

УДК 620.197.3

З.Слободян<sup>1</sup>, канд. техн. наук; Л.Маглатюк<sup>1</sup>; Р.Пецух<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Фізико-механічний інститут ім.Г.В.Карпенка Національної академії наук України, м.Львів

<sup>2</sup>АТ КФ “Світоч”, м.Львів

## ІНГІБОРНИЙ ЗАХИСТ ВОДОБОРОТНОЇ СИСТЕМИ КФ “СВІТОЧ”

*Встановлено, що внутрішні поверхні обладнання кондитерської фірми “Світоч”, яке охолоджується водою, вкриті шаром солей твердості та продуктів корозії, що містять сполуки заліза, кальцію, магнію, міді, цинку, алюмінію, кремнію, фосфору. Визначено, що в конденсаторі та на виході водного потоку спостерігаються найвищі швидкості корозії та найнижчі швидкості солевідкладення. Показано, що інгібітори типу КОРСОЛ (200 мг/дм<sup>3</sup>) не лише ефективно гальмують спряжені процеси корозії та солевідкладення, але й поступово розмивають відклади на внутрішніх поверхнях обладнання.*

### Умовні позначення

$K$  - швидкість корозії;

$C_o$  - швидкість солевідкладень;

$Z$  - ступінь інгібіторного захисту від корозії.

### Вступ

Інтенсифікація сучасних виробництв різко збільшила споживання прісної води, внаслідок чого у ряді регіонів України спостерігається стійка тенденція зростання водного дефіциту. Переведення водооборотних систем на замкнуті цикли із зменшенням споживання води не повинно при цьому погіршувати якості продукції, яка охолоджується.

Однак у замкнутих водооборотних системах з часом зростає карбонатна твердість, вміст хлоридів та сульфатів, змінюється рН середовища, швидкість потоку, градієнт температур та ін. Ці фактори посилюють спряжені процеси корозії та солевідкладення. Відкладення солей твердості і продуктів корозії на внутрішніх поверхнях створює небезпеку перегрівання і розривання стінок обладнання, знижує його працездатність і продуктивність. При товщині шару відкладень 0,5 мм перевитрати електроенергії складають 1,5% [1]. При цьому різко зростає гідравлічний тиск в теплообмінниках та збільшуються енерговитрати на перепомповування води та очищення обладнання.

Ефективність роботи обладнання кондитерської фірми “Світоч” (помадкозбивальні, какао-розмельювальні машини та ін.), які охолоджуються водою, перебуває в прямій залежності від вищезазначених факторів. Оскільки на підприємстві не застосовується спеціальне водоприготування, то якість водоохолодження з часом суттєво погіршується. В зв'язку з тим метою нашої роботи є проведення інспекції стану внутрішніх поверхонь обладнання, що контактують з водою, визначення корозійної активності води та її схильності до утворення накипу і розробка інгібіторної технології зниження відкладень солей твердості та продуктів корозії.

**Матеріали та методики експериментів.** Швидкість корозії визначали на зразках із сталі 20 (матеріал трубопроводів) гравіметричним методом [2] і обчислювали за формулою:

$$K = \frac{\Delta m}{s \tau}, \text{ г/м}^2 \cdot \text{год},$$

де:  $\Delta m$  – зменшення ваги зразка після зняття продуктів корозії, г;

$s$  - площа зразка, м<sup>2</sup>;  $\tau$  - час випробувань, год.

Відкладення солей твердості вивчали на інертних зразках із сталі Х18Н10Т в установці “труба в трубі” [3] та обчислювали за формулою:

$$C_o = \frac{\Delta m}{s\tau}, \text{ г/м}^2 \cdot \text{год},$$

де:  $\Delta m$  – вага відкладів, г;  $s$  - площа, яку займають відклади, м<sup>2</sup>;  
 $\tau$  - час формування відкладів, год.

У перерахунку на лінійну швидкість солевідкладення:

$$h = 0,73 \frac{C_o}{\rho_o}, \text{ мм/міс},$$

де  $\rho_o$  – густина карбонатних відкладів, г/см<sup>3</sup>;

для щільних відкладів:  $\rho_o = 2,12 \dots 2,54$  г/см<sup>3</sup>; для залізовмісних відкладів:  $\rho_o = 3,0$  г/см<sup>3</sup>.

Визначення якісного та кількісного складу відкладів здійснювали у відповідності до методик, описаних в [4].

Вплив інгібітора на процеси корозії та солевідкладення визначали за методикою [5]. Дослідно-промислова перевірка ефективності інгібіторного захисту проведена у водооборотній системі КФ “Світоч” на контрольних зразках-свідках, закладених у басейні підконденсаторному, конденсаторі №1, басейні градирні та на виході води з повітряного компресора №3.

**Результати та обговорення. Дослідження складу відкладів та корозійної активності води.** Внутрішня поверхня вкрита шаром нещільних жовтувато-коричневих відкладів товщиною 0,8...1,0 мм, які легко усуваються механічним шляхом. Поверхня водяних сорочок обладнання (темпермашини, жиротопки) вкрита суцільними щільними двошаровими відкладами: сіро-білими із коричневими вкрапленнями та пристінними темно-коричневими. В деяких випадках їх товщина сягала 3-4 мм.

Хіманалізом встановлено, що склад відкладів наступний:  
 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 56,1%;  $\text{CaO}+\text{MgO}$ =26,4%;  $\text{CuO}+\text{ZnO}$ =2,1%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -0,9%;  $\text{SiO}_2$ - 0,8%;  $\text{P}_2\text{O}_5$ =2,6%;  $\text{SO}_4$  – сліди. Втрати при прокалюванні 1,28 %. Тобто відклади містять як солі твердості, так і продукти корозії. Визначена загальна твердість води складає 12,2 мг-екв/л. Швидкість корозії сталі 20 (при  $t=20^\circ\text{C}$ ) у даній воді зменшується із збільшенням часу експозиції (рис.1), що характерне для нейтральних середовищ, і пов’язане в даному випадку з утворенням щільної карбонатної плівки. Після 14 діб експозиції швидкість корозії сталі 20 майже не міняється і тримається на рівні  $(10 \dots 11) \cdot 10^{-2}$  г/м<sup>2</sup>·год, що є доволі високим (1,11 мм/рік) для вод такої твердості.

Визначена середня швидкість солевідкладень становила 0,19...0,21 мм/міс.

Таким чином, проведені лабораторні випробування водогінної води КФ “Світоч” виявили, що вода має обмежену термостабільність і є корозійноактивною.

Дослідженнями швидкості корозії та солевідкладення безпосередньо у водооборотній системі підприємства на контрольних зразках-свідках було встановлено наступне (таблиця 1). Швидкість корозії зразків-свідків у зонах з незначним рухом середовища (басейни) є помітно нижчою, ніж отримано під час лабораторних випробувань.

Таблиця 1

Швидкість корозії та швидкість солевідкладення зразків-свідків у воді підприємства

Місце закладки зразків-свідків	Швидкість корозії		Швидкість солевідкладень
	$K \cdot 10^{-2}$ , г/м <sup>2</sup> ·год	$\Pi$ , мм/рік	$Z$ , мм/міс
Басейн підконденсаторний	2,8	0,31	0,20
Конденсатор	17,3	1,93	0,09
Басейн градирні	3,4	0,38	0,18
Вихід води з конденсатора №3	20,1	2,24	0,04

Найвищі швидкості корозії спостерігаються в конденсаторі та на виході води з повітряного конденсатора № 3, де швидкості водяного потоку найбільші і відповідно

найвища дифузія деполяризатора  $O_2$ . Ці дані корелюють з результатами лабораторних досліджень. Відповідно швидкість солевідкладення як спряженого процесу – найнижча. При товщині труби 2...3 мм локальне руйнування може відбутись вже через 1 рік експлуатації.

### Дослідження впливу інгібітора КОРСОЛ на швидкість корозії та солевідкладення

Як було показано вище [6], інгібітори класу КОРСОЛ утворюють на поверхні середньовуглецевих сталей квазіаморфні шари, гальмуючи при цьому процес корозії. З другого боку відсутність на поверхні центрів кристалізації запобігає формуванню накипу.

Можливість застосування інгібіторів типу КОРСОЛ для захисту водооборотної системи КФ “Світоч” вивчалась шляхом:

- 1) визначення оптимальної концентрації інгібітора при різних температурах;
- 2) оцінки ефективності інгібітора при наявності контактуючих різномірних металів;
- 3) вивчення ефекту післядії.

При температурі  $30^\circ\text{C}$  ефективність інгібітора достатньо висока у всьому діапазоні досліджених концентрацій (таблиця 2). Підвищення температури середовища дещо знижує захисну здатність інгібітора. Однак концентрація  $200 \text{ мг/дм}^3$  цілком достатня для гальмування спряжених процесів корозії та солевідкладення. Кількість солевідкладень при цій концентрації інгібітора і температурі  $60^\circ\text{C}$  зменшується в 20 разів.

Таблиця 2

Вплив концентрації інгібітора КОРСОЛ на швидкість корозії сталі 20 у воді підприємства при різних температурах

Температура, $t^\circ\text{C}$	30		60		80	
	$K \cdot 10^{-2}$ , г/м <sup>2</sup> ·го д	Z, %	$K \cdot 10^{-2}$ , г/м <sup>2</sup> ·го д	Z, %	$K \cdot 10^{-2}$ , г/м <sup>2</sup> ·го д	Z, %
40	0,38	94	-	-	-	-
80	0,32	96	5,8	63	7,5	48
100	0,28	97	4,5	71	6,2	52
200	0,21	98	3,7	90	4,3	86

Наступне збільшення концентрації інгібітора незначно впливає на швидкість корозії та солевідкладення. При температурі  $80^\circ\text{C}$  задовільний захист спостерігається лише при концентрації інгібітора  $\geq 200 \text{ мг/дм}^3$ . Враховуючи те, що температура води навіть у літні місяці не досягає  $50^\circ\text{C}$ , концентрацію інгібітора  $200 \text{ мг/дм}^3$  можна вважати оптимальною.

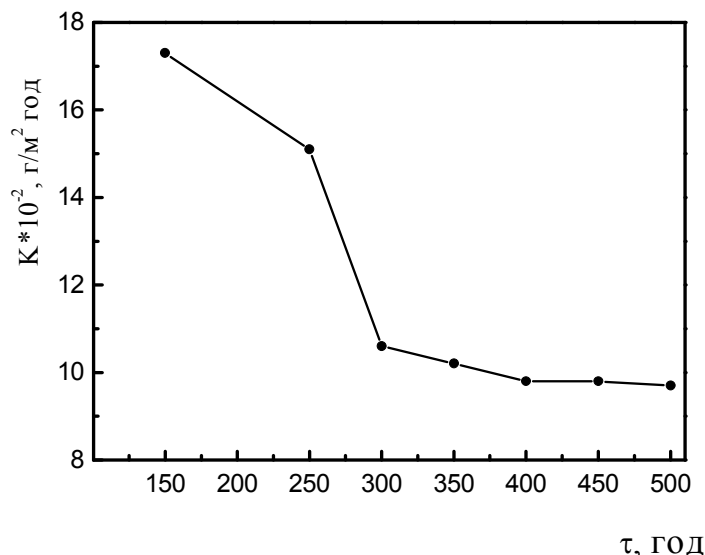


Рис.1. Залежність швидкості корозії сталі 20 у воді підприємства від часу випробувань

Воду підприємства охолоджує обладнання, окремі елементи якого виготовлені із нержавіючих та середньовуглецевих сталей, що може інтенсифікувати корозію останніх. І дійсно нами спостерігалось збільшення швидкості корозії сталі 20, що контактувала із сталлю Х18Н10Т (таблиця 3). Причому збільшення площі зразка із сталі Х18Н10Т веде до зростання швидкостей корозії сталі 20. Інгібітор КОРСОЛ в концентрації 200 мг/дм<sup>3</sup> ефективно гальмує корозію, забезпечуючи захист сталі 20 на 90...95%.

Таблиця 3

Вплив площі зразків-свідків із сталі Х18Н10Т на швидкість корозії сталі 20 у неінгібованій та інгібованій воді підприємства

Середовище	Площа зразка сталі Х18Н10Т, що контактує із ст. 20	Швидкість корозії сталі 20, К · 10 <sup>-2</sup> , г/м <sup>2</sup> · год	Ступінь захисту сталі 20, Z, %
Водогінна вода	-	7,17	-
	12,7	17,5	-
	8,1	14,8	-
	4,8	12,7	-
Водогінна вода + 200 мг/дм <sup>3</sup> КОРСОЛ	-	0,3	95,1
	12,7	1,6	90,0
	3,1	0,9	93,0
	4,8	0,5	96,0

Як відзначалось вище, особливістю інгібіторів типу КОРСОЛ є здатність утворювати на поверхні фазову квазі-аморфну плівку, внаслідок чого інгібітор може виявляти ефект післядії. Було встановлено, що зразки із сталі 20, витримані у розчині інгібітора КОРСОЛ (200 мг/дм<sup>3</sup>) протягом 3 діб і перенесені у неінгібовану воду, не кородували 12 діб. Перші зміни у вазі зразків були помічені лише на 13-ту добу. Тобто ефект післядії інгібітора у воді КФ “Світоч” становить 12діб. На зразках із сталі 20, що контактує з сталлю Х18Н10Т, ефект післядії знижується до 5-6 діб.

#### Дослідно-промислова перевірка інгібітора КОРСОЛ у водооборотній системі підприємства

Введення інгібітора у водооборотну систему здійснювалась в режимі “ударної дози”. Початкова концентрація інгібітора становила 200 г/м<sup>3</sup>. Інгібітор вводили порціями протягом 15 хв. При цьому спостерігалось побіління води, пов’язане з розмиванням

інгібітором карбонатних відкладів. Зразки-свідки закладали як і при корозійній атестації і витримували від 336 год до 937 год (таблиця 4).

Таблиця 4

## Дослідно-промислова перевірка інгібітора КОРСОЛ у воді КФ “Світоч”

№ п/п	Система	Без інгібітора		З інгібітором					
		τ=336 год		τ=336 год			τ=937 год		
		$K \cdot 10^{-2}$ , г/м <sup>2</sup> ·год	П, мм/рік	$K \cdot 10^{-2}$ , г/м <sup>2</sup> ·год	П, мм/рік	Z, %	$K \cdot 10^{-2}$ , г/м <sup>2</sup> ·год	П, мм/рік	Z, %
1.	Басейн під-конденсаторний	2,8	0,31	1,06	0,118	62	0,88	0,098	69
2.	Конденсатор №1	17,3	1,93	1,78	0,198	90	0,98	0,109	94
3.	Басейн градирні	3,4	0,38	1,97	0,219	42	2,32	0,258	32
4.	Вихід води з повітряного компресора №3	20,1	2,24	2,64	0,294	87	1,82	0,202	90

Контрольний огляд показав, що внаслідок дії інгібітора внутрішні поверхні обладнання очистились від відкладів солей та продуктів корозії. Швидкість корозії при цьому зменшується. Найнижчий захисний ефект спостерігається в басейні градирні, що є результатом підвищеної аерації водного середовища. Інгібіторна технологія впроваджена на КФ “Світоч” для захисту водооборотних систем.

**Висновки**

1. Визначено склад відкладів на внутрішній поверхні водогону та водяних сорочок обладнання підприємства і встановлена залежність швидкості корозії сталі 20 від часу випробувань та від місця розміщення зразків-свідків.

2. Показано, що інгібітори типу КОРСОЛ ефективно гальмують процеси корозії та солевідкладення у водооборотній системі при оптимальній концентрації 200 мг/дм<sup>3</sup>.

*It has been established that the internal surfaces of the water-cooled equipment at the “Svitoch” Confectionary Firm, are covered with inkrustation and corrosion products, containing compounds of iron, calcium, magnium, copper, zink, aluminium, silicon, phosphorus. It has been determined that into the condensator and at the outlet of water flow the highest corrosion rates and the lowest rates of salt scaling are observed. The KORSOL type inhibitor (200 mg/dm<sup>3</sup>) was shown do not only effectively retard the conjugated processes of corrosion and salt scaling, but also gradually wash-out the scale on the internal surfaces of the equipment.*

**Література**

1. Крушель Г.Е. Образование и предотвращение отложений в системах водяного охлаждения. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1965. – 317 с.
2. Розенфельд И.Л., Жигалова К.А. Ускоренные методы коррозионных испытаний металлов. – М.: Металлургия, 1966. – 346 с.
3. Слободян З.В. Автореферат канд.диссертации. Ингибиторная защита стали от коррозии, коррозионной усталости и солеотложения. – М.: 1987.
4. Бабко А.К., Пятницкий И.В. Количественный анализ. - М.,1968. - 494 с.
5. Ингибирование процессов солеотложения, коррозии и коррозионной усталости стали в нейтральных средах / Михайловский В.Я., Слободян З.В., Сопрунюк Н.Г., Иванов А.М. Физ.-хим. механика материалов. – 1983. - №5. – С.95-98.
6. Никифорчин Г.М., Слободян З.В., Завербний Д.М. Вплив піро- полі фосфатного інгібітору на корозію та солевідкладення у водних системах. Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 1997. - №3. – С.87-96.

Одержано 28.06.2003 р.