

Георгій ВАСИЛЬЄВ¹, Олена ПОТАПЕНКО¹, Віталій ОЛІЙНИК²

**ЗАСТОСУВАННЯ ФОСФОРОВМІСНОГО ІНГІБІТОРУ ДЛЯ ЗАХИСТУ
ВІД КОРОЗІЇ КОТЕЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ В СИСТЕМАХ
З КОНТАКТНИМИ ВОДОНАГРІВАЧАМИ**

¹*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
пр. Перемоги, 37, корп. 4, м. Київ, 03056. E-mail: vassilyev@volicable.com*

²*ТОВ НВП «Лабораторія водної хімії»
вул. Лук'янова, 7, м. Черкаси, 18000*

Georgii VASYLIEV¹, Olena POTAPENKO¹, Vitaliy OLIYNYK²

**APPLICATION OF PHOSPHATE-CONTAINING INHIBITOR FOR CORROSION
PROTECTION OF BOILER'S PIPELINES WITH CONTACT WATER HEATER**

¹*National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"
37, Peremogy Avenue, build. 4, Kyiv, 03056, Ukraine. E-mail: vassilyev@volicable.com*

²*LTD "Water Chemistry Laboratory"
7, Lukjanova, Str., Cherkassy, 1800, Ukraine*

ABSTRACT

A laboratory corrosion test of reagent LVH 1.1V as a corrosion inhibitor for mild steel St3 was performed in CO₂ saturated water modelling working conditions of direct contact heat exchanger. The study was conducted in laboratory cell that contains three two-electrode corrosion probes. Probes served simultaneously to determine the polarization resistance and weight loss of steel in the tests. During the tests the efficiency of inhibitor LVH 1.1V was established. The corrosion rate without inhibitor was 1.0-1.5 mm / year. The introduction of the inhibitor reduces the corrosion rate to 0.05 mm / year or even lower. The established reagent concentration for application in the heating system is 1 g / l. Industrial test of reagent LVH 1.1V was conducted in the boiler house in Boyarka city during the heating season of 2014/15 years. Polarization resistance and weight-loss techniques were applied and the results have shown that with the inhibitor protection corrosion rate decreases in 4 times. The aftereffect duration of formed protective layers was established. Basing on the obtained results the application of corrosion protection with LVH 1.1V reagent is proposed for boilers with contact water heaters. After corrosion studies the corrosion deposit on the surface of the electrodes of the probes were analysed with XRF and XRD. The precipitate formed when inhibitor was added contains phosphorus resulting from participation of inhibitor in the formation of the surface layer. It was also found that in the presence of the inhibitor on the surface no crystalline corrosion products are formed. Given the low rate of corrosion it can be assumed that in the presence of corrosion inhibitor corrosion products are deposited from the flow, while when the inhibitor is absent rust is formed by corrosion.

KEY WORDS: *hot water supply system, corrosion rate, surface films, linear polarization resistance, corrosion monitoring instrument, goethite, electrode capacity.*

ВСТУП

Сучасні жорсткі вимоги до економії природного газу потребують впровадження високо-ефективних технологій генерування тепла. Такою є технологія нагріву за прямого контакту теплоносія із продуктами згорання природного газу, що реалізована в теплогенераторах нового покоління – контактних водонагрівачах [1, 2]. Відсутність металевої стінки між теплоносіями збільшує ККД апарата до 105% (при застосуванні методики розрахунку для традиційних котлів) за рахунок перенесення поверхні теплообміну на поверхню бульбашок розчинених газів, більш повного охолодження вихідних газів та використання прихованої теплоти конденсації водяної пари, утвореної в процесі горіння:



Основним недоліком при застосуванні контактних водонагрівачів є насичення теплоносія продуктами згорання газу – киснем повітря – до 5 мг/дм³ та агресивною вугільною кисло-

тою – до 80 мг/дм³. Це в разі збільшує корозійність теплоносія і скорочує термін служби сталевих теплової мережі. Траплялися випадки, коли тепла мережа виходила з ладу за 1-3 роки експлуатації, замість нормативного терміну – 25 років [3, 4]. Для нейтралізації агресивної вугільної кислоти використовують розчини лугів NaOH [5] або вапняне молоко Ca(OH)₂ [6], це дозволяє тимчасово призупинити зниження рН. Недоліком методу є накопичення продуктів нейтралізації у системі.

Відомим способом протикорозійного захисту систем тепловодопостачання є використання продуктів розчинення електронегативних металів: магнію та цинку. При електрохімічному розчиненні магнію у воді відбувається посилення захисного карбонатного осаду на поверхні сталі за рахунок переважного утворення кристалів арагоніту, збільшення індексу Ланжель'є та часткового відновлення розчиненого у воді кисню [7]. Даний метод реалізований в установках магнієвого захисту від корозії типу ЩИТ і показав високу ефективність для захисту від корозії систем гарячого водопостачання [8].

В умовах насичення води CO₂ встановлено, що захист від корозії продуктами анодного розчинення магнію ускладнюється за рахунок підкиснення розчину вугільною кислотою. У лабораторних умовах захисний ефект досягається при збільшенні струму розчинення магнію в 1,5–2 рази [3]. При промислових випробуваннях виявилось, що захист відбувається лише на початкових ділянках системи теплопостачання з контактними водонагрівачами. Решта системи залишається незахищеною [9].

Обнадійливим виявився метод комбінованого захисту від корозії в умовах роботи контактних водонагрівачів шляхом електрохімічного введення катіонів цинку та додавання інгібітору [10]. При використанні органічного інгібітору для водних систем ІКВС-2 в концентрації 30 мг/дм³ разом із розчиненням цинку струмом 30 мА досягнуто значного ефекту – зниження швидкості корозії сталі Ст3 від 1,7 до 0,03 мм/рік. Не дивлячись на високу ефективність даної технології в лабораторних умовах, її промислове використання обмежене через відсутність установок з цинковими анодами та промислового випуску інгібітору ІКВС-2.

Сьогодні на українському ринку представлена низка інгібіторів корозії систем тепловодопостачання, проте їх ефективність можна встановити лише за проведення відповідних лабораторних і промислових випробувань. Метою даної роботи було перевірити в лабораторних і промислових умовах засіб ЛВХ-1.1В виробництва ТОВ «Лабораторія водної хімії» м. Черкаси для захисту від корозії трубопроводів системи теплопостачання з контактними водонагрівачами. Даний інгібітор створений на основі різних фосфоровмісних сполук, поліакрилатів і кополімерів, які використовуються для запобігання утворення накипу і гальмування процесів корозійного пошкодження технологічного обладнання.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Лабораторні випробування. Лабораторні корозійні дослідження проводили на зразках із маловуглецевої сталі Ст3, яка є основним конструкційним матеріалом трубопроводів теплових мереж. Вміст основних компонентів сталі наступний: 0,02 % С, 0,43 % Мп, 0,23 % Si, 0,016 % S, 0,02 % Р. Зразки являли собою електроди циліндричної форми (довжина 30 мм, Ø 6 мм) із внутрішнім різьбленням з одного кінця. Електроди попарно нагвинчували на тримач зі струмовідводами, утворюючи, таким чином, двохелектродний датчик корозії. Три датчики корозії розміщували в круглій комірці об'ємом 1,2 дм³ на рівній відстані один від одного. Комірка знаходилась за вільного доступу кисню та заповнювалась водогінною водою наступного складу (3 ммоль/л Ca²⁺, 1 ммоль/л Mg²⁺, 30 мг/л SO₄²⁻, 20 мг/л Cl⁻, 220 ppm загальний солевміст). Температура води становила 60 °С. Для створення необхідної концентрації вугільної кислоти в комірку подавали CO₂ з балона, витрата становила 50 см³/хв. Концентрацію вугільної кислоти перевіряли аналітично: титрування 0,1 NaOH за присутності фенол-фталейну. Постійний рух води створювався лопатевою мішалкою, швидкість обертання 1 с⁻¹. Експеримент тривав 100 годин, із яких 40 годин активного кородування, 60 – нічні години.

Промислові випробування. Корозійні випробування у промислових умовах проведено на котельні м. Боярка. Котельня потужністю 10 Гкал оснащена 4 котлами типу КВН 2.5 ГС. Особливістю даної котельні є те, що вона має два контури: 1 контур поєднує котли та пластинчаті теплообмінники; 2 контур – теплообмінники та міську теплову мережу. Таке розділен-

ня виконано для попередження потрапляння агресивних газів у теплову мережу міста. Об'єм першого контуру становить 10 м^3 , температура води становить $45\text{--}65 \text{ }^\circ\text{C}$ залежно від температури навколишнього повітря. Швидкість руху води задається циркуляційним насосом і підтримується на рівні $0,5 \text{ м/с}$. Для зниження корозійності теплоносія у перший контур котельні періодично додається розчин $\text{Ca}(\text{OH})_2$ для підтримання рН 7. У прямому і зворотному трубопроводах першого контуру було встановлено двохелектродні датчики корозії типу ДК-2 [11] з циліндричними електродами. Тривалість експерименту становили 2 тижні.

Визначення швидкості корозії. Для визначення швидкості корозії використовували метод масометрії та поляризаційного опору. Електроди датчиків корозії перед експериментом захищали наждаковим папером марки Р320, знежирювали пастою соди, травили протягом 1 хв в 200 г/л HCl , висушували у потоці теплового повітря та зважували на аналітичних вагах з точністю до $0,0001 \text{ г}$. Підготовані електроди встановлювали на випробування.

По закінченню терміну випробувань електроди з продуктами корозії вилучали із корозивного середовища. Рихлі продукти корозії видаляли гумкою, а тверді міцно зчеплені з металом – катодним травленням в розчині 100 г/л HCl за катодної густини струму $0,2 \text{ А/см}^2$. Після зняття продуктів корозії електроди промивали, висушували та повторно зважували. За втратою маси в ході експерименту визначали глибинний показник швидкості корозії (мм/рік).

Поляризаційний опір визначали на двохелектродних датчиках за допомогою корозиметрів. Вимірювання виконували у гальваностатичному режимі за густини струму 5 мкА/см^2 з автоматичною компенсацією початкової ЕРС та опору розчину. У лабораторних умовах визначення проводили за допомогою портативного індикатора корозії ППК-1 періодично – 1 раз на $2\text{--}3$ години. У промислових умовах вимірювання виконувалися в автоматичному режимі кожні 15 хв за допомогою системи автоматичного корозійного моніторингу САКМ-1 [12]. В обох корозиметрах використовується двоступінчатий метод поляризаційного опору для зниження впливу поляризаційної ємності [13]. Величина поляризаційного опору автоматично перераховується у глибинний показник швидкості корозії, коефіцієнт перерахунку в рівнянні Стерна становить $B = 26 \text{ мВ}$.

Аналіз складу та структури осадів продуктів корозії. Порошок продуктів корозії після промислових випробувань видаляли з поверхні електродів скальпелем, висушували за температури $60 \text{ }^\circ\text{C}$ та передавали на аналіз. Вміст елементів в складі осаду визначали методом рентгенофлуорисцентного аналізу (XRF). Дослідження здійснювали на рентгенофлуорисцентному аналізаторі Expert 3L. Рентгенограми (XRD) з одержаних зразків знімали за методом Брег-Брентано з використанням дифрактометра Shimadzu LabX XRD 6000 ($\text{Cu K}\alpha$ випромінювання, 40 кВ і 30 мА , графітовий монохроматор). Дифрактограми отримані в діапазоні кутів $2\theta = 20\text{--}50^\circ$, крок сканування – $0,02^\circ$, тривалість кроку сканування – 1 с .

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результати лабораторних досліджень. Метою лабораторних випробувань було перевірити ефективність інгібітору ЛВХ 1.1В в умовах насичення води CO_2 для захисту сталі від корозії та підібрати робочу концентрацію для промислового використання. Результати визначення швидкості корозії сталі Ст3 методом поляризаційного опору наведено на рис. 1 а та методом масометрії – на рис. 1 б.

Швидкість корозії сталі у фоновому розчині дуже висока – більше $1,5 \text{ мм/рік}$. Це пов'язано із відсутністю формування захисних осадів продуктів корозії та солей жорсткості внаслідок наявності вугільної кислоти. Додавання інгібітору знижує швидкість корозії. Так, при концентрації 500 мг/л спочатку швидкість корозії становить менше $0,1 \text{ мм/рік}$, але з часом починає зростати, досягаючи значень швидкості корозії без інгібітору. Це відбувається внаслідок недостатньої концентрації добавки, захисний шар нестійкий і з часом руйнується.

Збільшення концентрації інгібітору до 1000 мг/л дозволяє підтримувати швидкість корозії на рівні $0,03\text{--}0,04 \text{ мм/рік}$. Така швидкість корозії є допустимою для маловуглецевої сталі, а тому дана концентрація інгібітору ЛВХ 1.1В обрана для промислових випробувань. Для великих об'ємів води така концентрація реагенту може бути економічно не вигідною, проте об'єм системи для об'єкту промислових випробувань становить 10 м^3 , а також витрати води, що можуть призвести до зниження концентрації інгібітору – відсутні. Таким чином, матеріальні витрати на застосування реагентного методу цілком виправдані.

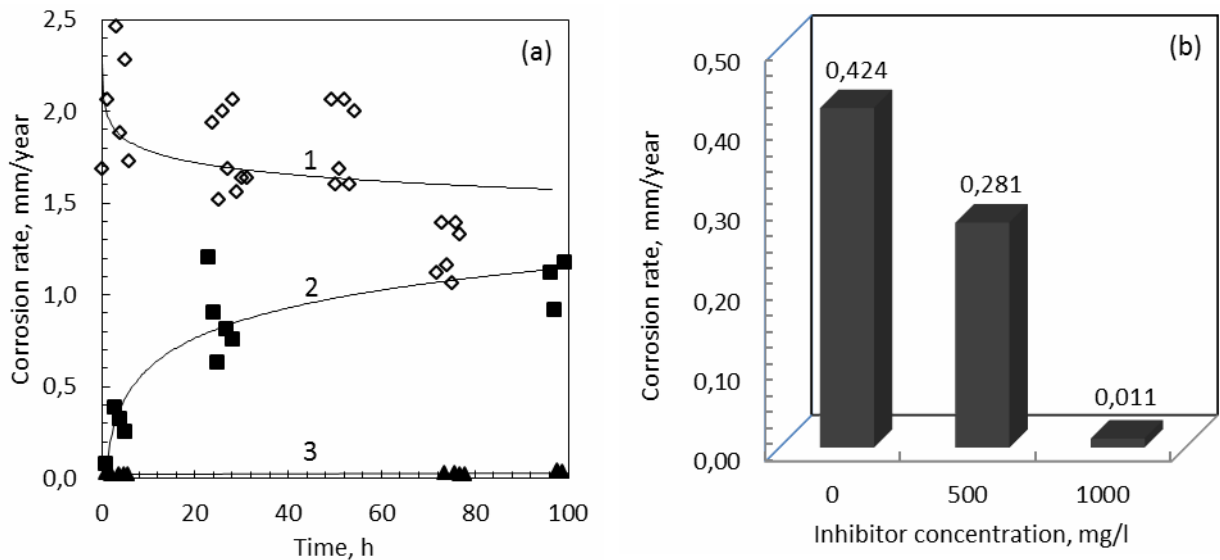


Рис. 1. Швидкість корозії сталі Ст3 у воді, визначена методами поляризаційного опору (а) та масометрії (б). Температура 60 °С, вміст CO₂ 80 мг/л, концентрація інгібітору ЛВХ 1.1В, мг/л: 1 – 0; 2 – 500; 3 – 1000.

Fig. 1. The corrosion rate of mild steel St3 vs. time in tap water, determined with LPR (a) and weight-loss (b) techniques. Temperature 60 °C, CO₂ content 80 mg/l, LVH 1.1V inhibitor concentration, mg/l: 1 – 0; 2 – 500; 3 – 1000.

Причиною відмінності результатів методів поляризаційного опору і масометрії є різний час, до якого віднесено зміну маси зразків. Так у методі поляризаційного опору наведені результати вимірювань лише у денні години, коли працювала установка. Водночас методом масометрії отримана швидкість корозії за весь термін експозиції. Незважаючи на відмінність результатів, отриманих різними методами, коефіцієнт гальмування корозії γ за ефективної концентрації інгібітору приблизно однаковий і дорівнює 40–50 разів.

Результати випробувань на котельні. Випробування проводилися у два етапи. На першому етапі підготовлені електроди було встановлено в датчики корозії ДК-2 на прямому та зворотному трубопроводах. Упродовж двох тижнів визначали миттєву швидкість корозії методом поляризаційного опору без інгібітору. На другому етапі випробувань електроди датчиків корозії були замінені на нові та в систему введено розраховану кількість інгібітору – 10 кг на 10 м³. Упродовж 2-х тижнів визначали швидкість корозії з інгібітором.

Без інгібітору (рис.2, крива 1) швидкість корозії на прямому трубопроводі знижується протягом перших 100 годин до 0,4 мм/рік внаслідок утворення на поверхні електродів щільного шару продуктів корозії. На зворотному трубопроводі швидкість корозії тримається на рівні 1,0 мм/рік. При додаванні інгібітору спостерігається стрімке зниження швидкості корозії – до 0,2 мм/рік і нижче. Захисний ефект $\gamma = 5$ і триває 70...80 годин, потім швидкість корозії починає зростати. Зростання швидкості корозії можна пояснити зниженням концентрації інгібітору внаслідок його витрати на розчинення осадів з внутрішньої поверхні трубопроводів. Відсутність введення інгібітору протягом 80 годин призвело до зростання швидкості корозії до 0,8...1,0 мм/рік. Коли друга порція інгібітору була введена (160 година дослід), швидкість корозії знову знизилася до рівня 0,4 мм/рік.

Для підтвердження ефективності дії інгібітору та визначення точності корозійного моніторингу методом поляризаційного опору швидкість корозії визначали масометрично. Дані методу масометрії та середньоінтегральні дані корозійного моніторингу наведено на рис. 3.

Методом масометрії зафіксовано зниження швидкості корозії з інгібітором у 3 рази, що підтверджує ефективність реагенту ЛВХ 1.1В. У цілому дані методів масометрії та поляризаційного опору узгоджуються, хоча різниця показань може досягати 30 %. Без інгібітору похибка викликана низькою точністю корозиметра в діапазоні вимірювань 1,0...2,0 мм/рік. Заявлена точність у цьому діапазоні – 20 %. З інгібітором дані методу поляризаційного опору перевищують результати методу масометрії, ймовірно, внаслідок електрохімічної активності продуктів ко-

розії [14]. Продукти корозії заліза, зокрема оксигідрокси FeOOH, проявляють електрохімічну активність – вступають у реакції відновлення на електроді датчика корозії за його поляризації при вимірюванні поляризаційного опору.

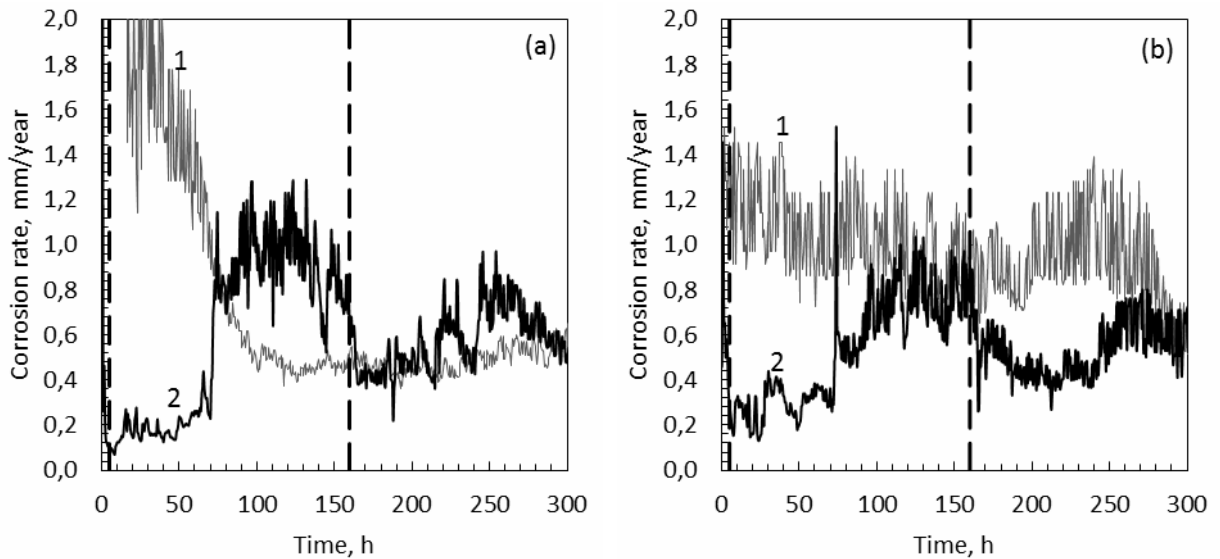


Рис. 2. Залежність швидкості корозії сталі Ст3 від часу в умовах роботи першого контуру котельні з котлами контактного нагріву: 1 – без додавання інгібітору; 2 – з інгібітором ЛВХ 1.1В, 1 г/л. Пунктирні лінії вказують на момент введення інгібітору. (а) – прямий трубопровід; (б) – зворотній трубопровід.

Fig. 2. The corrosion rate of mild steel St3 vs. time in the conditions of contact water heaters operation: 1 – no inhibitor added; 2 – inhibitor LVH 1.1V added, 1 g/l. The dashed lines shows the moment of inhibitor addition. (a) – direct pipeline; (b) – reverse pipeline.

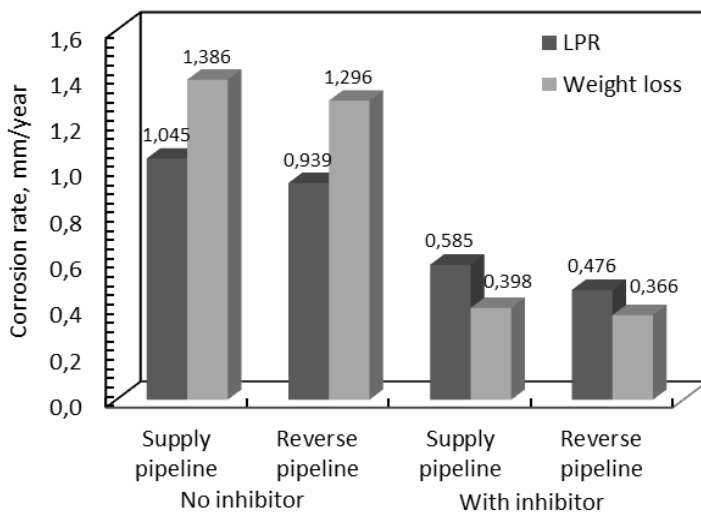


Рис. 3. Інтегральні показники швидкості корозії сталі Ст3 за 300 годин випробувань в умовах роботи першого контуру котельні з котлами контактного нагріву.

Fig. 3. Integral corrosion rates of mild steel St3 after 300 h of testing in the conditions of contact water heaters operation.

Дані рентгенофлуорисцентного аналізу продуктів корозії, знятих з поверхні електродів після промислових випробувань, наведено на рис. 4. За відсутності інгібітору в складі продуктів корозії знайдено лише кисневмісні сполуки заліза.

При додаванні у теплоносій інгібітору в продуктах корозії разом із оксидами заліза зафіксовано присутність фосфору, отже, інгібітор приймає участь у формуванні захисного шару на поверхні кородуючого металу, що перешкоджає подальшій корозії. Також спостерігається збільшенням концентрації кальцію у складі осаду продуктів корозії при застосуванні інгібітору. Оскільки реагент розчиняє осади із поверхонь теплообміну, у воді зростає концентрація катіонів кальцію. Останні, в свою чергу, можуть осідати на поверхні електродів. XRD аналіз продуктів корозії наведено на рис. 5.

Элемент	Доля. %	Погр..%	Элемент	Доля. %	Погр..%
8...	30.283	0.083	8...	32.684	0.053
15P.	0.088	0.031	15P.	4.370	0.038
16S.	0.040	0.017	16S.	0.092	0.006
17Cl.	0.286	0.031	20Ca.	1.608	0.069
20Ca.	0.396	0.074	24Cr.	0.095	0.011
24Cr.	0.045	0.016	25Mn.	0.187	0.017
25Mn.	0.239	0.028	26Fe.	60.676	0.075
26Fe.	68.561	0.104	28Ni.	0.048	0.011
28Ni.	0.045	0.020	29Cu.	0.182	0.011
42Mo.	0.017	0.006	30Zn.	0.057	0.006

Рис. 4. Результати XRF аналізу продуктів корозії, утворених на електродах за 300 годин в умовах роботи першого контуру котельні з котлами контактного нагріву. Зліва – без інгібітору, справа – при додаванні 1 г/л інгібітору ЛВХ 1.1В.

Fig. 4. The XRF results of corrosion products, formed on the probe electrodes during 300 h in the conditions of contact water heaters operation. Left – no inhibitor; right – inhibitor LVH 1.1V added, 1 g/l.

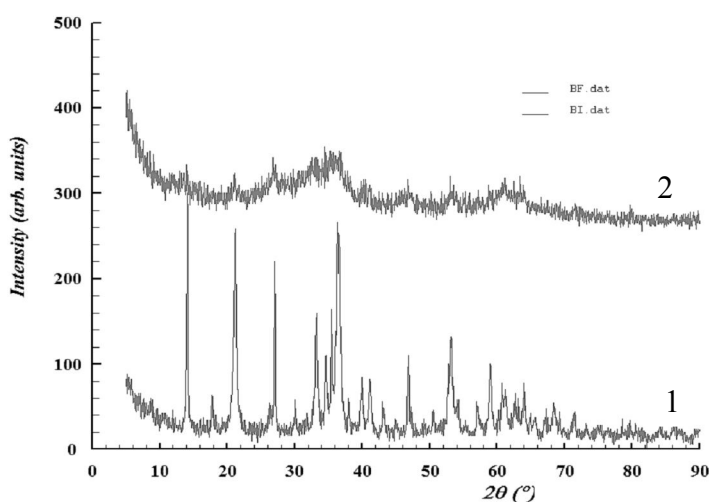


Рис. 5. Рентгенофазовий аналіз продуктів корозії, утворених на електродах за 300 годин в умовах роботи першого контуру котельні з котлами контактного нагріву. 1 – без інгібітору; 2 – при додаванні 1 г/л інгібітору ЛВХ 1.1В.

Fig. 5. XRD analyses of corrosion products, formed on the probe electrodes during 300 h in the conditions of contact water heaters operation: 1 – no inhibitor added; 2 – inhibitor LVH 1.1V added, 1 g/l.

Результати суттєво відрізняються для продуктів корозії, утворених без інгібітору та при додаванні інгібітору. Так, без інгібітору на поверхні електродів утворюється фазовий шар залізоокисних сполук, ідентифіковано гетит α -FeOOH, лепідокрокіт β -FeOOH та оксид заліза Fe_3O_4 . Дані компоненти характерні для продуктів корозії у водному нейтральному середовищі [15, 16]. На відміну від цього, в умовах інгібіторного захисту, на поверхні взагалі не зафіксовано кристалічних продуктів корозії. За наявності інгібітору швидкість корозії у 3 і більше разів менша, а отже, продукти корозії утворюються повільно. Візуальний аналіз поверхні електродів датчика після механічного видалення іржі практично не виявив слідів корозії, стан поверхні мало відрізнявся від електродів на початку випробувань. Разом із цим, у системі на поверхні труб знаходиться значний шар осадів. Реагент ЛВХ 1.1В розчиняє утворені осади і переводить їх у шлам. Цей шлам осідає на поверхні електродів датчика. Тобто осад на поверхні електродів не є результатом корозії датчика, а лише наноситься на електроди потоком води. Такий осад не має кристалічної структури, тому методом XRD не виявлено кристалічних фаз.

У результаті проведених промислових випробувань встановлено, що засіб проти накипний протикорозійний ЛВХ 1.1В знижує швидкість корозії сталі Ст3 у 3 і більше разів і запобігає утворенню кристалічних осадів продуктів корозії на поверхні металу. Для вибору режимів дозування інгібітору за показниками швидкості корозії слід провести подальші дослідження.

ВИСНОВКИ

Проведено лабораторні дослідження методами масометрії та поляризаційного опору по визначенню впливу концентрації інгібітору ЛВХ 1.1В на швидкість корозії сталі Ст3 в умовах роботи контактних водонагрівачів. Встановлена ефективна концентрація інгібітору ЛВХ 1.1В – 1 г/л, за якої швидкість корозії сталі Ст3 не перевищує 0,02 мм/рік.

У ході промислових випробувань визначено, що захисний ефект інгібітору ЛВХ 1.1В становить від 3 до 5 разів за результатами методів масометрії та поляризаційного опору. Вста-

новлено тривалість дії інгібітору – 80 годин в умовах роботи першого контуру котельні з контактними водонагрівачами, після цього часу необхідно введення додаткових порцій реагенту.

Методами XRF та XRD встановлено, що осад продуктів корозії змінюється за присутності інгібітору. При додаванні інгібітору в складі осаду з'являються сполуки фосфору. Також інгібітор ЛВХ 1.1В запобігає утворенню кристалічних осадів на поверхні металу.

Підібрано реагент та його робочу концентрацію для зниження корозійної агресивності теплоносія у системах опалення із контактними водонагрівачами. Це сприятиме поширенню енергоефективних контактних водонагрівачів та зниженню енергетичної залежності України.

Автори висловлюють подяку персоналу котельні м. Боярка за можливість проведення промислових випробувань та професору НТУУ «КПІ» Ю. Герасименку за цінне обговорення результатів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Саминский В., Королевич О.Я. Александрия: генеральная схема оптимизации теплоснабжения города // Досвід впровадження новітніх технологій. – 2009. – №2 (22). – С. 30.
2. Сало В.П., Кучеренко С.В. Использование водонагревателей конденсационного типа в схемах децентрализованного теплоснабжения. // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2007, №6. – http://esco-ecosys.narod.ru/2007_6/art102.htm.
3. Герасименко Ю.С., Васильев Г.С. Магнієвий захист від корозії систем опалення з контактними поверхневими теплогенераторами // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2008. – Спец. вип. №7. – С. 655-659.
4. Білоусова Н.А., Васильев Г.С., Донченко М.І., Редько Р.М., Срібна О.Г. Коррозія сталі в умовах роботи контактних водонагрівачів // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2012. – Спец. вип. № 9. – С. 745-750.
5. Ротова М. А., Предотвращение коррозии систем теплоснабжения, обусловленной присутствием в воде диоксида углерода // Материалы Международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». – М.: 2005.
6. Marangou V.S., Savvides K. First desalination plant in Cyprus–product water aggressivity and corrosion control // Desalination. – 2001. – 138(1). – P. 251-258.
7. Study of the Anticorrosion Properties of Carbonate Deposits to Protect Low-Carbon Steel from the Action of Tap Water / G. S. Vasyliiev, Yu. S. Gerasimenko, S. K. Poznyak, L. S. Tsybul'skaya // Russian Journal of Applied Chemistry – 2014. –Vol. 87., N. 4. – P. 450-455.
8. Герасименко Ю.С., Смола С.І., Кушніренко А.І. Застосування установок "ЩИТ - 2" для боротьби з корозією в системах гарячого водопостачання // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2000. – Спец. вип. № 1. – С. 577-582.
9. Герасименко Ю.С., Васильев Г.С., Королевич О.Я., Ходак А.П. Застосування магнієвого захисту від корозії в опалювальних системах з контактними водонагрівачами міста Олександрії // Наукові вісті. – 2010. – №2. – С. 137-143.
10. Комбінований захист маловуглецевої сталі у воді з надлишком діоксиду вуглецю / М.І.Донченко, Ю.С.Герасименко, Н.А.Білоусова, О.Г.Срібна, Р.М.Редько, Г.С.Васильев // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2013. – № 13(202). – С. 113-119.
11. Васильев Г.С., Герасименко Ю.С. Промислові випробування засобів корозійного моніторингу систем теплопостачання // Збірник наукових праць «Сучасні проблеми електрохімії: освіта, наука, виробництво» (Харків). – 2015. – С. 66-67.
12. Васильев Г.С., Герасименко Р.Ю., Герасименко Ю.С. Система автоматизованого корозійного моніторингу трубопроводів гарячого водопостачання багатоповерхового житлового будинку // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2014. – Спец. вип. № 10. – С. 487-493.
13. Herasymenko Yu.S., Vasylyev H. S. A two-step method for the evaluation of corrosion rate in metals // Materials Science. – 2009. – Vol. 45, № 6. – P. 899-904.
14. Васильев Г.С., Бровченко А.В., Герасименко Ю.С. Вплив продуктів корозії на вимірювання поляризаційного опору у холодній водогінній воді // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – № 13(202). – С. 201-211.
15. Vasyliiev G.S. The influence of flow rate on corrosion of mild steel in hot tap water // Corros. Sci. – 2015. – Vol. 98. – P. 33-39.
16. Lin J. Study of corrosion material accumulated on the inner wall of steel water pipe / Jianping Lin, Mark Ellaway, Robert Adrien // Corrosion science. – 2001. – Vol. 43, № 11. – P. 2065-2081.