

УДК 620.197; 628.1

## ПРОТИКОРОЗІЙНА ТА ПРОТИНАКИПНА ДІЯ ІНГІБІТОРІВ У КОНДИЦІЙОВАНІЙ СТІЧНІЙ ВОДІ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ

**I. M. АСТРЕЛИН**, Ю. С. ГЕРАСИМЕНКО, Н. А. БІЛОУСОВА,  
I. В. КОСОГІНА, Р. М. РЕДЬКО

*Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського"*

Наведено результати дослідження корозивності біологічно очищеної стічної води Бортницької станції аерації, протикорозійної та протинакипної ефективності інгібіторів ІКВС-2 (на основі діетаноламіна та фосфатних сполук) та реагенту Акватон-10 (на основі полігексаметиленгуанідин гідрохлориду). З парціальних поляризаційних кривих за наявності інгібіторів виявлено відмінності в корозійних процесах для маловуглецевої сталі. За періодичного нагріву та охолодження води методом поляризаційного опору визначено коефіцієнти гальмування корозії та питомий приріст маси накипу і поверхневих осадів. Встановлено, що формування захисної плівки на сталі за знижених концентрацій інгібіторів залежить від тривалості експозиції і механізм гальмування корозії переважно пов'язаний з блокуванням поверхні, причому зі збільшенням часу дії нагрітої води (95°C) коефіцієнти гальмування корозії підвищуються до 2,5...3,5. Вперше встановлено, що досліджені інгібітори мають високу протинакипну ефективність.

**Ключові слова:** *корозія, інгібітор, стічна вода, коефіцієнт гальмування корозії, протинакипна ефективність.*

The results of investigation of the corrosivity of biologically treated wastewater of the Bortnychy Aeration Station, as well as the anticorrosive and anti-scale efficiency of ICWS-2 inhibitors (based on diethanolamine and phosphate compounds) and the Aquaton-10 reagent (based on polyhexamethylene guanidine hydrochloride PHMGH) are presented. Differences in partial polarization curves of mild steel 20 were revealed in the presence of inhibitors in model water. Corrosion tests were carried out (by polarization resistance method) in conditions of periodic heating and cooling of water with a duration of 30 h. Coefficients of corrosion inhibition and the specific increase in the mass of scale and surface sediments were determined. It is established that the formation of the protective film at low concentrations of inhibitors occurs over time, and with increasing exposure of the hot water (95°C) the corrosion inhibition coefficients increase to 2.5...3.5. The mechanism of corrosion inhibition is considered. It mainly associates with surface blocking. It is established for the first time that the studied inhibitors have high anti-scale efficiency.

**Keywords:** *corrosion, inhibitor, wastewater, corrosion inhibition coefficient, anti-scale efficiency.*

**Вступ.** В умовах підвищеного навантаження на навколишнє середовище загострюються проблеми водозабезпечення та протикорозійного захисту металевого обладнання промислових підприємств, що потребує їх сумісного вирішення. У світовій практиці повторне непитне використання біологічно очищених стічних вод після доочищення є важливим завданням для забезпечення сталого функціонування промисловості та енергетики [1, 2]. Визначено три основні напрями по-

вторного використання біологічно очищених стічних вод різного походження (після їх кондиціювання) [3, 4]: для технічних потреб промисловості; для поліпшення стану довкілля в урбаністичних і рекреаційних зонах [5]; для використання в сільському господарстві [2]. Визначення і зниження корозійної активності (корозивності) стічної води для технологічних потреб сприятиме покращенню екологічної ситуації та захисту металевого обладнання промислових підприємств.

Важливим показником безпечної експлуатації теплообмінної апаратури та трубопроводів є твердість технічної води. Зокрема, в індустрії хімічних волокон або хлорній промисловості є обмеження за твердістю води до  $5,5 \text{ mM/dm}^3$ . Стічні води Бортницької станції аерації (БСА) під час механічного очищення проходять через ґратки, потім пісковловлювачі і подаються у первинний відстійник (ступінь I). В ньому розділяють суспензії, домішки, які легко спливають, і видаляють із первинного відстійника. Але основна стадія відбувається в аеротенках (ступінь II), де стічні води збагачують киснем та очищують з використанням біомаси. Біомасу подають на мулові майданчики, а частину мулу повертають назад в аеротенк. Далі воду очищують за допомогою фізико-хімічних методів, що доцільно для повного використання стічних вод. Після II ступеня очищення стічна вода має середній показник загальної твердості ( $5,3 \text{ mM/dm}^3$ ), що дозволяє її знову використовувати. Під час застосування реагентів загальна твердість може знизуватись до  $4,21 \text{ mM/dm}^3$ , подальшого зниження твердості води до  $1,9 \text{ mM/dm}^3$  для використання в замкнутому циклі неможливо досягнути лише сорбентами, оскільки вони призначені переважно для вилучення органіки. Застосування нових реагентів та технологій водоочищення спрямовано на вирішення цієї проблеми. У Київському політехнічному інституті ім. Ігоря Сікорського розроблені інгібітор корозії для водних систем (ІКВС-2) та реагент комплексної дії “Акватон-10” з дезінфікувальними властивостями. Однак ефективність цих інгібіторів та механізм їх дії в умовах корозії і накипоутворення у біологічно очищеній воді детально не вивчали.

Мета роботи – визначити корозивність біологічно очищеної стічної води, протикорозійну та протинакипну ефективність екологічних інгібіторів для використання доочищеної води у рециркуляційних системах.

**Методика дослідження.** У дослідженнях використовували біологічно очищену стічну воду блока № 1 БСА I і II ступеня, яку відбирали для експериментів у зимовий та літній періоди. Усереднені показники складу води наведені в табл. 1.

На корозійну агресивність води загальної твердості та лужності, крім хлорид-і сульфат-йонів, впливає також і окиснюваність, пов’язана з наявністю здатних окиснюватись органічних і неорганічних речовин (зокрема гумінових і фульвових кислот та їх солей, жирів різного походження, білків, окремих домішок промислового походження тощо).

Склад модельної м’якої води, яку використовували для отримання поляризаційних характеристик, такий ( $\text{mg/dm}^3$ ):  $\text{NaCl} - 10$ ,  $\text{MgSO}_4 - 50$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4 - 192$ ,  $\text{NaHCO}_3 - 8$ ,  $\text{CaCl}_2 - 10$ , загальний солеміст – 410; твердість –  $1,14 \text{ mM/dm}^3$ ; рН – 6,4...6,9.

Досліджували вплив інгібітора ІКВС-2 (комбінація на основі діетаноламіна та фосфатних сполук [6]) та реагенту “Акватон-10” на корозію маловуглецевої сталі 20 та 08кп і накипоутворення за періодичного нагріву та охолодження води. “Акватон-10” – реагент на основі полігексаметиленгуанідин гідрохлориду (ПГМГ ГХ), який використовують для знезараження та очищення питної води, стічних вод, оборотної технічної води. Він має високі дезінфікувальні властивості стосовно багатьох мікроорганізмів [7, 8], а також низьку токсичність. Відомо, що функціональні групи ПГМГ ГХ по-різному взаємодіють з неорганічними йонами, утворюючи комплексні сполуки типу хелатів або полімерні солі, які мо-

жуть випадати в осад. Але його протикорозійні і особливо протинакипні властивості вивчені недостатньо.

**Таблиця 1. Усереднені показники складу стічної води Бортицької станції аерації та водопровідної води м. Києва**

Параметри	Стічна вода до очищення	Стічна вода II ступеня після біологічного очищення	Водогінна вода
pH	7,07	7,37	7,5...8
Твердість, мМ/dm <sup>3</sup>	–	4,82	4,15...4,9
Хлориди, мг/dm <sup>3</sup>	128,8	87,7...120	16...18
Сульфати, мг/dm <sup>3</sup>	20,9	83,5	10...20
Нітрити, мг/dm <sup>3</sup>	–	1,12	0,006 – 0,014
Нітрати, мг/dm <sup>3</sup>	–	57,7	–
Фосфати, мг/dm <sup>3</sup>	24,27	0,95	–
Залізо загальне, мг/dm <sup>3</sup>	2,48	0,13	0,1...0,13
Загальний солевміст, мг/dm <sup>3</sup>	1082	910	350...430
Біологічна потреба кисню (БПК-5)	574	12,7	–
Біологічна потреба кисню (БПК-20)	704	26,8	–
Хімічна потреба кисню (ХПК), мг O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	886	93,3	3,8...4,7

Сезонну корозійну активність стічної води, відібраної з блока № 1 БСА, визначали методом поляризаційного опору  $R_p$  [9–11] приладом P5126 у стаціонарних умовах за температури 25°C з використанням трьох розроблених герметизованих комірок на свіжозачищеній металевій поверхні одразу після відбору проб за методикою [11]. Для перерахунку поляризаційного опору на швидкість корозії використовували коефіцієнт 104  $\Omega \cdot \text{mm}/\text{year}$ , який встановили, порівнюючи з корозійною втратою маси цих же електродів.

Для корозійних випробувань за періодичного нагріву та охолодження води використовували металеві зразки зі стрічки сталі 08кп товщиною 0,22 mm з розмірами робочої поверхні 60×5 mm з тонкою ніжкою для попарного їх кріплення на кришці. Стакан ємністю 0,35 dm<sup>3</sup> з досліджуваною водою кімнатної температури накривали кришкою з трьома парами зразків-електродів. До контактів електродів підключали індикатор поляризаційного опору P5126 і вимірювали  $R_p$  під час корозійних випробувань сталі 08кп за кімнатної температури та у нагрітій до 70...75°C воді. Після продовжували нагрів на водяній бані (95°C) упродовж 4...5 h для формування осадів і, припинивши його, знову вимірювали  $R_p$  та  $I_p$  за температури 70°C. Потім електроди виймали з води, висушували, зважували і зберігали в ексікаторі до наступного експерименту. Оскільки маса електродів за 5 h випробувань змінювалась в межах  $\pm 0,5...0,9$  mg, їх тричі зважували до та після експерименту на аналітичних вагах ВРЛ-200 для підвищення точності і усереднювали результат. Кожного разу використовували свіжі порції води. Така методика дала змогу оцінити протикорозійні та протинакипні властивості інгібіторів і

стійкість утвореного захисного шару. Обстежували поверхневі шари мікроскопом МБС-9.

**Результати та їх обговорення.** Встановлено, що усереднений склад води Бортницької станції аерації після біологічного доочищення за такими показниками, як сухий залишок, твердість, рН середовища, загальна лужність, вміст заліза, сульфатів, нітратів та хлоридів відповідає нормам ДСанПІН 2.2.4-171-10 “Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною”. Перевищення нормативів спостерігали за такими показниками: колірність води  $113^\circ$  – у 5,6 разів; мутність  $1,49 \text{ mg/dm}^3$  – у 2,6 рази; окиснюваність  $13 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$  – у 2,6 рази.

Швидкість корозії сталі 20 у стічній воді, виміряна у герметизованих комірках, має середньоквадратичне відхилення (СКВ) у межах 8...15%, що підтверджує її достовірність (табл. 2).

**Таблиця 2. Корозивність стічної води I і II ступеня очищення (mm/year), відібраної у зимовий та літній періоди, стосовно маловуглецевої сталі 20 за температури 25°C**

Відбір проб води	Ступінь очищення	$I_p$ середня, mm/year	СКВ, %
Зимовий період	I	0,130	14,8
	II	0,364	8,3
Літній період	I	0,124	15,8
	II	0,262	10,1

Більша корозивність води після II-го ступеня очищення, порівняно з водою I-го ступеня, пов'язана з тим, що під час її аерації зростає концентрація окисника – розчиненого кисню, який вводять в аеротенк для біохімічного очищення стічних вод. Слід зазначити, що після відстоювання у лабораторії впродовж 10 days корозивність води обох ступенів очищення практично зрівнялась до 0,23...0,24 mm/year. Корозивність води у літній період загалом дещо знижена через те, що температура середовища підвищується і, відповідно, вміст розчиненого кисню в ній менший.

Досліджували вплив інгібіторів ІКВС-2 та Акватон-10 на корозійні процеси на основі парціальних поляризаційних кривих, використовуючи модельну та водогінну води, оскільки вони мають сталіший склад (рис. 1, 2).

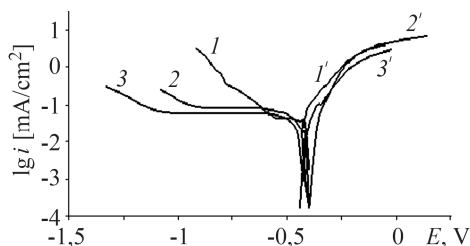


Рис. 1. Поляризаційні криві сталі 20 у водопровідній воді кімнатної температури за концентрації інгібітора ІКВС-2 ( $\text{mg/dm}^3$ ): 1, 1' – 0; 2, 2' – 37,5; 3, 3' – 50 (потенціали визначені стосовно хлоридсрібного електрода порівняння).

Fig. 1. Polarization curves of steel 20 in tap water at room temperature with ICWS-2 inhibitor concentration ( $\text{mg/dm}^3$ ): 1, 1' – 0; 2, 2' – 37,5; 3, 3' – 50 (potentials are determined regarding a silver chloride reference electrode).

В обох випадках корозія контролюється стадією дифузійного відновлення кисню, проте перебіг парціальних корозійних реакцій у воді з дослідженими інгібіторами дещо відрізняється. Потенціал вільної корозії  $E_{\text{сонт}}$  знаходиться в межах  $-0,5...-0,45 \text{ V}$  (стосовно хлоридсрібного електрода в насиченому KCl) за кімнат-

ної температури і не залежить від концентрації інгібіторів. У воді без інгібітора ІКВС-2 область граничного дифузійного струму (рис. 1, крива 1) знаходиться поблизу потенціалу вільної корозії в межах  $-0,6...-0,4$  V. З підвищенням концентрації інгібітора ця область суттєво розширюється до  $-1,1$  V (рис. 1, крива 3) внаслідок гальмування реакції виділення водню під час розпаду молекул води.

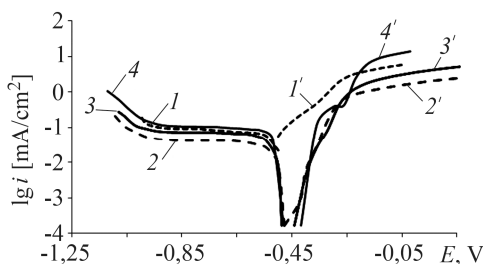
Наявність реагенту Акватон-10 (рис. 2) не впливає на граничний дифузійний струм навіть за підвищення його концентрації до  $50 \text{ mg/dm}^3$ . Швидкість парціальної анодної реакції в присутності інгібітора ІКВС-2 практично не залежить від його концентрації, на відміну від поведінки маловуглецевої сталі з реагентом Акватон-10, підвищення концентрації якого від  $2,5$  до  $10 \text{ mg/dm}^3$  зі збільшенням анодної поляризації пришвидшує процес майже на порядок (рис. 2, криві 2–4). Очевидно, на це у м'якій воді впливають аніони СГ, які наявні у молекулі та активують поверхню металу.

Інгібітор ІКВС-2 у малих концентраціях діє за адсорбційним механізмом, тому мало впливає на процеси, які контролюються дифузією, і гальмує реакцію розряду молекул води за збільшення катодної поляризації.

Стосовно гальмування корозійних процесів полігексаметиленгуанідинами відомо, що механізм пов'язаний переважно з блокуванням поверхні, причому інгібувальний ефект більше проявляється в кислих середовищах зі застосуванням значно вищих концентрацій [12, 13].

Рис. 2. Поляризаційні криві сталі 20 у м'якій воді з різною концентрацією реагенту Акватон-10 ( $\text{mg/dm}^3$ ): 1, 1' – 0; 2, 2' – 2,5; 3, 3' – 5; 4, 4' – 10.

Fig. 2. Polarization curves for steel 20 in soft water with different concentration of Aquaton-10 reagent ( $\text{mg/dm}^3$ ): 1, 1' – 0; 2, 2' – 2,5; 3, 3' – 5; 4, 4' – 10.



Оскільки кінетика парціальних поляризаційних кривих для обох інгібіторів відрізняється несуттєво, механізм гальмування корозії не розкритий повною мірою, а тому доцільно дослідити динаміку утворення захисної плівки методом поляризаційного опору. Результати дослідження впливу інгібіторів та температури середовища на корозію сталі 08кп у стічній воді в умовах періодичного нагріву і охолодження цим методом наведені на рис. 3. Як видно з діаграм, за температури  $18^\circ\text{C}$  швидкість корозії  $I_p$  сталі у воді зимового періоду без інгібітора (рис. 3a) вища, ніж у літній (рис. 3c), як і за вимірів корозивності води у герметизованій комірці.

У стічній воді без інгібіторів за температури  $18^\circ\text{C}$  плівка не має захисних властивостей, оскільки швидкість корозії зростає з часом. З підвищенням температури до  $70^\circ\text{C}$  (рис. 3b, d) швидкість корозії  $I_p$  закономірно зростає у 5–6 разів. Наявність інгібіторів суттєво її знижує: так, за кімнатної температури коефіцієнт гальмування корозії  $\gamma = I_0/I_{\text{inh}}$ , визначений за середніми показниками, з інгібітором ІКВС-2 становить 2,97, а з Акватон-10 – 1,7. За підвищеної температури  $\gamma$  дещо знижується: з ІКВС-2  $\gamma = 2,57$ , з Акватон-10 – 1,51.

Захисну властивість і стійкість поверхневого шару, утвореного на зразках за нагріву води ( $95 \pm 2^\circ\text{C}$ ), можна проаналізувати за результатами зміни коефіцієнта гальмування корозії (рис. 4) та ступенів захисту  $Z$  (%), визначеного за вимірами поляризаційного опору та  $I_p$ . У стічній воді без інгібіторів швидкість корозії досягає  $0,2...0,5 \text{ mm/year}$  і показники  $I_p$  суттєво коливаються через те, що утворений шар продуктів корозії нерівномірний і має погане зчеплення з поверхнею. Тому і

на графіках з інгібіторами значення  $\gamma$  також коливаються. Проте у воді з інгібіторами швидкість корозії поступово знижується, причому з Акватон-10 досягає значень  $I_p = 0,07$  mm/year. Тобто з часом захисна плівка ущільнюється, а коефіцієнт гальмування корозії збільшується. Розраховані показники ступеня захисту сталі від початку до кінця експозиції для обох інгібіторів становили: 49...77% для ІКВС-2; 44...55% для Акватона-10. Оскільки ступінь захисту  $Z$  пов'язаний з блокуванням поверхні речовиною, то можна зробити висновок, що механізм гальмування корозії залежить від блокування поверхні інгібітором.

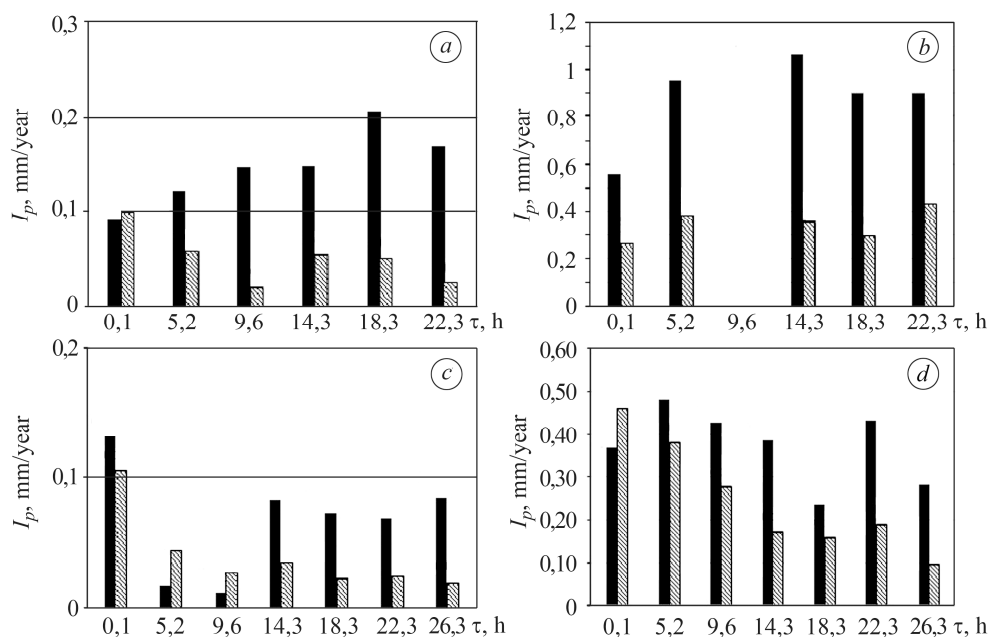


Рис. 3. Порівняння швидкості корозії  $I_p$  сталі 08кп у стічній воді зимового періоду за формування захисної плівки з інгібітором ІКВС-2 ( $10 \text{ mg/dm}^3$ ) (a, b) та літнього періоду з інгібітором Акватон-10 ( $5 \text{ mg/dm}^3$ ) (c, d) за різних температур: a, c –  $18^\circ\text{C}$ ; b, d –  $70^\circ\text{C}$  (■ – без інгібітора; ▨ – з ним).

Fig. 3. Comparison diagrams for steel 08kp corrosion rate  $I_p$  in the wastewater of winter period when forming a protective film with the ICWS-2 inhibitor ( $10 \text{ mg/dm}^3$ ) (a, b) and in summer with Aquaton-10 inhibitor ( $5 \text{ mg/dm}^3$ ) at different temperatures: a, c –  $18^\circ\text{C}$ ; b, d –  $70^\circ\text{C}$  (■ – without inhibitor; ▨ – with inhibitor).

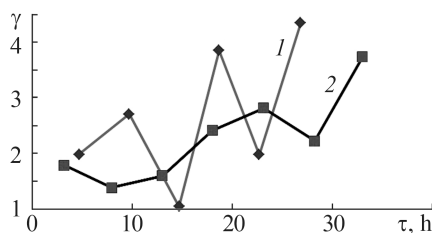


Рис. 4. Залежність коефіцієнта гальмування корозії під час утворення захисної плівки від тривалості випробувань після витримки за температури  $95^\circ\text{C}$ : 1 – ІКВС-2 ( $10 \text{ mg/dm}^3$ ); 2 – Акватон-10 ( $5 \text{ mg/dm}^3$ ).

Протинакипні властивості реагентів досліджували, визначаючи питомий приріст маси накипу і поверхневих осадів під час випробувань (рис. 5). Твердість води у зимовий і літній періоди суттєво відрізнялась. У зимовий період вона становить  $5,25 \text{ mM/dm}^3$ , а у літній –  $4,82 \text{ mM/dm}^3$ . Після витримки за підвищеної

температури (95°C) вона знижувалась до 4,4 mM/dm<sup>3</sup>. У воді літнього періоду приросту маси осадів не спостерігали (рис. 5, крива 3) вірогідно через те, що швидкість корозії дещо перевищувала приріст маси накипу. У присутності ІКВС-2 питома маса осадів майже не змінювалась, що вказує на його протинакипні властивості. Питома маса поверхневих осадів у присутності Аквадону-10 зростала з часом лінійно (рис. 5, крива 4).

Відомо, що за високої постійної твердості оборотної води, яка зумовлена сульфатом кальцію, її випаровування в циклі може призвести до перевищення розчинності карбонату кальцію і утворення стійких карбонатних осадів, які дуже важко вилучити зі стінок труб та теплообмінників. Допустима швидкість відкладення карбонату кальцію та інших солей не повинна перевищувати 0,25 g/(m<sup>2</sup>·h) [14]. Як видно з графічної залежності, швидкість відкладення осаду у стічній воді з Аквадоном-10 становить 0,114 g/(m<sup>2</sup>·h), тобто майже у 2 рази менша. Вірогідно, що і за триваліших випробувань цей реагент не сприятиме збільшенню осадів за умови середнього показника загальної твердості води.

Рис. 5. Питомий приріст маси поверхневих осадів у біологічно очищеній воді зимового (1, 2) та літнього (3, 4) періодів:  
1, 3 – вода без реагентів;  
2 – вода з 10 mg/dm<sup>3</sup> ІКВС-2;  
4 – вода з 5 mg/dm<sup>3</sup> Аквадону-10.

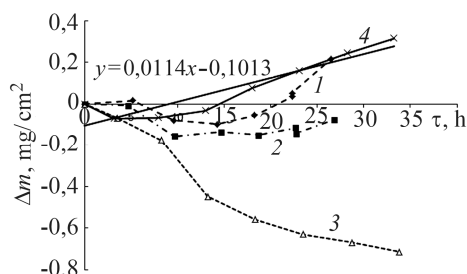


Fig. 5. Specific increase of surface deposits mass in biologically treated water of winter (1, 2) and summer (3, 4) periods: 1, 3 – water without reagents; 2 – water with 10 mg/dm<sup>3</sup> of ICWS-2; 4 – water with 5 mg/dm<sup>3</sup> of Aquaton-10.

Під час мікроскопічного обстеження поверхні після корозійних випробувань побачили, що у воді без інгібіторів корозія мала нерівномірний характер з великою кількістю ділянок виразкової і точкової корозії. За наявності ІКВС-2 поверхня зразків вкрита рівномірною плівкою сірого кольору з незначною кількістю дрібних кристалів карбонату кальцію. Корозійні осередки на зразках сталі в присутності Аквадону-10 здебільшого зосереджені на бокових межах зразків. На поверхні розгалужені нерівномірно розташовані нитчасті утворення білого кольору і окремі невеликі ділянки з кристалічним осадом.

За результатами досліджень запропоновано механізм гальмування корозії у воді в присутності полімерного біоцидного реагенту Аквадону-10, який пов'язаний з блокуванням поверхні захисною плівкою. Крім того, значну роль у гальмуванні корозії відіграють неорганічні нерозчинні сполуки (карбонати, гідроксиди), які можуть утворюватись з тими ж катіонами та компонентами води – аніонами карбонату.

### ВИСНОВКИ

Запропоновано методику дослідження протикорозійних та протинакипних властивостей інгібіторів ІКВС-2 та Аквадону-10 і стійкості утвореного захисного шару за періодичного нагріву та охолодження стічної води. Досліджено перебіг парціальних катодних і анодних реакцій на маловуглецевій сталі і встановлено, що зі збільшенням концентрації ІКВС-2 до 50 mg/dm<sup>3</sup> зростає ділянка граничного дифузійного струму внаслідок гальмування реакції виділення водню при розпаді молекул води. Збільшення концентрації Аквадону-10 до 50 mg/dm<sup>3</sup> не впливає на катодний процес відновлення кисню, але пришвидшує анодну реакцію через

наявність у реагенті активувального аніону  $\text{Cl}^-$ . Наявність ІКВС-2 практично не впливає на струм анодного розчинення сталі. Встановлено, що за температури  $18^\circ\text{C}$  для ІКВС-2 ( $10 \text{ mg/dm}^3$ ) коефіцієнт гальмування корозії  $\gamma = 3$ , а для Акватоно-10 –  $1,7$ . За підвищеної температури  $70^\circ\text{C}$   $\gamma$  дещо знижується: з ІКВС-2  $\gamma = 2,6$ , з Акватоном-10  $\gamma = 1,5$ . В умовах витримки за підвищених температур утворена захисна плівка з часом ущільнюється і коефіцієнт гальмування корозії збільшується до  $3 \dots 3,5$ . Зростання ступеня захисту поверхні з часом свідчить про механізм гальмування корозії через блокування поверхні інгібітором. Виявлено, що інгібітори ІКВС-2 та Акватоно-10 мають протинакипні властивості.

1. *Biochar for waste management and environmental sustainability* / M. Vithanage, A. U. Rajapaksha, M. Ahmad, Y. Shinogi, K. H. Kim, G. Kim, and Y. S. Ok // *Sustainable Solid Waste Management*. – 2016. – P. 273–291.
2. The risks associated with wastewater reuse and xenobiotics in the agroecological environment / D. Fatta-Kassinos, I. K. Kalavrouziotis, P. H. Koukoulakis, and M. I. Vasquez // *Sci. of the Total Environment*. – 2011. – **409**, № 19. – P. 3555–3563.
3. *Donde O. O. and Bangding X.* Understanding wastewater treatment mechanisms: a review on detection, removal, and purification efficiencies of faecal bacteria indicators across constructed wetlands // *Environmental Reviews*. – 2017. – **25**, № 4. – P. 444–451.
4. Efficacy of macrophyte dominated wastewater inclosure as post-treatment alternative in domestic wastewater quality polishing for eradication of faecal pathogenic bacteria pollution / O. O. Donde, T. Cuicui, T. Yingying, and X. Bangding // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2018. – **114**. – P. 192–205.
5. *Disinfection of urban wastewater by solar driven and UV lamp –  $\text{TiO}_2$  photocatalysis: effect on a multi drug resistant escherichia coli strain* / L. Rizzo, A. Della Sala, A. Fiorentino, and G. Li Puma // *Water Research*. – 2014. – **53**. – P. 145–152.
6. *Інгібітор корозії металів і сплавів для замкнутих водних рециркуляційних систем НПЗ* / Ю. Я. Богатчук, С. П. Лейтар, А. М. Денисюк, В. А. Кошій // Міжнар. наук.-техн. конф. “Прогрес в технології горючих копалин та хімотології паливно-мастильних матеріалів”. – Дніпропетровськ, 2005. – С. 33–35.
7. *Ефимов К. М.* Полиалкиленгуанидины – экологически безопасные биоцидные полимеры и вспомогательные материалы // *Барьер безопасности: экол. журн.* – 2004. – № 1. – С. 6–8.
8. *Асоціація іонів металів з водорозчинним полігексаметиленгуанідином солянокислим* / Ю. В. Нижник, Т. Ю. Нижник, М. А. Малишева, І. М. Астрелін // *Вопр. химии и хим. технологии*. – 2006. – № 6. – С. 120–124.
9. *Чвірук В. П., Поляков С. Г., Герасименко Ю. С.* Електрохімічний моніторинг техногенних середовищ. – К.: Академперіодика, 2007. – 332 с.
10. *Gallegos A. A., Martinez S. S., and Ramirez Reyes J. L.* Evaluation of water corrosivity using a corrosion rate model for a cooling water system // *J. of New Mater. for Electrochem. Systems*. – 2005. – № 8. – P. 133–142.
11. *Сравнительные характеристики коррозионной активности воды* / И. М. Астрелин, Ю. С. Герасименко, Н. А. Белоусова, И. В. Косогина // *Вісник Черкаськ. держ. технол. ун-ту*. – 2019. – № 4. – С. 71–78.
12. *Rubl'ova E. D., Obratsov V. B., and Danylov F. I.* Influence of the pH value of the medium on the inhibition of corrosion in steel modified by polyhexamethylene guanidines // *Materials Science*. – 2017. – **52**, № 5. – P. 620–626.
13. *Вплив полігексаметиленгуанідину на електрохімічну та корозійну поведінку заліза у сірчано-кислих електролітах* / Ю. П. Вишнеvsька, Т. Ю. Нижник, Д. А. Ткаленко, І. М. Астрелін // *Доп. НАН України*. – 2008. – № 8. – С. 121–126.
14. *Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении* / А. М. Кога-новський, Н. А. Клименко, Т. М. Левченко, Р. М. Марутовский, И. Г. Рода. – М.: Химия, 1983. – 288 с.

Одержано 17.02.2020