

1. *Енергетична стратегія України на період до 2030 року*. 2. *А.В. Праховник, Енергозбереження – нетрадиційний погляд та інша стратегія // Енергетика та електрифікація. – 2008. – №4. – С.30–32*. 3. *Праховник А.В., Попов В.А., Находов В.Ф., Баталов А.Г., Денисевич К.Б. Развитие маневренной генерации ОЭС Украины как фактор повышения энергетической безопасности государства // Енергетика та електрифікація. – 2008. – №7. – С.9–12*. 4. *Кравець Т.Ю., Мисак Й.С. Оцінка збитку блоків ТЕС через перевитрати палива при використанні вугілля погіршеної якості // Енергетика та електрифікація. – 2008. – №2. – С.18–21*. 5. *Офіційний сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України <http://tre.kti.gov.ua>*. 6. *Про основні показники роботи паливно-енергетичного комплексу, Энергосбережение, энергетика, энергоаудит, №8 (66), серпень 2009 рік*. 7. *ГКД 34.20. 507-2003. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила. “ГРІФРЕ”, Київ, 2003*. 8. *Трембовля В.И., Фингер Е.Д., Авдеева А.А. Теплотехнические испытания котельных установок. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991*. 9. *Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод). – М.: Энергия, 1973*.

УДК 628.16.087:620.19+628.162.4

С.Є. Антоненко

Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
кафедра міського будівництва та господарства

АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ З ДОСЛІДЖЕННЯ УТВОРЕННЯ НАКИПУ В ПАРОВОМУ КОТЛІ ПРИ ПІДЖИВЛЕННІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНО ЗМ'ЯКШЕНОЮ ВОДОЮ

© Антоненко С.Є., 2013

Досліджували процес утворення накипу на моделі парового котла. Підживлення парового котла здійснювалося незм'якшеною водою (контрольний експеримент), а також електрохімічно зм'якшеною водою з питомою витратою електричного струму 50, 100 і 150 А-годину/м³. Наведено результати дослідів у разі тривалості експерименту 8 год і 72 год. Представлено залежності інтенсивності утворення накипу від глибини зм'якшення підживлювальної води.

Ключові слова: електрохімічне зм'якшення, питома витрата електричного струму, інтенсивність утворення накипу.

In article scaling process on model of a steam copper was investigated. Feed of a steam boilers was carried out by raw tap water (check experiment), and also water processed by an electrochemical method with the specific expense of an electricity 50, 100 and 150 A-h/m³. The scheme of laboratory installation, results of experiences is resulted at duration of experiment of 8 hours and 72 hours. Dependences of intensity of scaling on depth softening feeding waters are presented.

Key words: electrochemical softening, the specific expense of an electricity, intensity of scaling.

Постановка проблеми

Дефіцит паливно-енергетичних ресурсів в Україні спонукає займатися економією зазначених ресурсів, крім того, напруженість екологічної обстановки в Донбасі вимагає зниження шкідливих викидів у навколишнє середовище [1–6]. Значний інтерес в обох цих напрямках становить

застосування протинакипної електрообробки води постійним струмом для водопідготовки котельних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Доволі значний досвід, нагромаджений при використанні методу електрохімічного зм'якшення підживлювальної води для водогрійних котелень дає змогу вважати перспективним його застосування і у водопідготовці для парових котлів [7–10]. Установлено, що у водогрійних котельнях застосування протинакипної електрообробки дає змогу відмовитися від натрій-катіонітного зм'якшення підживлювальної води, що різко знижує скидання засолених стоків у водойми. Крім того, собівартість протинакипної електрообробки на порядок нижча від натрій-катіонування, а ефективність зниження утворення накипу близька до 100%.

Мета роботи – визначення параметрів електрохімічного зм'якшення води, відпрацювання технологічного режиму роботи парових котлів у разі підживлення електрохімічно зм'якшеною водою, визначення залежності інтенсивності утворення накипу від глибини зм'якшення підживлювальної води.

У технологічному циклі підприємств різних галузей промисловості (харчової, хімічної, підприємств міського господарства тощо) і в сільському господарстві широко використовується технологічна пара від парових котелень малої та середньої потужності з будь-якими марками парових котлів продуктивністю 1–25 т/год. Компенсація втрат пари і конденсату повинна при цьому здійснюватися пом'якшеною або знесолоною водою [1]. Вода, що містить солі твердості, зовсім не придатна для підживлення парових котлів через утворення щільних шарів накипу, які є поганими провідниками тепла (накип у 40 із зайвим разів гірше проводить тепло ніж сталь або залізо) [2, 3]. Стандартна водопідготовка для оброблення води використовує катіонітне зм'якшення, регенерація катіоніту виконується розчином кухонної солі.

Деякі серйозні екологічні проблеми у ході експлуатації котелень виникають при утворенні стоків від установок водопідготовки, які містять до 40–50 г/л хлоридів кальцію, магнію і натрію. Ці питання регулює уряд у документах [4–6]. Крім того, до сучасних водоочисних технологій ставляться також такі вимоги, як компактність і мобільність установок, універсальність і практичність.

Значний інтерес становить застосування протинакипної електрообробки води постійним струмом при водопідготовці водогрійних котелень [7,8], а наведені результати експериментальних досліджень утворення накипу в паровому котлі у разі підживлення електрохімічно-зм'якшеною водою [9,10] дозволяють вважати перспективним застосування цього методу і під час водопідготовки парових котлів.

Метою експериментів було визначення можливості експлуатації парового котла при підживленні електрохімічно зм'якшеною водою, коли якість води не відповідає нормативним вимогам. Для цього визначалася інтенсивність утворення накипу на тепловіддавальній поверхні під час експлуатації котла.

Перший етап дослідів тривалістю 8 год мав на меті відпрацювання методики проведення експериментів, оцінку можливих меж вимірювання параметрів інтенсивності утворення накипу і показників якості води. Перша серія дослідів – контрольна, проводилася при підживленні парового котла сирію (незм'якшеною) водою з господарсько-питного водогону. У другій серії дослідів на підживлення парового котла подавали воду, що пройшла електрохімічне зм'якшення в катодній зоні діафрагмового електролізера при питомій витраті електричного струму 50 А-годину/м³. У третій серії дослідів на підживлення парового котла подавали воду, що пройшла електрохімічне зм'якшення при питомій витраті струму 100 А-годину/м³, а у четвертій серії експериментів на підживлення котла подавали воду, що пройшла електрохімічне зм'якшення в катодній зоні діафрагмового електролізера при питомій витраті електричного струму 150 А-годину/м³.

Були отримані такі дані зі зміни відсотка накипу на поверхні нагрівального елемента $g_{отн}$, %, від загальної кількості накипу, що утворюється, і середньої інтенсивності утворення накипу $g_{ср}$, г/(м²-год), при збільшенні питомої витрати електричного струму d_3 , А-годину/м³ (табл. 1).

**Інтенсивність утворення накипу та його відсоток
на поверхні нагрівального елемента за тривалості досліді 8 год**

∂_3 , А-годину/м ³	0	50	100	150
Середня інтенсивність утворення накипу $g_{\text{ср}}$, г/(м ² ·годину)	1,7	1,02	0,73	0,38
$g_{\text{отн}}$, %	15,5	8,9	11,3	18,7

Аналіз показує, що явно спостерігається мінімум при неглибокому ступені зм'якшення води ($\partial_3 = 50$ А-годину/м³). Звідси випливає, що електрохімічна активація ефективна в доволі жорсткій воді. При збільшенні глибини зм'якшення ефективність електрохімічної активації знижується.

Графік зміни інтенсивності утворення накипу залежно від питомої витрати електричного струму наведено на рис. 1. Математична обробка результатів досліджень виконана на стандартній програмі Curve Expert на комп'ютері, графік має високий кореляційний зв'язок:

$$g = 1.698 - 0,020 \cdot \partial_3 + 0,0002 \cdot \partial_3^2 - 6,08 \cdot 10^{-7} \cdot \partial_3^3$$

$$S = 0.18$$

$$r = 0.95$$

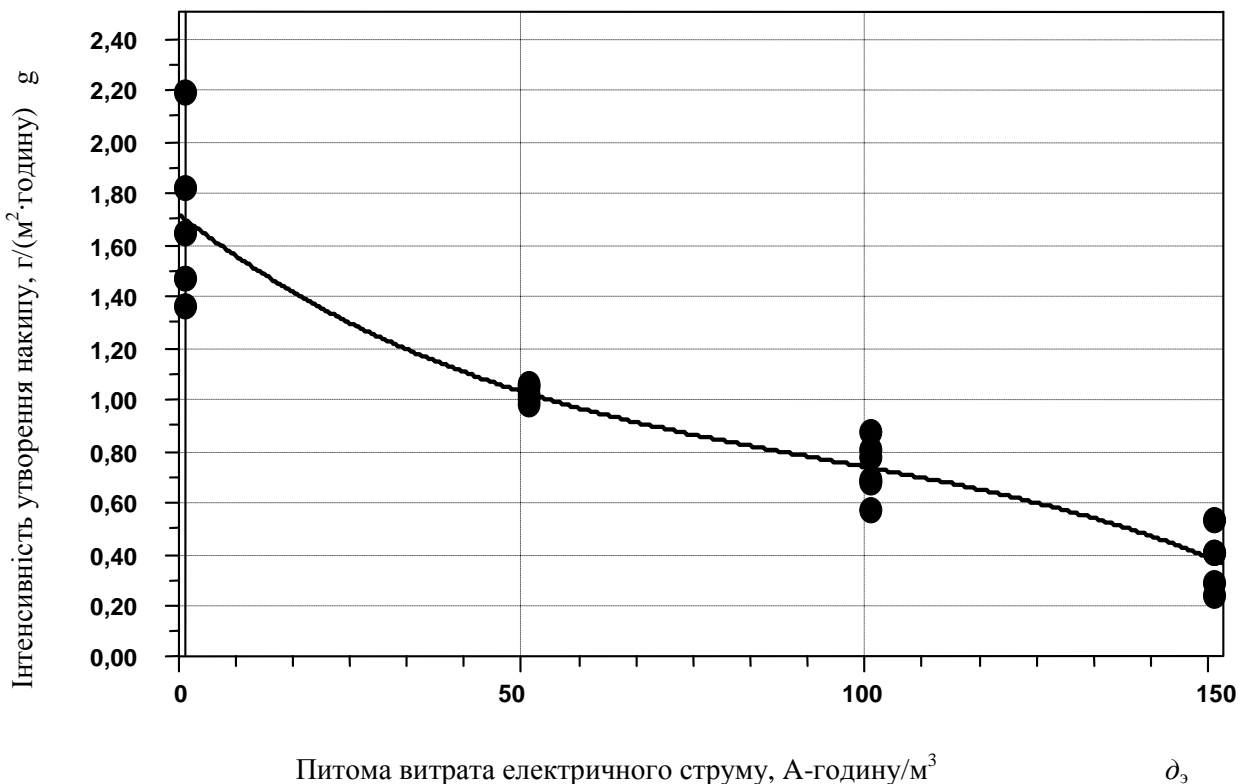


Рис. 1. Залежність утворення накипу на поверхні нагрівання котла від глибини зм'якшення води за тривалості роботи котла 8 год

Залежність інтенсивності утворення накипу на поверхні нагрівання котла від питомої витрати електричного струму досить близька до лінійної. Результат, загалом, очікуваний. Чим вища питома витрата електрики, тим більшою є глибина зм'якшення води і тем менше у воді утворюється накипу – карбонату кальцію і гідроксиду магнію. Цікаво зрівняти, чи збережеться цей вид залежності при збільшенні тривалості роботи котла.

На другому етапі тривалість роботи парового котла збільшена до 72 год. Спочатку, як у першій серії експериментів, на підживлення котла подавалася сира незм'якшена вода макіївського водогону з каналу Сіверський Донець–Донбас. У другій серії на підживлення котла подавали воду,

що пройшла електрохімічне зм'якшення при питомій витраті електричного струму 50 А-годину/м³, у третій – зм'якшена при 100 А-годину/м³ і в четвертій – при 150 А-годину/м³. Методика дослідів залишалася такою ж, що й на першому етапі досліджень.

При тривалості досліду 72 год були отримані дані зі зміни відсотка накипу на поверхні нагрівального елемента $g_{\text{отн}}$, %, від загальної кількості накипу, що утворюється, і середньої інтенсивності утворення накипу $g_{\text{ср}}$, г/(м²·годину), при збільшенні питомої витрати електричного струму ∂_3 , А-годину/м³ (табл. 2).

Таблиця 2

Інтенсивність утворення накипу та його відсоток на поверхні нагрівального елемента за тривалості досліду 72 год

∂_3 , А-годину/м ³	0	50	100	150
Середня інтенсивність утворення накипу $g_{\text{ср}}$, г/(м ² ·годину)	0,93	0,84	0,26	0,181
$g_{\text{отн}}$, %	7,8	7,1	3,9	6,3

Графік залежності інтенсивності утворення накипу на поверхні нагрівання g від питомої витрати електрики для зм'якшення підживлювальної води за тривалості досліду у 72 год наведений на рис. 2.

$$S = 0.08$$

$$r = 0.98$$

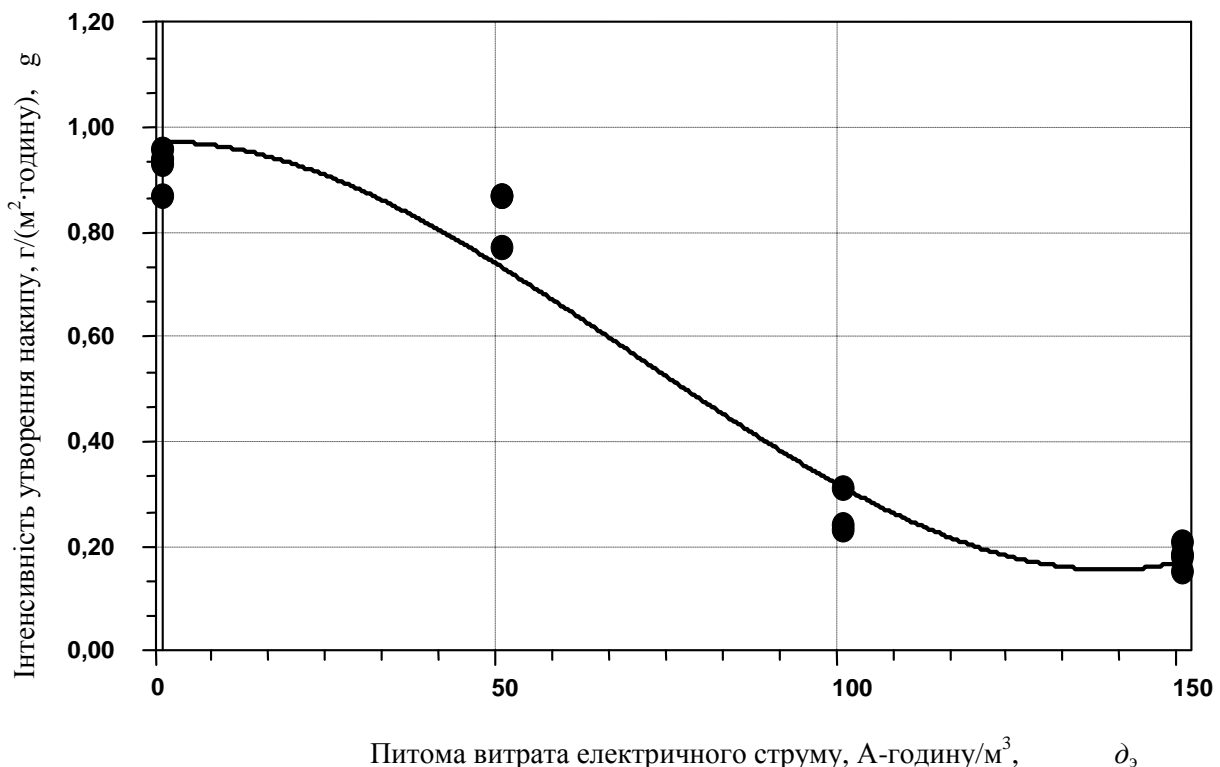


Рис. 2. Залежність утворення накипу на поверхні нагрівання котла від глибини зм'якшення підживлювальної води за тривалості роботи котла 72 год

Крива апроксимується залежністю

$$g = 0,973 - 0,00013 \cdot \partial_3^2 + 6,096 \cdot 10^{-7} \cdot \partial_3^3$$

з коефіцієнтом кореляції $r=0,98$.

Очевидно, що ця залежність досить схожа на типову коагуляційну криву. Найбільш раціональним можна вважати зм'якшення підживлювальної води при питомій витраті електрики 100 А-годину/м³. Подальше збільшення питомої витрати електрики незначно підвищує ефективність протинакипної дії електрообробки води.

Аналіз вищевикладених експериментальних даних прогнозує, що ефект електрообробки води полягає не тільки в простому зниженні вмісту солей твердості. Електрообробка сприяє виділенню більшої частини накипу в об'ємі води, а не на поверхні теплообміну. Імовірно, це пов'язане з утворенням великої кількості центрів кристалізації накипу в об'ємі води під час її електрообробки. Таке явище часто називають електрохімічною активацією розчинів. Зниження утворення накипу зв'язують із двома ефектами електрообробки – електрохімічним зм'якшенням і електрохімічною активацією підживлювальної води.

Крім того, що стосується механізму дії електрообробки підживлювальної води на утворення накипу на поверхні нагрівання парового котла, то можна навести таке припущення: електроліз підживлювальної води приводить до порушення стабільності вуглекислотно-карбонатної системи водопровідної води. При цьому утворюються безліч центрів кристалізації у вигляді дрібних часток карбонату кальцію. При підвищенні питомої витрати електричного струму кількість центрів кристалізації збільшується. При питомій витраті електричного струму близько 100 А-годину/м³ і більше кількість центрів виявляється достатньою, щоб забезпечити при нагріванні води в котлі випадання практично всього накипу в об'ємі води у вигляді шламу. Кристалізація карбонату кальцію і гідроксиду магнію відбувається на центрах кристалізації, а не на поверхні нагрівання котла. Кристалізація і коагуляція є спорідненими процесами і вид кривої на рис. 2 свідчить про коагуляційно-кристалізаційний механізм дії електролізу підживлювальної води на запобігання утворенню накипу в паровому котлі.

Висновки

Електрохімічна активація утворення накипу найяскравіше проявляється при неглибокому ступені зм'якшення підживлювальної води питомою витратою електрики 50 А-годину/м³. Про це свідчить мінімум відсотка накипу на поверхні нагрівання від загальної її кількості.

Залежність інтенсивності утворення накипу на поверхні нагрівання котла від питомої витрати електрики на зм'якшення підживлювальної води має вигляд типової коагуляційної кривої. Оптимальні питомі витрати електрики становлять близько 100–150 А-годину/м³.

Зниження утворення накипу на поверхні нагрівання котла при підживленні електрохімічно-зм'якшеною водою пояснюється не тільки усуненням частини твердості води, але і коагуляційною дією численних центрів, що утворюються при електрохімічному зм'якшенні, кристалізації часток накипу в об'ємі води.

1. Абдрахманов Р.Ф. Влияние техногенеза на качественное состояние подземных вод урбанизированных технологий/ Абдрахманов Р.Ф. // Водные ресурсы. – 1998. – Т.25, №3. – С. 339–344.
2. Вергазов В.С. Устройство и эксплуатация котлов / Вергазов В.С. – М.: Стройиздат, 1991. – 230 с.
3. Коваленко М.С. Расчеты химического состава воды водохозяйственных систем / Коваленко М.С.// Водные ресурсы. –1993. – Т.20, №3 –С. 642–644.
4. Закон України “О энергосбережении” от 01.07.94г. (с изменениями №783-XIV (783-14) от 30.06.99, ВВР, 1999, №34, ст.274 - редакция вступает в силу одновременно с вступлением в силу Закона о Государственном бюджете Украины на 2000 года).
5. Постанова Кабінету Міністрів України № 929 від 7.08.1966 “Про посилення контролю за режимами споживання електричної і теплової енергії”.
6. Постанова Кабінету Міністрів України № 148 від 5.02.1997 “Про комплексну державну програму енергозбереження України”/ Зібрання законодавства України, 2/1997 ст.243 від 1991р.
7. Найманов А.Я. О механизмах действия электрообработки воды на накипеобразование в теплообменниках / Найманов А.Я., Найманова А.А.// Теплоэнергетика – 1998. – № 7. – С.59.
8. Найманова А.А. Промышленные испытания противонакипной электрообработки воды в системах отопления / Найманова А.А. // Вестник ДГАСА. – Вып. 98-2 (10) – Макеевка , 1998. – С.57–59.
9. Антоненко С.Е.

Снижение накипеобразования в паровых котлах./ Антоненко С.Е. // Вестник ДонНАБА. – Вып. 2003-4 (41) – Макеевка, 2003. – С.18–22. 10. Лукьянов А.В., Найманов А.Я., Антоненко С.Е. Экспериментальные исследования накипеобразования в паровом котле при подпитке электрохимически умягченной водой / Лукьянов А.В., Найманов А.Я., Антоненко С.Е. // Вестник ДонНАСА. – Вып. 2011-5 (91) – Макеевка, 2011. – С.23–30.

УДК 536.46:532.517.4

А.С. Аскарова, С.А. Болегенова, В.Ю. Максимов, А. Бекмухамет
Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики
при физико-техническом факультете КазНУ им. Аль-Фараби

УМЕНЬШЕНИЕ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ СЖИГАНИИ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ КОТЛА БКЗ - 160 АЛМАТИНСКОЙ ТЭЦ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ “OVERFIRE AIR”

© Аскарова А.С., Болегенова С.А., Максимов В.Ю., Бекмухамет А., 2013

Наведено результати обчислювальних експериментів з використанням технології “Overfire Air” при горінні у топці котла БКЗ-160 на Алматинській ТЕС, що дозволило зменшити шкідливі викиди диоксиду вуглецю, оксиду та диоксиду азоту, і відповідно мінімізувати втрати енергії. Вказані результати експериментів з впливу додаткового подавання повітря на показники тепломасоперенесення. Виконане порівняння з базовим режимом горіння твердого палива.

Ключові слова: моделювання, шкідливі викиди, технологія “Overfire Air”.

Проведены вычислительные эксперименты с применением технологии “Overfire Air” при горении пылеугольного факела в камере сгорания котла БКЗ-160 Алматинской ТЭС, которые позволяют достичь снижения вредных выбросов диоксида углерода CO_2 , оксида NO и диоксида азота NO_2 , и минимизировать потери энергии. Приведены результаты вычислительных экспериментов по влиянию подачи дополнительного воздуха (OFA-технология) на основные характеристики тепломассопереноса. Проведено сравнение с базовым режимом горения твердого топлива, когда подача дополнительного воздуха отсутствует (OFA=0%).

Ключевые слова: моделирование, вредные выбросы, технология “Overfire Air”.

Введение

Участие энергетических предприятий в загрязнении окружающей среды продуктами сгорания топлива велико. Это, прежде всего, электростанции, работающие на твердом топливе и являющиеся основным источником загрязнения воздуха. В атмосферу Казахстана выбрасываются такие вещества как оксид углерода, оксид азота, диоксид азота, пыль, свинец, диоксид серы и т.д., которые наносят существенный вред человеческому организму [1].

В связи с тем, что одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха вредными газовыми и пылевыми выбросами являются электростанции, работающие на твердом топливе, становится актуальной разработка технологий сжигания с минимальными выбросами NO_x , SO_x и золы частиц. Каменные угли Казахстана являются хорошим малосернистым энергетическим топливом и при рациональной организации топочного процесса, вред, наносимый окружающей среде, может быть сведен к минимуму.