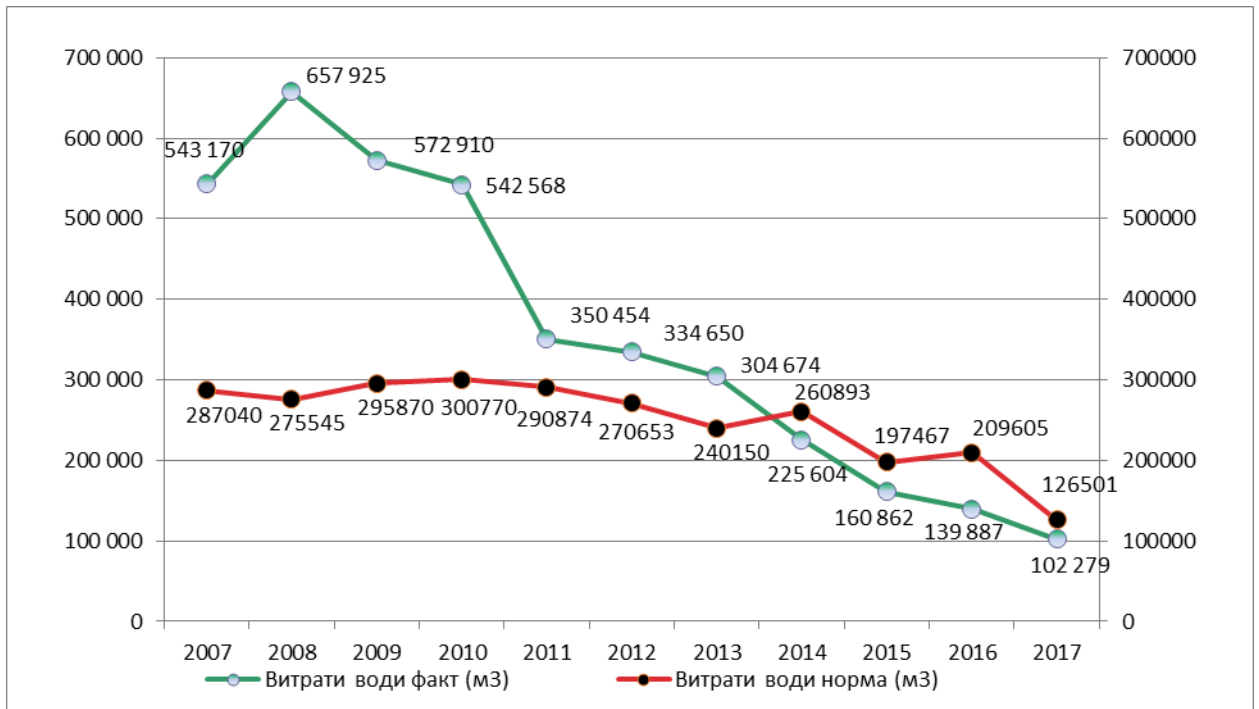


Рис. 1. Динаміка зменшення витрати води на підживлення

Витрати солі на регенерацію натрій-катионітних фільтрів зменшились з 640 до 85 т/рік (рис. 2).

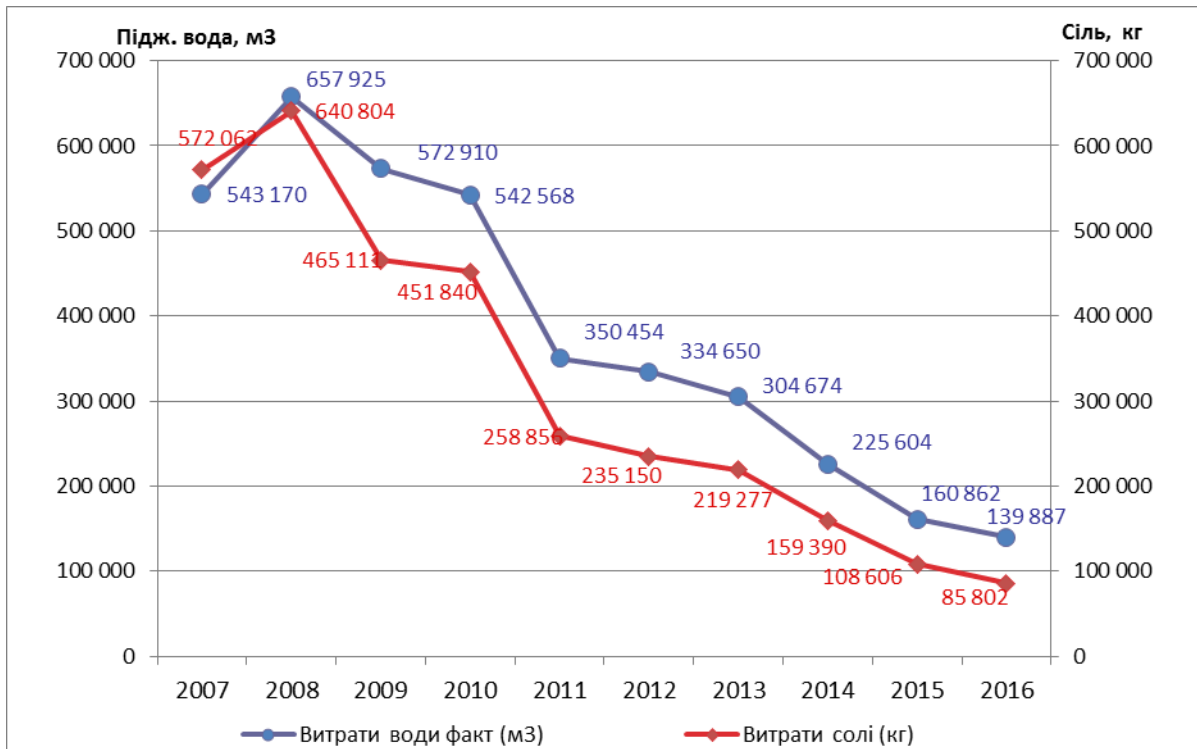


Рис. 2. Динаміка зменшення витрати фактичної води

Питома витрата електроенергії зменшилась з сезону 2014-2015 рр. до сезону 2016-2017 рр. від 44,96 кВт/Гкал до 35,55 кВт/Гкал.

Для порівняння ефективності різних технологій обробки води на котельнях КП "Житомиртеплокомуненерго" були згруповані котельні за такими ознаками: I група – котельні з хімічною деаерацією та комплексонатною обробкою, II група – котельні з хімічною деаерацією і III група – котельні з натрій-катіонуванням. З рис.3 видно, що собівартість Гкал тепла, що виробляється на котельнях з хімічною деаерацією та комплексонатною обробкою води на 3,1...6,1 % менше, ніж на котельнях з традиційним натрій-катіонуванням.

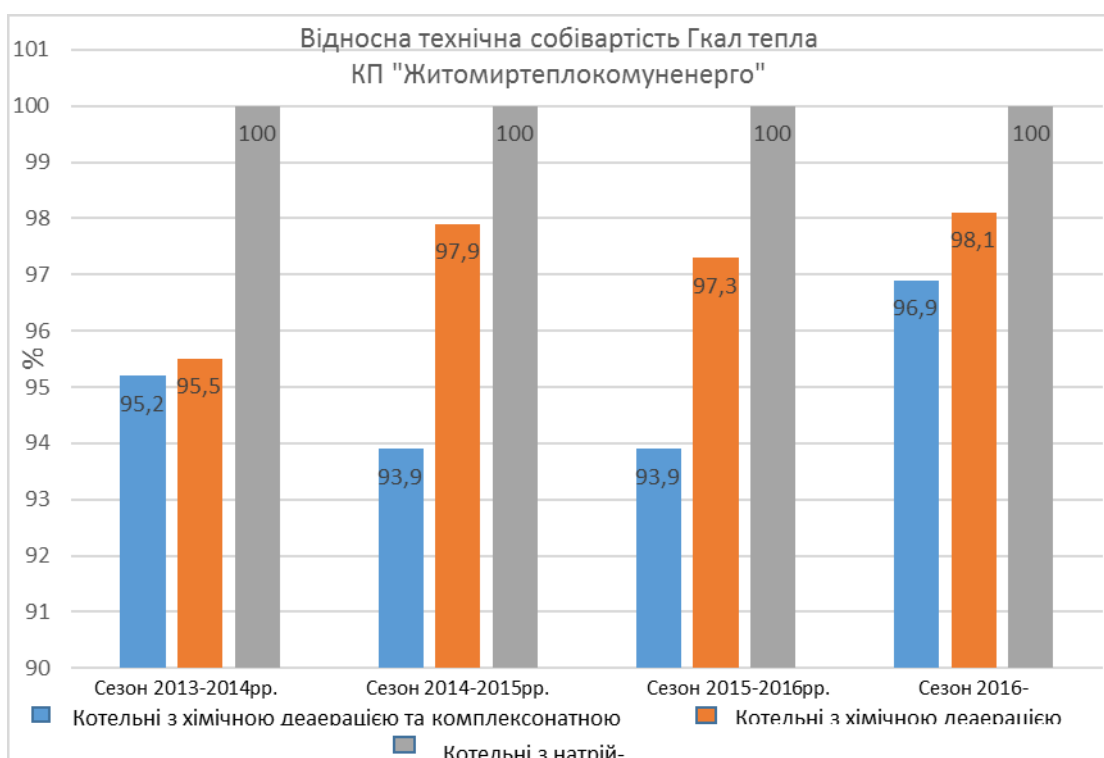


Рис. 3. Відносна вартість Гкал тепла, генерованого на котельнях з різною технологією водопідготовки

Грошові витрати на реагентну обробку води сягають 1,12...1,20 грн/Гкал, причому по мірі розширення застосування технологій реагентної водопідготовки, питома витрата реагентів у перерахунку на 1 Гкал буде постійно зменшуватись внаслідок зменшення витрат води.

Реагентна обробка води стає досить поширеною, вона потребує менших капітальних вкладень, тому поступово стає одним із найважливіших методів захисту елементів систем тепlopостачання від корозії та накипоутворення.

Найбільшого поширення набули так звані комплекси та комплексонати, перші з яких почали застосовуватись ще наприкінці 20-го сторіччя. Це досить популярні й зараз НТМФ (нитрило-триметилфосфонова кислота) та ОЕДФ (оксиетилідендифосфонова кислота) та їх похідні – натрієві

та цинкові солі. Але наряду з безумовними перевагами цих сполук по мірі застосування виявилися і недоліки, наприклад, недостатня температура застосування, що не перевищує 130°C.

Розвиток технологій захисту елементів системи тепlopостачання від корозії та відкладень спонукало хіміків як на пошуки більш ефективних засобів серед похідних фосфорнових кислот, так і на пошуки хімічних речовин серед інших класів органічних та неорганічних сполук. Виробництво таких сполук у сучасності – це досить великий сектор хімічного виробництва [2]. Механізм дії фосфорвмісних з'єднань базується на їх субмолекулярному впливі на процес кристалізації карбонатів кальцію та магнію у воді, пересиченій цими сполуками. Процес кристалізації зупиняється на стадії утворення часток, здатних під дією броуновського руху утворювати стійкі суспензії, що рухаються разом з током води [3,4]. Такі сполуки діють вже при концентраціях 1...5 мг/дм³, що мінімально впливає на довілля.

Ще один різновид сполук, що мають схожий вплив, але інший механізм дії – це сучасні поверхнево-активні речовини (дисперсанти), які утворюють міцели з кристалами карбонатів кальцію та магнію, а також з гідрозолями оксидів заліза, що призводить до їх стабілізації у воді та блокує утворення відкладень. Мінімальна концентрація застосування 2...5 мг/дм³, стійкість до високих температур (250...290°C) роблять їх привабливими для широкого використання [5].

Усі реагентні методи водопідготовки мають додатковий позитивний ефект – руйнування старих відкладень на елементах систем тепlopостачання, що підвищує ККД джерела теплової енергії, знижує гідравлічний опір трубопроводів теплових мереж та котельного обладнання та виявляє корозійні пошкодження, що дозволяє їх оперативно усувати, тобто проводити профілактику ушкоджень та планувати ремонти.

Реагентна обробка води для підживлення теплових мереж дає можливість працювати як на пом'якшеній вихідній воді, так і на воді без пом'якшення. Останнє справедливо тільки для води, що має жорсткість не більше 10 мг-екв/дм³ [5] та для води, призначеної для підживлення теплової мережі, на яку працює котельня, де встановлені котли з жаровими трубами, які набувають усе більшої популярності в Україні, не зважаючи на те, що такі котли мають досить жорсткі вимоги до водно-хімічних режимів їх експлуатації, особливо конденсаційні [6,7].

Проведене комп'ютерне моделювання гідродинаміки жаротрубного котла [8] показало, що котел з жаровою трубою має зону підвищеної температури зверху жарової труби приблизно посередині по повздовжній осі. Саме у цій зоні може спостерігатись пристінкове кипіння та підвищена швидкість накипоутворення. Досвід експлуатації котлів з жаровими трубами показує, що при неправильно обраній системі водопідготовки у цій зоні дуже швидко утворюється накип, що призводить до перегріву металу та утворення віддулини. Так котел *Rielo RTQ-953*, що експлуатувався на воді з реагентною

підготовкою (але без пом'якшення) вийшов з ладу після шести років експлуатації внаслідок накопичення шламу саме у зоні перегріву на верхній частині жарової труби з утворенням віддулини (рис 4,5).

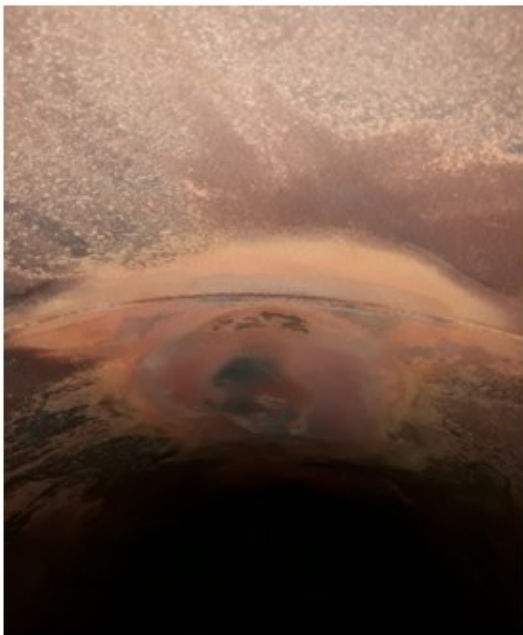


Рис. 4. Котел *Riello RTQ-953* з зоною перегріву на верхній частині жарової труби



Рис. 5. Котел *Riello RTQ-953* з вирізаною зоною перегріву

Тобто досвід експлуатації цього котла з жаровою трубою показав, що теоретична модель гідродинамічного режиму котла з жаровою трубою підтверджується і це дає змогу розробляти заходи для протидії небажаним явищам у цій зоні. Також зроблено висновок, що технологія водопідготовки вибрана невдало, хоча без реагентної обробки цей котел вийшов би з ладу вже після року експлуатації. Таким чином, що для котлів з жаровими трубами необхідне попереднє пом'якшення води методом натрій-катіонування з подальшою реагентною обробкою.

Пошуки нових методів модифікації води для захисту елементів систем тепlopостачання призвели до відкриття ефекту захисту поверхні металу плівкоутворюючими амінами (ПУР), наприклад, додециламіном та октадециламіном. Ці аміни утворюють за рахунок сорбції на поверхні трубопроводів подвійний шар (так званий частокіл Ленгмюра), який сильно зменшує тертя потоку води об поверхню трубопроводу, при цьому знижується гідравлічний опір трубопроводу [9]. Окрім цього, застосування цих ПУР різко зменшує утворення відкладень на поверхнях з підвищеною температурою та сприяє руйнуванню старих відкладень [10].

Вищезгадані методи при своїх позитивних якостях мають деякі недоліки. Зокрема, реагенти, які застосовуються для обробки води, мають властивості не притаманні довікллю, тому при попаданні, наприклад, при

витоку з пошкодженого трубопроводу, у ґрунтові води можуть завдати шкоди ґрунтовій біоті. Тому проводиться пошук реагентів, які б синтезувались з природної сировини і могли б завдавати меншої шкоди довкіллю. Такі пошуки проводяться і на кафедрі теплотехніки КНУБА, де вже декілька років випробовуються ПАР на основі природних жирів, похідних етаноламінів триетаноламінових естерів жирних кислот [11].

Сировиною для їх виробництва можуть бути відходи олійно-жирової промисловості та м'ясопереробки. Триетаноламін теж не є дефіцитним матеріалом. Ці речовини, які у перспективі можуть використовуватись для захисту елементів систем тепlopостачання, мають ряд переваг при застосуванні:

- для виробництва використовується природна сировина, що зменшує навантаження на навколишнє середовище;
- наявність третинного атому азоту, що робить ці речовини поверхнево-активними;
- вивченість фізико-хімічних та теплотехнічних характеристик цих речовин [8].

ПАР подібного типу добре адсорбуються на поверхні як металу, так і на поверхні відкладень утворюючи подвійний адсорбційний шар – "частокіл Ленгмюра" за рахунок наявності у атома азоту неподіленої електронної пари, що дозволяє утворити донорно-акцепторний зв'язок з атомом Fe, та гідрофобний "хвіст", який дозволяє адсорбувати другий шар естерів. Різна довжина гідрофобного "хвоста" на думку авторів, повинна збільшити стійкість цього "частоколу", наприклад, при підвищеній температурі. Третинний азот такої сполуки здатен приєднувати протон, перетворюючись у слабку основу, наприклад, у воді.

Тобто така сполука здатна генерувати гідроксил-іони, тож їй притаманні властивості інгібіторів анодної реакції і вона може утворювати плівку на поверхні металу, що було перевірено шляхом нагрівання зразка сталі Ст.3 у 0,5% розчині триетаноламінових естерів жирних кислот при температурі 130°C у присутності кисню приблизно 8 мг/дм³. (рис. 6).

При температурі 80°C у воді з міського водогону зразки сталі Ст. 3 витримувались протягом 24-х годин, при цьому на зразках як слідів корозійних ушкоджень, так і пасивуючої плівки а також накипу не спостерігається (рис. 7).

Взаємодія триетаноламінових естерів жирних кислот з відкладеннями на стінках елементів тепlopостачання вивчалась на кафедрі теплотехніки КНУБА. Показано, що при взаємодії цих сполук з відкладеннями спостерігається ефект Ребіндера [11], що призводить до руйнування відкладень, в результаті поверхня металу повністю очищується від відкладень. (Рис 8, 9).

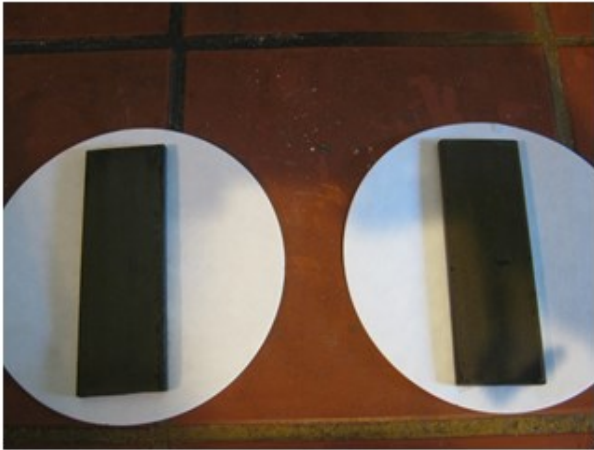


Рис. 6. Плівка на поверхні сталі, утвореної у розчині триетанол-амінових естерів жирних кислот

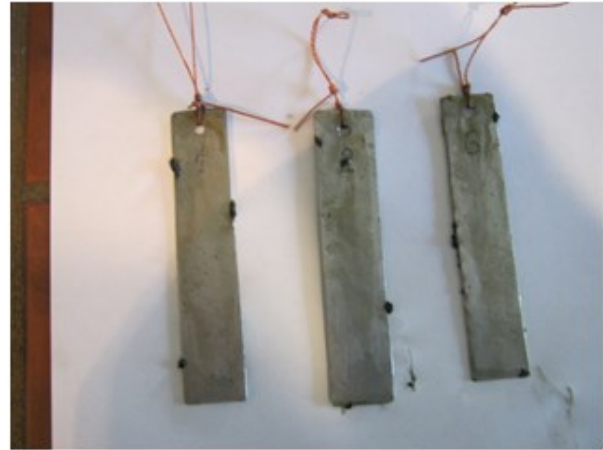


Рис. 7. Зовнішній вигляд зразків сталі після витримки у 0,5% розчині моноетанолових естерів жирних кислот у воді з водогону при 80°C



Рис. 8. Стан труби з котла ПТВМ-30 перед промивкою



Рис. 9. Результати 2-кратної промивки 5% розчином триетанол-амінових естерів жирних кислот

Протинакипна дія триетаноламінових естерів жирних кислот вивчалась шляхом нагрівання розчинів цих сполук різних концентрацій у водопровідній воді при різних температурах протягом 3-х годин. Результати дослідів наведені у табл.1.

За результатами дослідів можна зробити висновок, що при концентраціях розчину триетаноламінових естерів жирних кислот 0,5...2,0% вони повністю захищають поверхні від накипу.

Таблиця 1

Визначення ступеня захисту метала у розчині моноетанолових естерів жирних кислот від накипоутворення

| № зразка | Концентрація реагенту, % мас. | Час нагрівання, год. | Температура, °С | Жорсткість розчину після нагрівання мг-екв./дм ³ | рН розчину після нагрівання | Лужність загальна, мг-екв./дм ³ |
|----------|-------------------------------|----------------------|-----------------|---|-----------------------------|--|
| - | 0 | 0 | 23 | 3,20 | 7,0 | 2,1 |
| 1 | 0,5 | 6 | 95 | 3,0 | 8,9 | 8,0 |
| 2 | | 6 | 95 | 3,0 | 8,9 | 8,0 |
| 3 | 1,0 | 6 | 95 | 3,0 | 9,1 | 15,0 |
| 4 | | 6 | 95 | 3,0 | 9,1 | 15,0 |
| 5 | | 6 | 95 | 3,0 | 9,1 | 15,0 |
| 6 | | 6 | 95 | 3,0 | 9,1 | 15,0 |
| 7 | 1,5 | 6 | 95 | 3,0 | 9,3 | 22,0 |
| 8 | | 6 | 95 | 3,0 | 9,3 | 22,0 |
| 9 | 2,0 | 6 | 95 | 3,0 | 9,4 | 27,0 |
| 10 | | 6 | 95 | 3,0 | 9,4 | 27,0 |
| 11 | | 6 | 130 | 2,9 | 9,3 | 27,0 |
| 12 | | 6 | 130 | 2,9 | 9,3 | 27,0 |
| 13 | | 6 | 130 | 2,85 | 9,4 | 27,0 |
| 14 | | 6 | 130 | 2,85 | 9,4 | 27,0 |

Зважаючи на те, що ці сполуки при введенні до мережної води знижують гідравлічний опір [11] при незначному зменшенні коефіцієнту тепловіддачі, триетаноламінові естери жирних кислот можна розглядати як перспективні добавки до води систем тепlopостачання для комбінованого їх захисту від корозії, утворення відкладень, очистки від застарілих відкладень, зниження гідравлічного опору трубопроводів та котлів, але це потребує додаткових досліджень та випробування на реальних об'єктах систем тепlopостачання.

Аналізуючи процеси, що відбуваються на котельнях в реальних обставинах, слід пам'ятати, що в деяких котельнях ще залишились традиційні системи захисту від корозії у вигляді вакуумних деаераторів, які продовжують експлуатуватись. Так, авторами був проведений аналіз стану водно-хімічного режиму на котельні міста С, де в опалювальній період працює система вакуумної деаерації при температурах води 70...75⁰С. Аналіз мережної води виявив збільшену концентрацію заліза (4...5 мг/дм³), що свідчить про досить велику швидкість процесів корозії. У котлів КВГМ-50 гідравлічний опір

збільшився до 6 кг/см^2 , що недопустимо за умовами експлуатації цих котлів. Промивка котла існуючими розчинами ускладнюється через велику кількість стоків, що утворюються при промивці, та відсутність стаціонарної схеми промивки котла. У цьому випадку доцільною стає реагентна обробка води, яка може видалити забруднення котла "на ходу", але для цього необхідно модернізувати систему видалення шламів, що будуть утворюватися при промивці. Окрім цього, в мережну воду необхідно дозувати реагент для зв'язування остаточного кисню, що залишається у воді після вакуумної деаерації. Оскільки концентрація остаточного кисню не перевищує 100 мкг/дм^3 , витрати деоксиданту, наприклад сульфіту натрію, мають бути приблизно $0,8 \text{ г/м}^3$ води, що не призведе до надмірних затрат, а захистить від корозії усі елементи системи теплопостачання.

Таким чином у теперішній час реагентна водопідготовка все ширше запроваджується для захисту елементів системи теплопостачання від корозії та утворення відкладень та дає стійкий позитивний ефект.

Пошуки нових матеріалів для реагентної водопідготовки дають змогу великого вибору реагентів, пристосування їх до вирішення широкого спектру задач захисту від корозії та відкладень, але потребують високої кваліфікації спеціалістів для їх використання.

Впровадження ПАР на основі природної сировини для реагентної водопідготовки має ряд організаційно-технічних недоліків, пов'язаних з недостатньою вивченістю їх застосування та брак спеціалістів для подальшого впровадження.

Реагентна обробка води може мати право на існування навіть при наявності традиційних методів водопідготовки, наприклад, систем вакуумної деаерації як "страхова" технологія, що буде зв'язувати кисень при його проскоку у воду завдяки порушень у роботі вакуумного деаератора, а також для зв'язування остаточного кисню після вакуумної деаерації.

Список літератури

1. *Рогожин Д. В., Бужинський В. В.* Про досвід експлуатації теплових мереж з реагентною обробкою води для підживлення.
2. Organic phosphonates function. Taiwan K.K. Corporation. www.taiwankk.com.tw
3. *Чаусов Ф.Ф.* К вопросу о механизме ингибирования кристаллизации органофосфатами. Препринт Удмуртского государственного университета. Ижевск: 2004.
4. *Чаусов Ф.Ф.* Ингибирование роста кристаллов солей щелочноземельных металлов в водных растворах. Теория и технические приложения. Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. Удмуртский государственный университет. Ижевск, 2005.

5. *Water treatment* polymers. Taiwan K.K. Corporation.
www.taiwankk.com.tw

6. *Viessmann*. Інструкція по проектуванню VDI 2035. Нормативні показники якості води.

7. *Riello*. Котли водогрійні сталеві. Інструкція по вибору та монтажу.

8. *Хаустов С.А., Хаустов П.А., Максимова Е.И.* Компьютерное моделирование гидродинамики жаротрубного котла с использованием конечно-элементного анализа. Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6.

9. *Рыженков А.В.* Исследование влияния поверхностно-активных веществ на гидравлическое сопротивление трубопроводов систем теплоснабжения и разработка способа снижения энергозатрат при транспортировке теплоносителя. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М. 2008.

10. *Лукин М.В.* Повышение эффективности эксплуатации систем теплоснабжения на основе модификации теплообменных поверхностей с использованием поверхностно-активных веществ. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. М. 2008.

11. *Габа К. О.* Підвищення ефективності систем теплопостачання модифікацією теплоносія. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. КНУБА, 2016.

Стаття надійшла до редакції 4.12.17