

12. Аналітична хімія. Жаровський Ф.Г., Пилипенко А.Т., П'ятницький І.В.- 2-е видав., перероб. і доп.– Київ : Вища школа. Головне вид.-во, 1982.- 544 с.
13. Лайтинен Г.А., Харрис В.Е. Химический анализ : Пер. с англ./ Под ред. Ю.А. Клячко. - 2-е изд. перераб. – М : Химия, 1979. - 624 с.
14. Блажеєвський Н.Е., Лукьянец В.М. Фотометр для хемиллюминесцентного аналізу // Биохемиллюминесценция в сельском хозяйстве: Межвуз. сб. научн. тр.- М.: Моск. Ветерен. акад., 1986.- С. 40-41.
15. Блажеєвський М.Є. Спектрофотометричне визначення пероксикарбонових кислот в присутності пероксиду водню за реакцією з п-анізидином // Наукові записки ТДПУ ім. В. Гнатюка. Серія : Хімія, 2002. № 6 . – С.21-23.

Поступило до Редакції 17.11.2003 р.

***Т.М. Михайловська, Ю.В. Михайловська
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича***

УДК 620.194

ВПЛИВ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ СЕРЕДОВИЩА НА ІНГІБУЮЧУ ЗДАТНІСТЬ ПОЛІФОСФАТНОЇ КОМПОЗИЦІЇ

На даний час значно збільшилися кількості води для енергетичних та технологічних цілей. Вода для таких споживачів, в основному готується хімічним способом на основі іонного обміну. Однак підготовка води у такий спосіб вимагає значних капітальних вкладень та великих витрат дорогих реагентів. Одним із перспективних методів підготовки води є термічне знесолювання води. Під час пароутворення відбувається значне упарювання води з поступовим підвищенням концентрації солей, що містяться в ній. При цьому сполуки кальцію можуть викликати інтенсивне солеосадження на металевих поверхнях. Поряд з цим, висока мінералізація циркулюючих розсолів викликає значну корозію обладнання. Ці процеси значною мірою ускладнюють експлуатацію таких установок.

Найбільш ефективним методом боротьби з такими небажаними процесами є спосіб інгібування. Витрати інгібітора в порівнянні з іншими методами обробки мінімальні, важливо також, що введення його в систему не потребує значних змін в технологічному обладнанні. Одним із недоліків цього методу – емпіричний підбір інгібітора. Тому на даний час тільки всебічне дослідження впливу інгібітора в конкретних умовах застосування (температура, мінералізація, кратність упарювання і т.ін.) дає можливість визначити доцільність використання інгібітора у таких системах. За правильного підбору інгібітора захисний ефект може досягати 85-90% і більше.

Різноманітність форм як корозійного руйнування так і відкладення солей викликане впливом на їх розвиток великої кількості факторів [1-4]. Аналіз літературних даних [2,5-7] показує, що процеси відкладення солей і корозії не тільки відбуваються паралельно, а взаємноспряжені і здатні індукувати один одного.

Вплив на корозію металів відкладень, що утворюються на їх поверхні при контакті з водою пояснюється неоднозначно [4]. Виявлений і обернений зв'язок – корозія металу в воді приводить до інтенсифікації солевідкладення на поверхні апарату чи трубопроводу.

Серед значної кількості відомих інгібіторів перевага надається таким, які є доступними, не дорогими, і, що найголовніше, не токсичними для довкілля. У зв'язку з цим спостерігається тенденція заміни деяких широко розповсюджених інгібіторів, наприклад, хроматів, побічних продуктів хімічних виробництв – ВНХ-1, ІКБ-4С, ІОМС та ін..

Метою роботи є визначення можливості застосування інгібіторів на основі поліфосфатів у сильномінералізованих середовищах. Ці інгібітори відповідають вище наведеним вимогам і добре зарекомендували себе в системах обігового охолодження.

Моделювання робочих умов установок термознесолювання і розробка методики експерименту

Аналіз складу рідин з солемістом до 10 г/л показує, що основним солеутворюючим компонентом є іони кальцію. Згідно даних літератури, кристалізація $CaCO_3$ з таким якісним і кількісним складом іонів проходить переважно в об'ємі рідини [5]. До аніонів, які безпосередньо беруть участь у формуванні солевого покриття на металевих поверхнях можна віднести: SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- . В цьому випадку можливі наступні шляхи інгібування утворення осаду [5-7]: 1 – уповільнення процесу перетворення кальцій гідрокарбонату в карбонат в цілому за рахунок гальмування винесення реакційного діоксиду карбону з рідкої фази у газову, а також впливом на стан рівноваги швидких зворотних реакцій в розчині штучним введенням в систему послідовно-паралельних реакцій нових стадій, що відбуваються за участю реагентів, продуктів перетворення обов'язкових стадій і добавок, використанням від'ємного каталізу і т.п.; 2 – створення утруднень в стадії масопередачі обмежено розчинного карбонату кальцію із рідкої фази в тверду, зміною швидкості формування центрів кристалізації на поверхні і в об'ємі, зокрема зміною величин параметрів, які входять в рівняння швидкості цієї стадії; 3 – перерозподіл швидкостей накопичення твердої фази у вигляді суспензії карбонату і власне поверхневих відкладень; 4 – різноманітні комбінації варіантів 1-3, які відрізняються неоднаковим питомим вкладом кожного з варіантів.

Кожний із варіантів можна здійснити введенням певних інгібіторів. Зрозуміло, що в кожному конкретному випадку механізм дії інгібітора може виявитися різним. Це дозволяє стверджувати, що не можна шукати інгібітори, які були б універсальними і задовольняли б всі можливі об'єкти.

Нааявність в циркулюючій рідині великої кількості сульфат-іонів в поєднанні з хлорид-іоном сприяє пористості шару накипу, що, в свою чергу, приводить до збільшення піттигової корозії. Положення ускладнюється присутністю у воді напівзв'язаного діоксиду карбону, що виділяється при розкладі HCO_3^- , і розчиненого кисню. Спільна їх присутність приводить до того, що корозія відбувається паралельно з водневою і катодною деполаризацією. Тому на металевій поверхні, яку захищають, доцільно мати тонкий шар кальцій карбонату (що мало впливає на теплообмінні процеси) для уповільнення корозійних процесів, а роль інгібітора звести до регулювання товщини цього шару.

Температурний режим в термознесопловальних установках дозволяє припустити, що включення $CaSO_4$ і $MgSO_4$ в складі накипу повинні бути незначними, тому вплив інгібітора повинен бути направлений на запобігання кристалізації $CaCO_3$ і уповільнення корозійних процесів.

Експериментальна частина

Швидкість корозії у досліджуваних системах визначалась гравіметричним методом [1] за втратою маси металу зразків під час випробувань. Утворені в ході випробувань відкладення солей видалялись з поверхні металу інгібованою соляною кислотою і за різницею ваги до і після обробки визначались швидкість солеосадження на поверхні.

У такий спосіб під час експерименту визначались значення трьох величин маси: g_0 – початкова маса металевого зразку; g_1 – маса зразка після дослідів; g_2 – маса зразка після обробки інгібованою соляною кислотою. За різницею $g_0 - g_2$ визначались корозійні втрати металу. Відношення втрати маси металу до досліджуваної поверхні (S) за час проведення випробування (t) дає величину швидкості корозії $K_{мас}$ (г/м² год):

$$K_{мас} = (g_0 - g_2) / S t$$

За різницею мас $g_1 - g_2$ визначали кількість утворених солевих відкладень і відповідно швидкість солеосадження $C_{мас}$:

$$C_{мас} = (g_1 - g_2) / S t$$

Гранична чутливість методики визначення $K_{мас}$ і $C_{мас}$, що залежить від точності вимірювання маси (0.1 мг), площі зразків (2910 мм²) і часу випробування (3 год.) складає приблизно 0.11 г/м² год.

Досліджувалась інгібіторна композиція створена на основі поліфосфатів.

Захисна дія інгібітора від корозії – $ЗД_K$ і від солеосадження – $ЗД_C$ розраховувались за формулами:

$$ЗД_K = \frac{K_{мас_0} \cdot K_{мас_1}}{K_{мас_0}} \cdot 100\%$$

$$ЗД_C = \frac{C_{мас_0} \cdot C_{мас_1}}{C_{мас_0}} \cdot 100\%$$

Опис лабораторної установки

Виходячи з поставленої задачі, лабораторні установки для вивчення швидкостей солеосадження і корозії повинні відповідати наступним вимогам. Це перш за все динамічний режим та термостабілізація розчину, проведення процесу в кінетичній області, а за необхідності – забезпечення заданої концентрації розчиненого кисню. Перемішування розчину здійснювалося за допомогою магнітної мішалки з електропідгрівом, стабілізованим за допомогою контактного термометра з точністю $\pm 1^\circ\text{C}$. Швидкість обертання мішалки 500 об./хв. Заміна магнітної мішалки на механічну не викликала зміни величин $K_{\text{мас}}$ і $C_{\text{мас}}$, що свідчить про відсутність впливу магнітного поля мішалки на процеси солеосадження і корозії. Швидкості корозії та солеосадження визначали за допомогою індикаторних пластин, виготовленими із металу марки СТ 20.

Вихідна модельна вода мала показники: загальний солевміст, мг/л – 261; $\text{pH}=7.2$; загальна твердість, мг-екв/л – 4.5; карбонатна твердість, мг-екв/л – 1.6; іони, мг/л: Ca^{2+} - 40.0, Mg^{2+} - 12.6, Na^+ - 20.5, Fe^{3+} - 2.0, HCO_3^- - 76.7, SO_4^{2-} - 76.0, Cl^- - 28.8, SiO_3^{2-} - 6.0.

Високомінералізовані модельні середовища готувалися шляхом упарювання штучно одержаних модельних вод у вакуумі при 70°C , що відповідає умовам в установках термознесолювання. Концентрування проводили до 65 г/л, що відповідає кратності упарювання $K_y = 250$ вихідної штучно приготовленої води.

З метою визначення можливості солеосадження в тракті підживлючої води в установках термознесолювання проведено дослідження загальних закономірностей впливу температури, кратності упарювання і концентрації інгібітора на швидкості корозії та солевідкладення. Одержані закономірності представлені на рис. 1-3.

Залежності в присутності інгібіторної композиції вказують на оптимальну її концентрацію, що практично не залежить від кратності упарювання та температури і складає 20 мг/л при 70°C ($\text{ЗД}_k=57\%$, $\text{ЗД}_c=48\%$) (табл.1).

Таблиця 1

Вплив кратності упарювання і концентрації інгібітора (ІпН)
на швидкості корозії та солеосадження на металевих поверхнях ($T=70^\circ\text{C}$)

№	Солевміст, г/л (в дужках K_y)	[ІпН], мг/л	Швидкість, г/м ² ·год		Захисна дія, %	
			$K_{\text{мас}}$	$C_{\text{мас}}$	ЗД_k	ЗД_c
1	0.26 (1)	10	1.34	1.01	14	36
2	0.26 (1)	20	0.66	0.81	57	48
3	0.26 (1)	30	1.09	1.37	30	13
4	1.80 (7)	10	0.92	2.05	49	49
5	1.80 (7)	20	0.76	1.59	58	61
6	1.80 (7)	25	0.76	1.23	58	69
7	1.80 (7)	30	1.24	2.84	31	30
8	3.90 (15)	10	1.21	2.42	18	40
9	3.90 (15)	20	1.17	1.87	21	54
10	3.90 (15)	30	1.30	3.03	12	25
11	10.40 (40)	10	0.91	2.38	16	23
12	10.40 (40)	20	0.88	1.43	19	54
13	10.40 (40)	40	0.82	2.51	24	19

Ефективність захисної дії інгібітора в середовищі вихідної води складає залежно від температури 14÷83% від корозії та 13-90% від осаження солей. Збільшення і зменшення концентрації інгібітора приводить до зменшення ефективності захисної дії. При нижчих температурах, які відповідають умовам в тракті підживлючої води, захисна дія інгібітора від солеосадження підвищується до 90%. Саме такі значення ефективності $\text{ЗД}=80-95\%$ характерні для досліджуваного інгібітора за умов його традиційного використання – в системах обігового охолодження промислових підприємств. Така ж залежність від температури спостерігається і для захисної дії від корозії.

Результати експерименту (рис.1) показують, що $K_{\text{мас}}$ і $C_{\text{мас}}$ в середовищі вихідної води мають досить малі значення, причому швидкість солеосадження практично дорівнює швидкості корозії (кр.1,2,1',2'). Про

це свідчить і темно-коричневий колір утворених відкладень (осадження в дослідах з високими K_p мають білий колір і розчиняються в інгібованій соляній кислоті з виділенням діоксиду карбону, тобто представляють собою переважно карбонат кальцію).

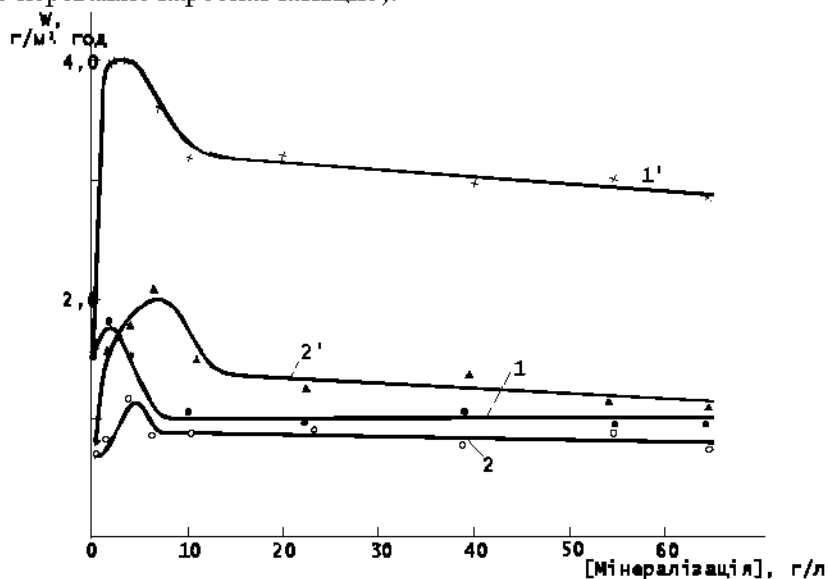


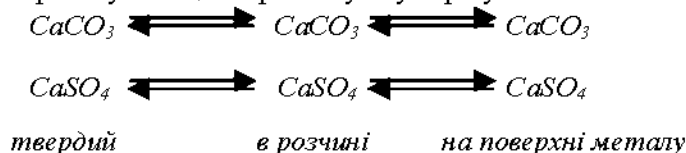
Рис.1. Залежності швидкостей солеосадження (1,1') і корозії (2,2') від мінералізації водного середовища: криві 1,2 – в присутності інгібітора (20 мг/л); 1',2' – без інгібітора. $T=70^\circ\text{C}$

Збільшення кратності упарювання до $K_p = 7$ практично не прискорює корозійні процеси, чого не можна сказати про процеси солеосадження. Швидкість солеосадження при цьому суттєво зростає (рис. 1, кр. 1', 2'). Це пояснюється тим, що при значному солевмісті швидкість відкладення кальцій карбонату і сульфату зростає. З ростом мінералізації середовища швидкості корозії і солеосадження в неінгібованому процесі дещо зростають, проходять через максимум, а потім зменшуються. В інгібованому процесі криві залежностей мають аналогічний характер, однак максимум зміщений в область підвищеної мінералізації.

Зростання швидкості корозії на висхідній ділянці кривої зумовлене, очевидно, ростом електропровідності середовища, зменшенням стійкості захисних плівок на поверхні металу, що стимулюється впливом іонів типу хлору в умовах активної деполаризуючої дії кисню. Максимум на кривій відповідає сумарному і найбільш сильному прояву впливу вказаних факторів. Наявність в системі інгібіторної композиції не змінює механізм цих процесів, а сприяє зсуву описаних явищ в область вищої мінералізації.

Зменшення швидкості корозії сталі із збільшенням мінералізації води викликане головним чином зменшенням розчинності кисню у воді [1], утрудненням дифузійних процесів в умовах в'язкого середовища і, можливо, зменшенням швидкості процесу розряду молекул кисню за рахунок зменшення електрохімічно активної площі металу через конкуруючу адсорбцію іонів хлору в умовах високої мінералізації води.

Оскільки кількість утвореного осаду в об'ємі розчину суттєво залежить від K_p , то відносна незалежність швидкості солеосадження від кратності упарювання може пояснюватися наявністю лімітуючої стадії масопереносу кальцій карбонату і сульфату:



Зміна температури від 30 до 90°C не залежно від мінералізації середовища приводить до збільшення швидкостей солеосадження і корозії як в неінгібованому (рис. 2), так і в інгібованому процесах (рис.3) що можна пояснити з точки зору загальних закономірностей хімічних процесів від температури. Однак характер залежностей дещо відрізняється: в неінгібованому процесі криві залежностей швидкостей корозії від температури в вихідній воді і при солевмісті 1.8 г/л мають характер насичення, а при 3.9 г/л – проходить через максимум. При 100°C швидкості солеосадження і корозії менші, ніж можна було б чекати, виходячи з одержаних закономірностей. Очевидно тут відіграють роль наступні фактори: зменшення розчинності O_2 і

CO_2 , а також зміна молекулярної структури води в зв'язку з процесом її кипіння. Екстраполяція даних експерименту на реальну установку термознесолювання, дозволяє прогнозувати, що процеси відкладення солей і корозії на поверхні металу теплообмінного обладнання будуть відбуватися інтенсивніше, ніж у камері випарювання – в ній утворення осаду солей буде відбуватися переважно в об'ємі рідини.

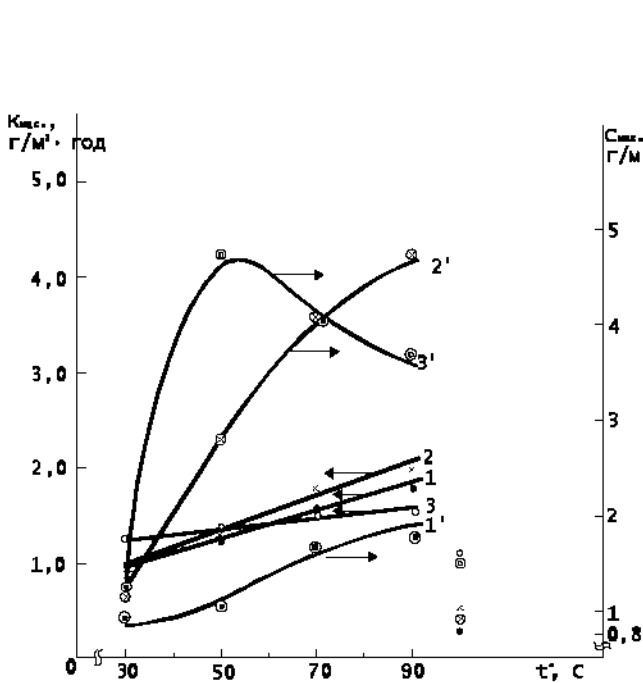


Рис. 2. Залежності швидкостей солеосадження (1',2',3') та корозії (1,2,3) при відсутності інгібітора від температури і мінералізації середовища, г/л: 1,1' – 0.26; 2,2' – 1.8; 3,3' – 3.9

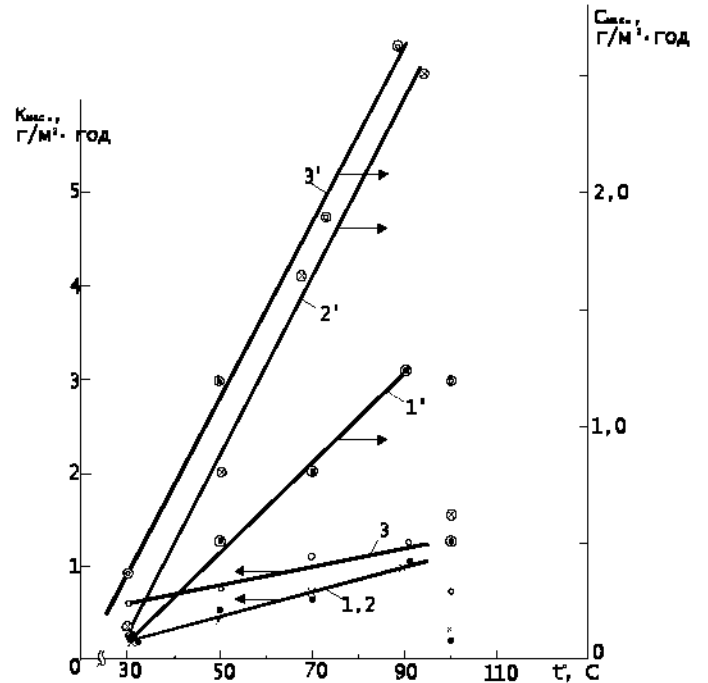


Рис. 3. Залежності швидкостей солеосадження (1',2',3') та корозії (1,2,3) в присутності інгібітора (20 мг/л) від температури і мінералізації середовища, г/л: 1,1' – 0.26; 2,2' – 1.8; 3,3' – 3.9

Для більш мінералізованих розчинів закономірності в цілому зберігаються. Ефективність захисної дії інгібітора від солеосадження і корозії збільшується зі зниженням температури і при 30°C складає відповідно 87 і 79%.

Ефективність захисної дії інгібіторної композиції за оптимальної концентрації 20 мг/л при 70°C складає при мінералізації середовища, г/л: 1.8 – ЗДк = 58%, ЗДс = 69%; при 3.9 – ЗДк = 21%, ЗДс = 54%; при 6.5 – ЗДк = 13%, ЗДс = 44%; при 10.4 – ЗДк = 19%, ЗДс = 54%; при 23.5 – ЗДк = 33%, ЗДс = 33%; при 65.0 – ЗДк = 22%, ЗДс = 62%.

Для порівняльного оцінювання інгібуючої дії композиції на досліджуване мінералізоване середовище проведено дослідження захисної дії інших загально відомих інгібіторів [7] – оксіетилпідендифосфонової кислоти (ОЕДФ) і карбоксиметилцелюлози (КМЦ).

**Швидкості корозії і солеосадження та захисна дія ОЕДФ і КМЦ
в мінералізованій воді. Солевміст – 10.4 г/л, T=70 °C**

№	[Інгібітор], мг/л	Швидкість, г/м ² ·год		Захисна дія, %	
		<i>K_{мас.}</i>	<i>C_{мас.}</i>	<i>ЗД_к</i>	<i>ЗД_с</i>
1	-	1.08	3.20	-	-
2	ОЕДФ - 20	1.50	2.48	-39	23
3	ОЕДФ - 60	1.12	2.34	-4	27
4	ОЕДФ - 120	0.96	2.64	11	18
5	ОЕДФ - 250	0.80	1.67	26	48
6	КМЦ - 250	1.58	2.85	-46	11
7	КМЦ - 750	1.29	2.20	-19	31

Одержані результати досліджень представлені в табл. 2. Досліджені інгібітори проявляють деяку захисну дію від солеосадження при 70⁰C та солевмісті 10.4 г/л: ОЕДФ – 23 ÷48% (конц. 20÷250 мг/л), КМЦ – 11÷31% (конц. 250-750 мг/л). Ці величини значно менші захисної дії досліджуваної композиції за нижчих концентрацій. Антикорозійна дія ОЕДФ і КМЦ практично відсутня.

Висновки

Досліджені швидкості корозії і солеосадження в мінералізованій воді в присутності інгібіторної композиції на основі поліфосфатів в умовах високої мінералізації. До головних чинників, що проявляють результуючий вплив на ефективність поліфосфатної композиції у мінералізованих водах віднесені кратність упарювання та температура.

Одержані результати можуть бути використані при виборі оптимальної технології захисту теплообмінного обладнання, що працює за умов високої мінералізації, наприклад, технології термознесолювання.

РЕЗЮМЕ

Досліджена активність поліфосфатної композиції в процесах корозії і солеосадження у високомінералізованих середовищах. Визначена оптимальна концентрація інгібітору, приведені закономірності впливу температури та ступеня мінералізації на інгібуючу здатність композиції. Результати дослідження розглянуті з позиції практичного використання.

РЕЗЮМЕ

Исследована активность полифосфатной композиции в процессах коррозии и солеосаждения в высокоминерализированных средах. Определена оптимальная концентрация ингибитора, приведены закономерности влияния температуры и степени минерализации на ингибирующую способность композиции. Результаты исследования рассмотрены с позиции практического использования.

SUMMARY

Activity of polyphosphate composition in corrosion and salt deposition processes in highly mineralized media has been investigated. Optimal inhibitor concentration has been determined, the regularities of temperature and mineralization degree effect on the composition inhibitive capacity have been given. The investigation results have been considered from the standpoint of practical use.

ЛІТЕРАТУРА

1. Улиг Г.Г., Реві Р.У. Коррозия и борьба с ней. Л.: Химия, 1989. – 454 с.
2. Манькина Н.Н. Физико-химические процессы в пароводяном цикле электростанций. М.: Энергия, 1977. – 256 с.
3. Рачев Х., Стефанова С. Справочник по коррозии. М.: Мир, 1982. – 519 с.
4. Акользин А.П., Жуков А.П. Кислородная коррозия оборудования химических производств. М.: Химия, 1985. – 240 с.

5. Михайловский В.Я., Иванов А.М., Червинский К.А. Пути воздействия ингибиторов на процесс превращения бикарбоната кальция в карбонат // Журн. прикл. химии. – 1980. – Т. 53. – № 3. – С. 481-484.
6. Михайловская Т.Н., Михайловский В.Я. и др.. Влияние ингибиторов соеотложения на коррозию металла в растворе бикарбоната кальция // Тезисы докладов всесоюзного совещания „Физико-химические основы действия ингибиторов коррозии металлов”. Москва, 1989. – С.81.
7. Долматов Ю.Д., Гронский Р.К. и др.. Ингибирование отложений сульфата кальция в выпарных аппаратах // Теплоэнергетика. – 1984. – № 9. С. 9-12.

Поступило до Редакції 20.04.2004 р.

Т.М. Михайловська
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича

УДК 620.197.3

ЗАСТОСУВАННЯ ІНГІБІТОРНОЇ КОМПОЗИЦІЇ В СИСТЕМІ ОБІГОВОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ НА ЧЕРНІВЕЦЬКОМУ ОЛІЙНОЖИРОВОМУ КОМБІНАТІ

Практика експлуатації теплоенергетичного обладнання безпосередньо пов'язана з проблемою корозії та солеосадження на його металевих поверхнях. Внаслідок цього порушуються теплообмінні процеси та технологічні регламенти, виходить з ладу дороге обладнання. Значення коефіцієнта еквівалентної теплопровідності стінки труби залежно від товщини відкладених на ній солей для Ст.20 змінюється в 2-3 рази [1]. Вирішення проблем солевідкладення та корозії можливе за рахунок стабілізації і зменшення корозійної активності води в системі обігового водопостачання. Серед чисельних методів, що використовуються з цією метою найбільш перспективним є метод інгібування [2,3].

Створена на основі поліфосфатів інгібіторна композиція, до складу якої входить триполіфосфат натрію (60-75%), пірофосфорна кислота (15-20%) та стабілізуючі добавки (5-25%) добре зарекомендувала себе в системі обігового водяного охолодження Чернівецького олійноекстракційного заводу.

Склад води характеризується наступними показниками: $pH=8$, загальна твердість – 10.75 мг-екв/л ; карбонатна – 5 мг-екв/л , лужність – 8 мг-екв/л ; іонний склад, мг/л : $[Ca^{2+}]=135.27$; $[Mg^{2+}]=51.63$; $[Cl^-]=113.47$; $[SO_4^{2-}]=245.0$; загальний солеміст – 972 мг/л ; індекс стабільності $+0.47$.

Швидкості солеосадження і корозії визначались масометричним методом за допомогою індикаторних пластин виготовлених із Ст.3, які встановлювались на вході і на виході води із теплообмінника [4].

До введення інгібітора в систему обігового охолодження швидкості солеосадження і корозії відповідно дорівнювали $2.75 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$ і $2.39 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$ на вході $3.27 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$ і $2.33 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$ на виході. Солеві осади на поверхні індикаторних пластин встановлених на вході були темнокоричневого кольору, а під їх шаром утворювалися нерівномірні глибокі язви по всій поверхні металу. Солеві відкладення важко знімались з поверхні і утворені продуктами корозії та карбонатами у співвідношенні 1:1. На виході із теплообмінника осад на індикаторних пластинах був більш рівномірний, світлішого кольору і складався на 70% із карбонатів. Швидкість корозії була меншою, а швидкість солеосадження – навпаки більшою. Теплознімальні поверхні обладнання та підвідних комунікацій були вкриті солевим шаром товщиною 5-7 мм, а на деяких ділянках їх товщина досягала 10 мм. Осад на 80-90% складався з карбонатів.

Експериментально встановлена концентрація інгібітора складала $10-25 \text{ мг/л}$, регулювалась періодом вводу в систему залежно від температурних режимів пори року і була визначена, як оптимальна, з позицій поступового розпушування поверхневого солевого шару і виведення шламу з системи, запобігаючи таким чином зашламленню комунікаційних вузлів обладнання та з позицій створення контрольованої захисної від корозії карбонатної плівки. Концентрація інгібітора в системі контролювалась вмістом P_2O_5 (%), що визначався за методикою [5].