

ЕКОЛОГІЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 579.2:620.193.92

ВЕМБЕР В. В., к.б.н., доцент; НОСАЧОВА Ю. В., к.т.н., доцент; ЛЕВЧУК Т.А., магістрант;
КОСМИНА М. М., магістрант

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПРОТІКАННЯ ПРОЦЕСІВ КОРОЗІЇ В ДЕМІНЕРАЛІЗОВАНОМУ ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ В ПРИСУТНОСТІ КЛІТИН БАКТЕРІЙ

Вивчено вплив іонів перехідних *d*-металів (Zn^{2+} та Cr^{3+}) окремо та в композиції з антискалантами – оксиетилендифосфоновою кислотою (ОЕДФК) та нітрилотриметилфосфоновою кислотою (НТМФК), на протікання біологічної корозії в демінералізованих водних середовищах. Показано, що присутність мікроорганізмів має суттєвий вплив на процеси корозії, модифікуючи протикорозійний ефект йонів перехідних металів та змінюючи навіть напрямок протікання корозійних процесів. Діапазон коливань ступеню захисту від корозії в присутності бактерій роду *Pseudomonas* виявився більшим, ніж для бактерій роду *Bacillus*, але для обох штампів динаміка захисного ефекту характеризувалася значними змінами (зменшенням, а згодом – поступовим збільшенням ступеню захисту від корозії). Найбільша інтенсивність корозійних процесів у випадку додавання до модельного середовища бактеріальних клітин в композиції з протикорозійними агентами, зареєстрована протягом першого тижня взаємодії, тоді як в подальшому їхній рівень знижувався і спостерігався навіть незначний захисний ефект, який не перевищував 36%, а в більшості випадків залишався на рівні 5-15%. Виявлено, що протикорозійні композиції, до складу яких входила НТМФК викликали більш значне підвищення рівня корозії в модельному середовищі в присутності мікроорганізмів.

Ключові слова: швидкість корозії, вуглецева сталь, інгібітори, метали, фосфонові кислоти, мікроорганізми

DOI: 10.20535/2617-9741.4.2020.219784

© Вембер В. В., Носачова Ю. В., Левчук Т. А., Космина М. М., 2020.

Постановка проблеми. Кожен промисловий об'єкт або виробництво наділені комплексом техногенних властивостей, які обумовлюють потенційно небезпечний рівень антропогенних змін природного середовища. Численні дослідження показали, що будівництвом очисних споруд неможливо повністю вирішити задачу по запобіганню забрудненню об'єктів гео- та біосфери. Одною з основних умов прискорення темпів впровадження ресурсоефективного виробництва є розробка нових інженерно-екологічних принципів проектування і створення промислових виробництв, що відповідають вимогам максимальної екологічної безпеки. Рационалізацію використання природних вод в промисловості може в ряді випадків забезпечити утворення повністю замкнутих систем водного господарства. Свіжа вода використовується в таких системах тільки для поповнення втрат. Для попередження інкрустації, корозії, біологічного обростання частина оборотної води виводиться з системи (продувочна вода), при цьому додають свіжу воду з джерела або очищені стічні води.

У теплоенергетичній галузі важливо уникнути появи накипу в котлах і мінімізувати втрати тепла. Мембранні технології дозволяють це зробити, крім того, вони знижують витрати на виробництво, так як не вимагають застосування великої кількості хімічних реагентів та технологічних операцій, не займають багато площ. Є ще багато галузей, де доцільно застосовувати технологію зворотного осмосу. Це, наприклад, металургія, машинобудування, опріснення морської води, очищення стічних вод, електроніка та багато інших. Після зворотного осмосу перміат зазвичай характеризується зниженими значеннями рН. Це пов'язано з видаленням гідрокарбонат-іонів, які за рахунок часткового гідролізу надають воді лужну реакцію. Крім того, оскільки

розчинений вуглекислий газ, не видаляється осмотичною мембраною, він також обумовлює зниження рН очищеної води. Саме тому, корозійні процеси в таких середовищах досить активні. До недавнього часу в якості інгібіторів корозії та компонентів композицій реагентної обробки оборотних водних систем застосовувалися в основному неорганічні сполуки: хромати, ортофосфати, нітрити, ортосилікати – анодні інгібітори; поліфосфати, цинк, молібдати, полісилікати – катодні інгібітори. Але дослідження останніх років виявили більш високу ефективність органічних інгібіторів щодо корозійних процесів, оскільки останні демонструють більшу надійність для систем водопостачання при постійній зміні багатьох агресивних факторів [1-9].

Аналіз попередніх досліджень. Отримані нами раніше результати свідчать про доцільність врахування можливості існування мікробіологічного забруднення в замкнутих та оборотних системах охолодження та водопостачання з огляду на вплив мікробних клітин на процеси корозії, які там відбуваються. Результати проведених досліджень продемонстрували можливість іонів перехідних металів виступати в якості регуляторів та модифікаторів ростових процесів мікроорганізмів, які знаходяться в умовах осмотичного стресу та голодування [10].

Тому **метою даної роботи** стало вивчення впливу іонів перехідних *d*-металів (Zn^{2+} та Cr^{3+}) як окремо, так і в присутності відомих антискалантів – оксиетилендифосфонової кислоти (ОЕДФК) та нітрлотриметилфосфонової кислоти (НТМФК) на протікання біологічної корозії в демінералізованих водних середовищах.

Методи досліджень. Для дослідження процесів біокорозії було обрано бактерії, які мають різну систематичну приналежність, відносяться до різних фізіологічних груп та мають протилежні типи життєвих стратегій. Вони значно відрізняються можливостями виживання в умовах впливу різноманітних факторів. Можуть існувати в замкнених системах водоспоживання (при різких температурних змінах, кисневому голодуванні, наявності токсичних речовин, для кондиціонування води):

Bacillus – рід паличковидних грам-позитивних бактерій. Види *Bacillus* є або облігатними, або факультативними аеробами, позитивні за ферментацією каталази. Усюдишні в природі, за несприятливих умов клітини виробляють овальні ендоспори, які можуть залишитися бездіяльними протягом тривалого періоду, що значно підвищує стійкість представників даного роду до різноманітних факторів.

Pseudomonas – рід паличковидних грам-негативних бактерій. Є аеробами, тобто використовують кисень як кінцевий акцептор електронів. У деяких випадках альтернативним акцептором електронів може слугувати нітрат, що забезпечує анаеробний ріст. Зазвичай хемоорганотрофи (деякі види - факультативні автотрофи). Більшість мають один або кілька джгутиків і тому описуються як рухомі (здатні пересуватися з місця на місце). Багато з них можуть виробляти екзополісахариди, відомі як слиз. Виробництво слизу сприяє колонізації поверхонь в вигляді біоплівки, які важко видаляти з поверхонь.

Pseudomonas мають здатність метаболізувати різноманітні поживні речовини. Комбінуючи це із здатністю формувати біоплівки, вони можуть виживати в різноманітних, несприятливих для зростання інших видів бактерій, місцях.

Bacillus та *Pseudomonas* культивували на загальноживаних агаризованих середовищах, після чого готували клітинну суспензію. Для всіх використаних штамів бактерій засівна доза становила 10^8 клітин/см³ та визначалась з використанням методів турбідометричного контролю та бактеріальних стандартів густини.

Вплив мікроорганізмів на процеси корозії проводили в стаціонарних біореакторах об'ємом по 125 мл. Як модельне середовище використовували розчин 0,1% NaCl, в який додавали інгібітори корозії та іони *d*-металів Zn^{2+} та Cr^{3+} та ОЕДФК та НТМФК з концентрацією 5 мг/дм³. На кожному етапі приготування суспензії ретельно перемішувалась, після чого в реактор вносили зразки металу у вигляді електродів таким чином, щоб вся поверхня електроду була повністю занурена у воду. Зразки металу виготовлені з вуглецевої сталі Ст-20. Кожне дослідження модельної води з металевими пластинками, складало 3 тижні.

Швидкість біологічної корозії визначали гравіметричним методом. Розраховували коефіцієнт гальмування (*j*) та ступінь захисту від корозії (*Z*, %) зразків в присутності інгібіторів корозії та бактерій.

Для обговорення отриманих результатів, користувалися наступними показниками:

Масовий показник корозії розраховували за формулою:

$$K_m = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot \tau}, \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}, \quad (1)$$

де m_1 – маса сталевієї пластини до експерименту, г,

m_2 – маса сталевієї пластини після видалення продуктів корозії, г,

S – площа поверхні пластини, м²,

τ – час, год.

Глибинний показник корозії розраховували за формулою:

$$K_n = 8,76 \cdot \frac{K_m}{\rho} \quad (2)$$

Струмовий показник

$$m_{ic} = F \cdot K_n \cdot \frac{n}{A} \quad (3)$$

де F – стала Фарадея $26,8, \frac{A \cdot \text{год}}{\text{г-екв}}$, n – заряд іону, що утворюється внаслідок корозії, A – атомна маса металу (для заліза даний показник складає 55,85)

Коефіцієнт зниження швидкості корозії (γ):

$$\gamma = \frac{m_{ic}}{m_{ic}'} \quad (4)$$

де m_{ic} струмовий показник досліджуваного розчину, m_{ic}' струмовий показник вихідного розчину.

Коефіцієнт зниження швидкості корозії (j) визначався відношенням середнього поляризаційного опору ($R_{p_{cp}}$) досліджуваного розчину до середнього поляризаційного опору ($R_{p_{cp}^0}$) вихідного розчину:

$$j = \frac{R_{p_{cp}}}{R_{p_{cp}^0}} \quad (5)$$

Ступінь захисту від корозії (Z , %) розраховували, виходячи із коефіцієнту зниження швидкості корозії, за формулою:

$$Z = \left(1 - \frac{1}{j}\right) \cdot 100 \quad (6)$$

Результати вимірювання отримувалися усередненням даних з 4-х паралельних дослідів.

Виклад основного матеріалу. Крім корозії та накипоутворення в трубопроводах існує проблема біообростання та біокорозії. Мікроорганізми ускладнюють аналізовану систему, вносячи туди широкий спектр елементів, кожен з яких взаємодіє як один з одним, так і з металом. Подібні системи погано піддаються аналізу і прогнозуванню, але інтерес до їх вивчення в світі з кожним роком зростає. Тому на наступному етапі роботи була зроблена спроба оцінити вплив мікробіологічної складової на проходження процесу корозії.

Було досліджено вплив бактерій *Bacillus sp.* та *Pseudomonas sp.* на швидкість корозії сталі Ст-20 у присутності фосфонових стабілізаторів накипоутворення ОЕДФК та НТМФК та іонів перехідних металів Cr^{3+} та Zn^{2+} . Результати досліджень наведено в таблицях 1–6.

Таблиця 1 – Вплив бактерій *Bacillus sp.* на швидкість корозії сталі Ст-20 у присутності фосфонових стабілізаторів ($T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$)

Інгібітор	Час корозії, год	Швидкість корозії, середній показник		Коефіцієнт зниження швидкості корозії, j	Ступінь захисту від корозії, Z , %
		$z/(m^2 \cdot \text{год})$	мм/рік		
bact	168	0,0065	0,0073	--	--
bact + ОЕДФК		0,0096	0,0107	0,677	-47,7
bact + НТМФК		0,0145	0,0162	0,448	-123
bact	336	0,01	0,0111	--	--
bact + ОЕДФК		0,0064	0,0072	1,563	36
bact + НТМФК		0,0092	0,0103	1,087	8
bact	504	0,0121	0,0135	--	--
bact + ОЕДФК		0,012	0,0134	1,008	0,8
bact + НТМФК		0,0104	0,0116	1,163	14

Як видно з таблиці 1, присутність спороутворюючих бактерій *Bacillus sp.* в модельному середовищі призводило до зростання швидкості корозії за залежністю, наближеною до лінійної. Додавання до бактеріальної суспензії лише фосфонових кислот призводило до суттєвого (на 48-123%) зростання швидкості корозійних процесів протягом першого тижня експерименту. Протягом 2-го та 3-го тижнів експозиції металу у модельному середовищі, швидкість корозії зменшувалась до початкового рівня, який спостерігався в середовищі без додавання фосфонових кислот.

Подібні закономірності протікання процесу корозії зберігалися і при доповненні фосфонових кислот іонами хрому (III) (табл. 2): протягом першого тижня спостереження інтенсивність протікання корозійних процесів збільшувалась, а протягом другого та третього тижнів поступово поверталася до рівня, який спостерігався без додавання протикорозійних агентів.

Таблиця 2 – Вплив бактерій *Bacillus sp.* на швидкість корозії сталі Ст-20 у присутності фосфонових стабілізаторів та іонів Cr^{3+} (T = 25 °C)

Інгібітор	Час корозії, год	Швидкість корозії, середній показник		Коефіцієнт зниження швидкості корозії, j	Ступінь захисту від корозії, Z, %
		г/(м ² ·год.)	мм/рік		
bact	168	0,0077	0,0085	--	--
bact + ОЕДФК + Cr ³⁺		0,008	0,009	0,963	-3,8
bact + НТМФК + Cr ³⁺		0,0148	0,0166	0,52	-92,3
bact	336	0,0126	0,014	--	--
bact + ОЕДФК + Cr ³⁺		0,0096	0,0107	1,313	23,8
bact + НТМФК + Cr ³⁺		0,0092	0,0102	1,37	27
bact	504	0,0135	0,0151	--	--
bact + ОЕДФК + Cr ³⁺		0,0111	0,0123	1,216	17,8
bact + НТМФК + Cr ³⁺		0,0135	0,0151	1	0

Доповнення протикорозійної композиції іонами цинку (II) (табл. 3) суттєво не змінювало описаної раніше закономірності, проте характеризувалося найменшим розмахом змін у інтенсивності корозійних процесів, що відбувалися в модельному середовищі.

Потрібно відмітити, що найбільша інтенсивність корозійних процесів у випадку додавання до модельного середовища бактеріальних клітин в композиції з протикорозійними агентами, зареєстрована протягом першого тижня взаємодії, тоді як в подальшому їхній рівень знижувався і спостерігався навіть незначний захисний ефект, який не перевищував 36%, а в більшості випадків залишався на рівні 5-15%. Виявлено також, що протикорозійні композиції, до складу яких входила НТМФК викликали більш значне підвищення рівня корозії в модельному середовищі в присутності мікроорганізмів.

В модельному розчині з додаванням бактерій *Bacillus sp.* та при композиції фосфонових кислот з металами найкращі результати отримані на другому тижні експерименту по струмовому показнику, та найкращі результати на другому тижні дослідження по показнику захисту від корозії. А саме, взаємодія ОЕДФК з Cr³⁺ – на першому тижні дослідження змін відбуваються в напрямку активації процесу, взаємодія НТМФК з Cr³⁺ – ступінь захисту від корозії трохи краще на другому тижні.

Розглядаючи випадок з бактеріями роду *Pseudomonas*, які є активними деструкторами багатьох субстратів, спостерігалася активація корозійних процесів протягом усього терміну спостереження. Особливо вираженою дана активація була при контакті бактеріальних клітин з НТМФК (табл. 4-6).

Таблиця 3 – Вплив бактерій *Bacillus sp.* на швидкість корозії сталі Ст-20 у присутності фосфонових стабілізаторів та іонів Zn^{2+} (T = 25 °C)

Інгібітор	Час корозії, год	Швидкість корозії, середній показник		Коефіцієнт зниження швидкості корозії, j	Ступінь захисту від корозії, Z, %
		$z/(m^2 \cdot год.)$	мм/рік		
bact	168	0,0233	0,026	--	--
bact + ОЕДФК + Zn^{2+}		0,0241	0,0268	0,967	-3,4
bact + НТМФК + Zn^{2+}		0,0242	0,027	0,963	-3,8
bact	336	0,018	0,0201	--	--
bact + ОЕДФК + Zn^{2+}		0,0153	0,0171	1,176	15
bact + НТМФК + Zn^{2+}		0,0152	0,017	1,184	15,5
bact	504	0,0171	0,0191	--	--
bact + ОЕДФК + Zn^{2+}		0,0177	0,0197	0,966	-3,5
bact + НТМФК + Zn^{2+}		0,0163	0,0182	1,049	4,7

Діапазон коливань ступеню захисту від корозії в присутності бактерій роду *Pseudomonas* виявився більшим, ніж для бактерій роду *Bacillus*, але для обох штамів динаміка захисного ефекту характеризувалася значними змінами (зменшення, а згодом – поступове збільшення ступеню захисту від корозії).

Таблиця 4 – Вплив бактерій *Pseudomonas sp.* на швидкість корозії сталі Ст-20 у присутності фосфонових стабілізаторів (T = 25 °C)

Інгібітор	Час корозії, год	Швидкість корозії, середній показник		Коефіцієнт зниження швидкості корозії, j	Ступінь захисту від корозії, Z, %
		$z/(m^2 \cdot год.)$	мм/рік		
bact	168	0,018	0,0201	--	--
bact + ОЕДФК		0,0179	0,02	1,006	0,6
bact + НТМФК		0,0191	0,0214	0,942	-6,2
bact	336	0,014	0,0156	--	--
bact + ОЕДФК		0,0164	0,0183	0,854	-17,1
bact + НТМФК		0,0149	0,0167	0,94	-6,4
bact	504	0,0133	0,0148	--	--
bact + ОЕДФК		0,0763	0,0852	0,174	-474,7
bact + НТМФК		0,0713	0,0795	0,190	-516,3

Таблиця 5 – Вплив бактерій *Pseudomonas sp.* на швидкість корозії сталі Ст-20 у присутності фосфонових стабілізаторів та іонів Cr^{3+} ($T = 25\text{ }^{\circ}C$)

Інгібітор	Час корозії, год	Швидкість корозії, середній показник		Коефіцієнт зниження швидкості корозії, j	Ступінь захисту від корозії, Z, %
		$z/(m^2 \cdot год.)$	мм/рік		
bact	168	0,0028	0,0031	--	--
bact + ОЕДФК + Cr^{3+}		0,0046	0,0051	0,609	-64,2
bact + НТМФК + Cr^{3+}		0,0095	0,0106	0,295	-239
bact	336	0,0063	0,007	--	--
bact + ОЕДФК + Cr^{3+}		0,007	0,0078	0,9	-11,1
bact + НТМФК + Cr^{3+}		0,0081	0,009	0,778	-28,5
bact	504	0,0092	0,0103	--	--
bact + ОЕДФК + Cr^{3+}		0,0092	0,0103	1	0
bact + НТМФК + Cr^{3+}		0,0087	0,0097	1,057	5,4

Таблиця 6 – Вплив бактерій *Pseudomonas sp.* на швидкість корозії сталі Ст-20 у присутності фосфонових стабілізаторів та іонів Zn^{2+} ($T = 25\text{ }^{\circ}C$)

Інгібітор	Час корозії, год	Швидкість корозії, середній показник		Коефіцієнт зниження швидкості корозії, j	Ступінь захисту від корозії, Z, %
		$z/(m^2 \cdot год.)$	мм/рік		
bact	168	0,0015	0,0017	--	--
bact + ОЕДФК + Zn^{2+}		0,0022	0,0024	0,682	-46,6
bact + НТМФК + Zn^{2+}		0,0033	0,0036	0,455	-119,8
bact	336	0,0064	0,0072	--	--
bact + ОЕДФК + Zn^{2+}		0,0055	0,0062	1,164	14,1
bact + НТМФК + Zn^{2+}		0,0059	0,0066	1,085	7,8
bact	504	0,0086	0,0096	--	--
bact + ОЕДФК + Zn^{2+}		0,0099	0,011	0,869	-15,1
bact + НТМФК + Zn^{2+}		0,0085	0,0094	1,012	1,2

Як видно з представлених таблиць, присутність мікроорганізмів значно впливала на процеси корозії, модифікуючи протикорозійний ефект йонів важких металів та змінюючи, навіть, напрямок протікання корозійних процесів. Окрім того, нами спостерігався ефект нерівномірного впливу та нелінійних змін в інтенсивності протікання корозійних процесів протягом трьох тижнів спостереження.

В цілому потрібно відмітити, що присутність у модельному середовищі ОЕДФК призводила до слабшої стимуляції корозійних процесів, ніж додавання НТМФК. Що стосується впливу на мікробіологічну корозію йонів важких металів, то їхній протикорозійний ефект у присутності фосфонових кислот не проявив значної специфічності.

Виявлені ефекти впливу мікроорганізмів на процеси корозії пов'язані, скоріше за все, з їхньою здатністю ритмічно виділяти в навколишнє середовище велику кількість метаболітів різної природи, а також закріплюватись на поверхні підводних об'єктів, призводячи до зміни властивостей та характеристик їхньої поверхні. Важливою є стохастичність даних процесів, що пов'язано з численною системою складних двосторонніх взаємовпливів між клітинами бактерій та кожним елементом/фактором, який присутній в системі. Отже, необхідно враховувати можливість суттєвого впливу мікробних клітин, певна кількість яких завжди присутня в оборотних замкнених системах водопостачання, не лише на якість води, але і на процеси корозії, що там відбуваються.

Висновки. Дослідження впливу мікроорганізмів на проходження процесу корозії продемонструвало їхню можливість суттєво впливати на процеси корозії. Бактерії можуть суттєво активувати процеси корозії, що ускладнює дію інгібіторів.

Список використаної літератури

1. *Shabliy T., Nosachova J., Radovenchik Y., Vember V.* Study of effectiveness of heavy metals ions as the inhibitors of steel corrosion. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017. 4/12 (88). P. 10-16. doi: 10.15587/1729-4061.2017.106974.
2. *Гомеля М. Д., Носачова Ю. В.* Створення добавок для забезпечення ресурсозбереження в системах охолодження. *Наукові вісті НТУУ*, 2004. №5. С. 101 – 105.
3. *Gomelya, N. D., Shabliy, T. A., Trohymenko, A. G., & Shuryberko, M. M.* (2017). New inhibitors of corrosion and depositions of sediments for water circulation systems. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 39(2), 92-96. doi:10.3103/S1063455X17020060.
4. *Vorobyova, V., Chygyrynets', O., Skiba, M., Trus, I., & Frolenkova, S.* (2018). Grape pomace extract as green vapor phase corrosion inhibitor. *Chemistry and Chemical Technology*, 12(3), 410-418. doi:10.23939/chcht12.03.410.
5. *Popoola L. T.* Organic green corrosion inhibitors (OGCIs): a critical review. *Organic green corrosion inhibitors (OGCIs): a critical review // Corrosion Reviews*. – 2019. – Vol. 37, Iss. 2. – P. 71-102. doi:10.1515/corrrev-2018-0058.
6. *Shaban H. I.* Corrosion inhibition in a cool-water system. *Corros. Prev. and Contr.* 1992. V. 39, № 1.– P. 9–12.
7. *Тыр С. Г., Бобошко З. А., Глушко И. Д.* Оценка эффективности ингибиторов в средах оборотного водоснабжения. *Защита мет.*, 1993. Т. 29, № 1. С. 158–160.
8. *Кузнецов Ю. И.* Механизм действия комплексонатных ингибиторов коррозии металлов. *Коррозия и защита мет. Тез. докл. 12 Пермь, окт., 1990.* С. 101.
9. *Кузнецов Ю. И., Трунов Е. А., Розенфельд И. Л.* Исследование фосфорсодержащих соединений в качестве ингибиторов коррозии металлов в системах промышленного водоснабжения. *Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности.* М, 1980. № 7. С. 5–7.
10. *Вембер В. В., Носачова Ю. В.* Вплив йонів перехідних d-металів на динаміку виживання мікроорганізмів в присутності фосфонових кислот // *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження», 2018. – № 1. – С. 72–77. DOI: 10.20535/2306-1626.1.2018.143384.*

Надійшла до редакції 04.11.2020

Vember V. V., Nosachova Yu. V., Levchuk T. A., Kosmyna M. M.

A STUDY OF CORROSION PROCESSES IN A DEMINERALIZED AQUEOUS MEDIUM IN THE PRESENCE OF BACTERIAL CELLS

Our earlier results indicate the feasibility of considering the microbiological contamination of closed and reversible cooling and water supply systems, given the effect of the microbial cells on the corrosion processes taking place there. The results show a possibility of transition metal ions acting as regulators and modifiers of microorganisms' growth processes under conditions of an osmotic stress and starvation.

The aim of the present work is to study the effect of transition d-metal ions (Zn^{2+} and Cr^{3+}), both separately and in the presence of known antiskalants, oxyethylenediphosphonic acid (OEDPh) and nitrilotrimethylphosphonic acid (NTMPh), on the effectiveness of the corrosion protection and the course of the biological corrosion in a demineralized environment.

*Microorganisms belonging to different systematic affiliations were selected for the study of the biocorrosion processes: *Bacillus* sp. and *Pseudomonas* sp. These microorganisms belonged to different physiological groups of bacteria and had opposite types of life strategies. They differed significantly in their ability to survive under the influence of various factors. They could exist in closed systems of water consumption (with sharp temperature changes, oxygen starvation, a presence of toxic substances used for water conditioning).*

*Bacillus and Pseudomonas strains were cultured on commonly used agar media, after which a cell suspension was prepared. For all bacterial strains used, the seeding dose was 10^8 cells·cm⁻³. It was determined using turbidometric control methods and bacterial density standards. The effect of the microorganisms on the corrosion processes was followed in stationary bioreactors of a volume of 125 cm³. A solution of 0.1 % NaCl was added as a model medium to which corrosion inhibitors (Zn^{2+} , Cr^{3+} , OEDPh and NTMPh) were added at a concentration of 5 mg·dm⁻³. At each stage of preparation, the suspension was thoroughly mixed, after which the metal samples were introduced to the reactor in the form of electrodes so that the entire surface of the electrode was completely immersed in the water. The metal samples were made of St 20 carbon steel. Each study of model water with metal plates was of 3 weeks duration. The intensity of the corrosion process was evaluated once a week. The rate of the biological corrosion was determined by the gravimetric method. The inhibition factor (*i*) and the degree of the corrosion protection (*Z*, %) of the samples in presence of corrosion inhibitors and bacteria were calculated. The negative value of this indicator indicated a change of the direction of the process, i.e. an activation of the corrosion process.*

*The obtained data show that the presence of microorganisms significantly modifies the anti-corrosion effect of the heavy metal ions. The range of fluctuations of the degree of the corrosion protection in presence of bacteria of the genus *Pseudomonas* is greater than that of the genus *Bacillus*. The dynamics of the protective effect in presence of both strains is characterized by significant changes (a decrease and a subsequent gradual increase of the degree of the corrosion protection). The highest intensity of the corrosion process is observed during the first week of the interaction in a model environment containing bacterial cells and anticorrosive agents. Then, the direction of the process changed and there was shown a slight protective effect at the 5-15 up to 36 % level. It is also demonstrated that the anti-corrosion compositions containing NTMPh provide a greater increase of the corrosion process rate in presence of microorganisms.*

The study of the presence of microorganisms on the corrosion proceeding demonstrates their ability to provide a significant effect. The bacteria can activate the corrosion process, which complicates the inhibitors behavior.

Keywords: corrosion rate, carbon steel, inhibitors, metals, phosphonic acids, microorganisms.

References

1. Shablii T., Nosachova J., Radovenchik Y., Vember V. (2017), Study of effectiveness of heavy metals ions as the inhibitors of steel corrosion. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/12, 88, 10-16, doi: 10.15587/1729-4061.2017.106974.
2. Gomelya M. D., Nosachova Yu. V. (2004), Creation of additives for providing resource saving in cooling systems, *Research Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*, 5, 101-105.

- Gomelya N. D., Shabliy T. A., Trohymenko A. G., Shuryberko M. M. (2017), New inhibitors of corrosion and depositions of sediments for water circulation systems. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 39, 2, 92-96, doi:10.3103/S1063455X17020060.
- Vorobyova V., Chygyrynets O., Skiba M., Trus I., Frolenkova S. (2018). Grape pomace extract as green vapor phase corrosion inhibitor. *Chemistry and Chemical Technology*, 12, 3, 410-418, doi:10.23939/chcht12.03.410.
- Popoola L. T. Organic green corrosion inhibitors (OGCIs): a critical review (2019), *Corrosion Reviews*, 37 (2), 71-102, doi:10.1515/corrrev-2018-0058.
- Shaban H. I. (1992), Corrosion inhibition in a cool-water system, *Coros. Prev. and Contr.*, 39, 1, 1992, 9-12.
- Tyr S. G., Boboshko Z. A., Glushko I. D. (1993), Assessment of the effectiveness of inhibitors in circulating water environments, *Meth. Protection*, 29, 1, 158-160.
- Kuznetsov Yu. I. (1990), Mechanism of action of complexing corrosion inhibitors of metals, Corrosion and meth protection, Theses, 12 Perm, Oct., 1990, p. 101.
- Kuznetsov Yu. I., Trunov E. A., Rosenfeld I. L. (1980), Investigation of phosphorus-containing compounds as inhibitors of metal corrosion in industrial water supply systems, Corrosion and protection in the oil and gas industry, Moscow, 7, 1980, 5-7.
- Vember V. V., Nosachova Yu. V. (2018), Influence of transition d-metal ions on the dynamics of microorganisms survival in the presence of phosphonic acids, *Bulletin of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*, Series «Chemical engineering, ecology and Resource Conservation», 17(1), 72-77, DOI: 10.20535 / 2306-1626.1.2018.143384.

УДК 628.161.2:546.71

**ГОМЕЛЯ М.Д., д.т.н., професор; ТВЕРДОХЛІБ М.М., к.т.н., асистент; МІГРАНОВА В. О., студент
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

ЗАСТОСУВАННЯ МАГНЕТИТУ ДЛЯ ПРИСКОРЕННЯ ПРОЦЕСУ ОКИСЛЕННЯ ЗАЛІЗА

У даній роботі було досліджено процес знезалізнення води з використанням магнетиту в якості каталізатора для пришвидшення окислення іонів заліза у водному середовищі. Показано, що ефективність вилучення іонів заліза залежить від концентрації розчину, дози сорбенту та часу контакту. У всіх випадках використання магнетиту прискорювало процес вилучення заліза більше, як на порядок в порівнянні з аналогічно проведеними дослідженнями окислення заліза без додавання каталізатора. При цьому в разі значень рН середовища більших 6, використання магнетиту, як каталізатора сприяє глибокому очищенню води від іонів заліза.

Ключові слова: іони заліза, магнетит, сорбент, каталізатор, знезалізнення.

DOI: 10.20535/2617-9741.4.2020.219785

© Гомеля М. Д., Твердохліб М. М., Мігранова В. О., 2020.

Постановка проблеми. Інтенсивне забруднення поверхневих та підземних джерел водопостачання призвело до погіршення якості питної води. Більшість водних ресурсів, включаючи артезіанські свердловини, забруднені сполуками заліза, що потрапляючи в організм людини накопичуються та призводять до розвитку хронічних захворювань. Згідно діючих нормативів в Україні вміст заліза в питній воді не