

РОЗРОБЛЕННЯ ІНГІБІТОРІВ КОРОЗІЇ МЕТАЛІВ У ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩАХ ІЗ РІЗНИМ РІВНЕМ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ

Гомеля М.Д.¹, Степова О.В.², Камасв В.С.¹

¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
пр. Перемоги, 37, 03056, м. Київ
alenastepovaja@gmail.com

²Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка
пр. Першотравневий, 24, 36011, м. Полтава

Актуальність теми дослідження зумовлена гостротою проблеми захисту трубопроводів та обладнання від корозії під час контакту з природними та стічними водами, включно з високомінералізованими шахтними та пластовими водами.

Сьогодні застосування вискоелективних інгібіторів для захисту трубопроводів та обладнання від корозії і відкладень в енергетиці, промисловості, видобувній галузі є економічно вигідним і доцільним у плані захисту довкілля від шкідливих впливів під час вилування або скиду забруднених вод із високою мінералізацією. Досліджено застосування пасиваційних інгібіторів, таких як оксиетилендифосфонові кислоти. Цей реагент забезпечував високу стабільність води щодо осадковідкладень. Високу ефективність під час боротьби з корозією забезпечували й інші композиції на основі фосфонових кислот. Ефективні інгібітори є досить дорогими, а сировина для їх виготовлення є важкодоступною в Україні. Створюються ефективні інгібітори корозії на основі похідних фосфористої та диметилдифосфонові кислот, перспективних стабілізаторів накипоутворення. Було розроблено новий метод синтезу диметилсульфонатфосфіна натрію із гіпофосфіту натрію, парафосфору та сульфату натрію, а також створено новий інгібітор – нітрилоксиетилдиметилфосфонову кислоту шляхом конденсації фосфористої кислоти з етанол аміном у присутності формальдегіду. Отримані реагенти використовували як інгібітори корозії металів у водних середовищах. Показано, що вони не поступаються за ефективністю іншим інгібіторам пасиваційного типу у прісних водах. У мінералізованих водах ефективними були інгібітори адсорбційного типу. Створено нові методи синтезу диметилсульфонатфосфіна натрію та нітрилоксиетилдиметилфосфонові кислоти із доступних реагентів. Досліджено інгібітори корозії металів на основі диметилсульфонатфосфіна натрію та нітрилоксиетилдиметилфосфонові кислоти. Показано, що вони поряд з іншими фосфонатами є ефективними інгібіторами корозії металів у прісних водах. Їхня ефективність зростає в присутності іонів цинку. Показано, що інгібітори пасиваційного типу неефективні під час захисту від корозії металів у високомінералізованих водах. Захист металів від корозії забезпечують інгібітори адсорбційного типу.
Ключові слова: корозія, коефіцієнт гальмування, ступінь захисту від корозії, фосфонові кислоти, інгібітори корозії.

Development of metal corrosion inhibitors in water environments with different mineralization level. Gomelya M., Stepova O., Kamaev V. The relevance of the topic of the study is due to the severity of the problem of protection of pipelines and equipment from corrosion in contact with natural and waste water, including highly mineralized mine and formation water. Today, the use of highly effective inhibitors for the protection of pipelines and equipment from corrosion and sediment in the energy, industry, extractive industries is economically viable and appropriate in terms of protecting the environment from the harmful effects of the discharge or discharge of contaminated waters with high mineralization. The use of passive inhibitors such as oxyethylene dephosphonic acid has been investigated. This reagent provided high stability of water against sediment. Other phosphonic acid-based compositions have also been highly effective in combating corrosion. Effective inhibitors are quite expensive and raw materials for their production are difficult to access in Ukraine. Creation of effective corrosion inhibitors based on derivatives of phosphorous and dimethylolphosphonic acids, perspective stabilizers of scale formation. Determining efficacy as a corrosion inhibitor of known substances in highly corrosive aqueous media, developing affordable, inexpensive new reagents that reliably protect metals from corrosion are areas of research that address many of the problems associated with corrosion. A new method for the synthesis of sodium dimethyl sulfonate phosphonate from sodium hypophosphite, steam form and sodium sulfite was developed, and a new inhibitor, nitriloxyethyl dimethyl phosphonic acid, was created by condensation of phosphorous acid with ethanol amine in the presence of formaldehyde. The obtained reagents were used as inhibitors of metal corrosion in aqueous media. They have been shown not to be inferior to the efficacy of other passivation type inhibitors in freshwater. In mineralized waters, adsorption-type inhibitors were effective. New methods for the synthesis of dimethylsulfonate phosphinate of sodium and nitriloxyethyl dimethyl phosphonic acid from available reagents have been developed. Metal corrosion inhibitors based on sodium dimethylsulfonate phosphinate and nitriloxyethyl dimethyl phosphonic acid have been investigated. They, along with other phosphonates, have been shown to be effective inhibitors of metal corrosion in freshwater. Their efficiency increases in the presence of zinc ions. Passivation type inhibitors have been shown to be ineffective in protecting against corrosion of metals in highly mineralized waters. Corrosion protection is provided by adsorption-type inhibitors. *Key words:* corrosion, braking factor, degree of protection against corrosion, phosphonic acids, corrosion inhibitors.

Постановка проблеми. Економічні збитки від руйнування обладнання та трубопроводів, спричинені корозією металів, є великими. Особливо значними вони є у видобувній промисловості внаслідок втрат цінних компонентів. Крім того, вони є причиною значних економічних збитків у разі потрапляння в довкілля нафти та нафтопродуктів, токсичних хімічних речовин, високомінералізованих і забруднених вод. Очевидно, що визначення ефективності як інгібіторів корозії відомих речовин у високоагресивних водних середовищах, розроблення доступних дешевих нових реагентів, що надійно захищають метали від корозії, є тими напрямками досліджень, які дають змогу вирішити багато проблем, пов'язаних із корозією.

Актуальність дослідження. Проблема створення та забезпечення надійності роботи систем водопостачання та водовідведення у промисловості є досить гострою. Вона є досить гострою не лише в плані раціонального використання водних ресурсів, але і під час вирішення проблеми захисту навколишнього природного середовища від технологічних виливів. Особливо небезпечним сьогодні є забруднення довкілля внаслідок великої кількості аварій і пошкоджень на нафто- та газопроводах, інших продуктопроводах [1], причиною яких є корозійні пошкодження та руйнування. Гостро стоїть проблема захисту трубопроводів та обладнання від корозії та осадковідкладень у промислових водоциркуляційних системах [2]. Вирішення цієї проблеми важливе в аспекті захисту довкілля від шкідливих впливів і забезпечення раціонального використання води у промисловості, яка в Україні споживає понад 60% води, що забирається із природних водойм. Вона скидає більше 65% стічних вод [3]. Головним завданням у промисловому водоспоживанні є зниження об'ємів споживання води шляхом широкого впровадження та забезпечення надійної роботи водооборотних і замкнених (безстічних) систем водопостачання [4].

Переваги від застосування вискоелективних реагентів у водоциркуляційних системах досить значні. Під час їх використання можна створювати безстічні водоциркуляційні системи [5]. Застосування пасиваційних інгібіторів у водопровідних мережах, таких як оксиетилендекфосфорова кислота, в присутності іонів цинку дало змогу значно знизити корозійну активність води щодо сталі [6]. Крім того, цей реагент забезпечував високу стабільність води щодо осадковідкладень. Високу ефективність під час боротьби з корозією забезпечували й інші композиції на основі фосфорних кислот [7]. Вони також були ефективними інгібіторами осадковідкладень. Інгібітори-бактерициди [8], крім хімічної корозії, дадуть змогу вирішувати проблеми боротьби з біокорозією та біобростанням у водопровідних мережах.

Проте ефективність інгібіторів залежить від умов використання, хімічного складу води, її аерації [9]. Ефективні інгібітори є досить дорогими, а сировина для їх виготовлення є важкодоступною на Україні.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Тема відповідає актуальним напрямкам науково-технічної діяльності в Україні, пов'язаним із вирішенням актуальних проблем екологічної безпеки держави в галузі промислових виробництв. Робота за цим напрямком виконувалась на кафедрі екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» з напрямку «Екологічно чиста енергетика та ресурсозберігаючі технології» на замовлення Міністерства освіти і науки України в межах держбюджетної науково-дослідної роботи «Розроблення екологічно чистих інгібіторів корозії металів, накипоутворення та біобростання 0100U000940.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Переваги від застосування вискоелективних реагентів у водоциркуляційних системах досить значні. Під час їх використання можна створювати безстічні водоциркуляційні системи [5]. Застосування пасиваційних інгібіторів у водопровідних мережах, таких як оксиетилендекфосфорова кислота, в присутності іонів цинку дало б змогу значно знизити корозійну активність води щодо сталі [6]. Крім того, цей реагент забезпечував високу стабільність води щодо осадковідкладень. Високу ефективність під час боротьби з корозією забезпечували й інші композиції на основі фосфорних кислот [7]. Вони також були ефективними інгібіторами осадковідкладень. Інгібітори-бактерициди [8], крім хімічної корозії, допомагають вирішувати проблеми боротьби з біокорозією та біобростанням у водопровідних мережах.

Проте ефективність інгібіторів залежить від умов використання, хімічного складу води, її аерації [9]. Ефективні інгібітори є досить дорогими, а сировина для їх виготовлення є важкодоступною в Україні.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Сьогодні інгібітори корозії металів пасиваційного типу, значна частина яких (фосфорні кислоти) добре зарекомендувала себе і як стабілізатори накипоутворення, практично не досліджені в корозійних процесах у високомінералізованих водах. Практично не вивчені інгібітори сульфатного типу. Не досліджені процеси їхнього синтезу. Те саме стосується інгібіторів на основі етанол аміну, що містять фосфатні групи.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати наукової роботи в комплексі з іншими дослідженнями дадуть змогу визначити потенційні загрози від корозії трубопроводів та обладнання під час використання або утилізації шахтних вод, що дасть можливість розробити заходи із запобігання виникненню шкідливих впливів під час руйнування трубопроводів та скиду шахтних вод у довкілля.

Виклад основного матеріалу. Метою роботи було визначення впливу рівня мінералізації води на її корозійну активність, на ефективність інгібіторів корозії, створення нових високоефективних інгібіторів корозії та оцінка відомих реагентів як інгібіторів корозії у водних середовищах із різним рівнем мінералізації.

Для досягнення мети було поставлено такі завдання:

– оцінка корозійної активності водних середовищ до різних металів залежно від типу металу та рівня мінералізації води;

– розроблення нового методу синтезу сульфатно-фосфатного інгібітора на основі натрієвої солі диметилфосфінної кислоти та нітрилфосфатної кислоти на основі етанол аміну та фосфористої кислоти;

– оцінка інгібіторів корозії пасиваційного типу у водах із різними рівнями мінералізації;

– пошук інгібіторів корозії сталі у мінералізованих водних середовищах.

У роботі було використано відомі та синтезовані реагенти. Серед синтезованих реагентів були диметилсульфатфосфінату натрію (ДМСФН) та нітрилоксиетилдиметилфосфонові кислоти. Як відомі реагенти були використані оксиетилендифосфонові кислоти (ОЕДФК), нітрилтриметилфосфонові кислоти (НТМФК) та їхні натрієві солі, а також тіокарбамід, 1, 2, 3 бензотриазол, бензімідазол, *n*-диметиламінобензойна кислота та тіосемінарибазид.

Як середовище використовували модельні розчини, водопровідну та артезіанську води, характеристики яких наведено в табл. 1.

Реагент застосовували в концентраціях від 2 до 50 мг/дм³.

Для вимірювання корозійної активності води як без інгібіторів, так і за їх використання застосовано метод масометрії.

Коефіцієнт гальмування корозії визначали за формулою:

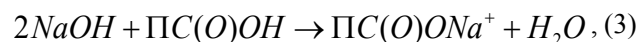
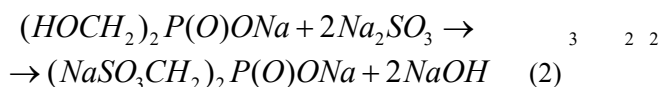
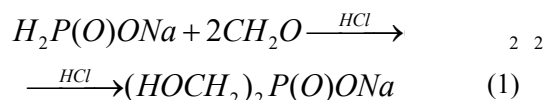
$$J = \frac{V}{V_i}, \quad (1)$$

де V – швидкість корозії у воді в контрольному досліді; V_i – швидкість корозії в досліді з інгібітором.

Ступінь захисту від корозії розраховували за формулою:

$$Z = \left(1 - \frac{1}{J}\right) 100, \% \quad (2)$$

Розроблений нами метод отримання диметилсульфатфосфінату натрію (ДМСФН) заснований на таких нескладних реакціях, які проходять із кількісним виходом:



де P – фрагмент матриці катіоніту.

На першій стадії насичений розчин гіпофосфіту натрію у воді підкислювали соляною кислотою до $pH=4,0$. Після цього за температури розчину $80-900^\circ C$ під час перемішування додавали невеликими частинами параформ. Наступну порцію параформу додавали після розчинення попередньої кількості. Після завершення процесу (реакція 1) за температури $70-800^\circ C$ під час перемішування розчин натрієвої солі диметилфосфінної кислоти додавали до розчину сульфату натрію у воді (реакція 2). Після завершення реакції 2 розчин містить значну кількість розчиненого луку. Тому до цього розчину під час перемішування додавали слабкокислотний катіоніт у кислотній формі до досягнення $pH=7,5-8,5$. Після цього іоніт відділяли на фільтрі, промивали водою.

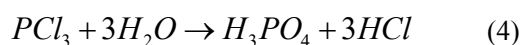
Таблиця 1

Характеристики водних середовищ, використаних під час визначення ефективності інгібіторів осадковідкладень і корозії металів

Показник	Модельний розчин			Водопровідна вода	Артезіанська вода
	1	2	3		
Каламутність	0,5	0,6	0,7	0,7	0,1
pH	8,3	6,5	7,3	7,6	7,5
Жорсткість загальна, мг-екв/дм ³	39,1	241,2	318,0	4,1	5,27
Концентрація Ca ²⁺ , мг/дм ³	21,0	180,35	180,2	3,0	4,1
Лужність, мг-екв/дм ³	4,2	5,6	4,3	4,0	5,26
Концентрація Cl ⁻ , мг/дм ³	14875,0	44310,	6396,0	75,0	103,0
Концентрація SO ²⁻ ₄ , мг/дм ³	316,0	841,0	7969,0	37,0	6,4
Концентрація Na ⁺ +K ⁺ мг/дм ³	8984,0	29809,0	28950,0	54,0	75,0
Концентрація Fe загал., мг/дм ³	0,15	0,1	0,15	0,26	0,2
Мінералізація, мг/дм ³	25059,0	73533,0	94585,0	410,0	435,0

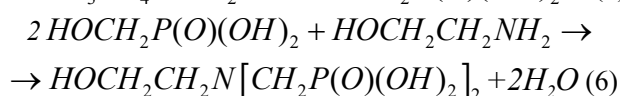
Промивні води використовували для розведення сульфїту натрію або гіпофосфїту натрію. Отриманий фільтрат із концентрацією основного продукту 20% використовували для стабілізаційної обробки води. Іонї регенерували 5%-ю соляною кислотою і надалі використовували для нейтралізації розчину натрієвої солі диметилсульфонатуфосфїнату натрію (ДМСФН).

Для синтезу алкіламінофосфонових кислот використали метилфосфонову кислоту, отриману під час взаємодії фосфористої кислоти, яка отримана під час гідролізу трихлористого фосфору та параформу або формалїну. Для цього до 10%-го розчину формалїну за охолодження його сумішшю льоду та хлориду натрію під час перемішування додавали по краплях розраховану кількість трихлористого фосфору. На першій стадії відбувався гідроліз трихлористого фосфору:



Після цього температуру суміші під час перемішування поступово піднімали до 20–300 °С. За цієї температури суміш витримували 4–5 годин, а потім додавали до неї по краплям моноетаноламін. Після змішування реагентів температуру піднімали до 100–1100 °С і кип'ятили протягом 3-х годин. При цьому були реалізовані дві стадії процесу отримання нітрилооксиетилендиметилфосфонової кислоти

(НОЕДМФК). Надлишок соляної кислоти відгоняли, а розчин НОЕДМФК концентрацією 40% використовували як реагент для стабілізаційної обробки води:



Надалі визначили корозійну активність різних водних середовищ.

Мінералізовані середовища мають вищу корозійну активність щодо металів порівняно із прісною водою (табл. 2). При цьому у мінералізованій воді швидкість корозії сталі Ст3 приблизно у 1,5–2,0 рази вища порівняно із прісною водою. Для кольорових металів (мідь, латунь) під час переходу від прісної до мінералізованої води швидкість корозії зростає майже на порядок. Пов'язане це з тим, що пасиваційна дифузійна плівка продуктів корозії на поверхні кольорових металів у прісній воді значно міцніша і надійно захищає метал від контакту з водою. У розчинах із високою електропровідністю анодна і катодна зони на поверхні металу можуть бути досить віддалені через високу електропровідність розчину. Тому анодне розчинення металу можливе з переходом іонів у розчин без утворення дифузного бар'єрного шару. Ці процеси корозії, як

Таблиця 2

Залежність швидкості корозії металів у водних розчинах від рівня їх мінералізації та типу металу за температури 15 °С

№ п/п	Середовище	Мінералізація, мг/дм ³	Метал	Швидкість корозії	
				г/м ² год	мм/рік
1	Водопровідна вода	410	Сталь Ст3	0,0390	0,0435
			Мідь М-2	0,0053	0,0052
			Латунь Л62	0,0066	0,0068
			Нержавіюча сталь 12ХІ8Н10Т	0,0008	0,0009
2	Артезіанська вода	435	Сталь Ст3	0,0324	0,0360
			Мідь М-2	0,0092	0,0090
			Латунь Л62	0,0112	0,0122
			Нержавіюча сталь	0,0016	0,0017
3	Модельний розчин №1	25029	Сталь Ст3	0,0480	0,05328
			Мідь М-2	0,0374	0,0364
			Латунь Л62	0,0386	0,0420
			Нержавіюча сталь 12ХІ8Н10Т	0,0007	0,0008
4	Модельний розчин №2	73533	Сталь Ст3	0,0628	0,0760
			Мідь М-2	0,0241	0,0235
			Латунь Л62	0,0339	0,0369
			Нержавіюча сталь 12ХІ8Н10Т	0,0008	0,0009
5	Модельний розчин №3	94585	Сталь Ст3	0,0675	0,0817
			Мідь М-2	0,0301	0,0294
			Латунь Л62	0,0389	0,0423
			Нержавіюча сталь 12ХІ8Н10Т	0,0006	0,0007

правило, зумовлені кисневою деполяризацією. Але в окремих випадках, особливо для металів, які в ряду активності стоять до водню, деполяризатором можуть бути іони водню.

Можливе також окислення металу під час взаємодії з водою. Загалом, якщо врахувати, що присутні у мінералізованій воді хлорид-аніони (можливо, і сульфати) руйнують захисну плівку з продуктів корозії або пасиваційну кисневу плівку, то вибрати надійні інгібітори корозії металів є складною проблемою.

Відомо, що розглянуті вище інгібітори осадковідкладення на основі фосфонових і фосфінових кислот, так само як і поліфосфати та ортофосфати, є ефективними інгібіторами корозії сталі пасиваційного типу [7]. Ці речовини сприяють стабілізації кисневої плівки на поверхні металу. Особливо плівка стабільна, а ефективність інгібіторів висока в присутності іонів цинку за інтенсивної аерації розчину. Розчинність кисню тим вища, чим менший рівень мінералізації води. Тому цей фактор може суттєво впливати на ефективність інгібіторів пасиваційного типу. Як інгібітори пасиваційного типу в цій роботі було використано відомі та розроблені нами інгібітори, такі як ОЕДФК, НТМФК, ДМСФН та НОЕДМФК.

Результати щодо оцінки впливу ОЕДФК в присутності іонів цинку на корозію металів у різних водних середовищах наведено в таблиці 3.

Як видно з таблиці, інгібітор надійно захищає сталь Ст20 та Ст3 у водопровідній та артезіанській воді за 25 °С. Зумовлено це тим, що в цих середовищах у прісних водах концентрація кисню сягає 8–10 мг/дм³ за низької концентрації хлоридів і сульфатів.

Ступінь захисту від корозії в обох випадках перевищує 90%, а швидкість корозії в обох випадках знизилась до значень менших більше як на порядок порівняно з необробленим середовищем. Менш виражений інгібуєчий ефект був для міді та латуні. Очевидно, це пов'язано з тим, що швидкість корозії цих металів навіть без інгібіторів корозії була невисокою. В усіх інших середовищах, мінералізація яких була більше 25 г/дм³, ефекту зниження швидкості корозії не було спостережено. Головна причина в тому, що хлориди та сульфати руйнують захисну пасиваційну плівку.

Про ефективність відомих і розроблених інгібіторів корозії у прісних водах (на прикладі артезіанської води) можна судити за результатами, що наведені на рис. 1.

Як видно з рисунку, усі випробувані інгібітори пасиваційного типу в умовах ефективної аерації води забезпечували надійний захист сталі Ст3 від корозії. Ефект посилювався у присутності іонів цинку, що добре погоджується з механізмами, описаними у роботі [9].

Ефективність інших фосфонатних і фосфінатних інгібіторів була оцінена на прикладі корозії сталі Ст20 (табл. 4).

Таблиця 3

Оцінка ефективності ОЕДФК (D=10 мг/дм³) в присутності іонів цинку (D=5 10 мг/дм³) як інгібітора корозії сталі в різних водних середовищах за температури 25 °С

Метал	Водне середовище	Швидкість корозії, г/м ² год	Коефіцієнт зниження швидкості корозії	Ступінь захисту від корозії, Z, %
1	2	3	4	5
Сталь Ст3	Водопровідна вода	0,0031	12,5	92,0
	Артезіанська вода	0,0028	11,57	91,4
	Модельний розчин №1	0,0489	0,98	-
	Модельний розчин №2	0,0632	1,00	-
	Модельний розчин №3	0,681	0,98	-
Сталь Ст20	Водопровідна вода	0,0028	14,0	92,9
	Артезіанська вода	0,0025	14,5	93,1
	Модельний розчин №1	0,0462	0,99	-
	Модельний розчин №2	0,0627	1,00	-
	Модельний розчин №3	0,0674	0,98	-
Мідь М-2	Водопровідна вода	0,0015	3,53	71,7
	Артезіанська вода	0,0017	4,41	77,3
	Модельний розчин №1	0,0375	1,00	-
	Модельний розчин №2	0,0272	0,89	-
	Модельний розчин №3	0,0307	0,98	-
Латунь Л-62	Водопровідна вода	0,0015	4,40	77,2
	Артезіанська вода	0,0075	1,49	32,9
	Модельний розчин №1	0,0390	0,99	-
	Модельний розчин №2	0,0350	0,97	-
	Модельний розчин №3	0,0392	0,99	-

Як видно з таблиці у мінералізованому розчині (модельний розчин № 3), жодний із інгібіторів не забезпечив зниження корозії сталі. Очевидно, що за високих концентрацій хлоридів і сульфатів формування пасиваційної кисневої плівки неможливе. При цьому із зростанням мінералізації розчину знижується розчинність кисню у воді.

Відомо, що в мінералізованих водах кращими є інгібітори адсорбційного типу, які здатні тонкою плівкою сорбуватись на поверхні металу, суттєво знижуючи швидкість окислення металу під час взаємодії з водою. Про ефективність використаних нами інгібіторів можна судити з результатів, наведених у таблиці 5.

Насамперед слід зазначити, що будь-який із використаних інгібіторів був ефективним лише за значних концентрацій 25–50 мг/дм³. З переходом від модельного розчину № 1 до розчину № 3 активність води зростала, а ефективність інгібіторів знижувалась.

Із використаних кращими були бензотриазол і бензімідазол. Ступінь захисту за дози 50 мг/дм³ сягав 71–78%.

Очевидно, що ці інгібітори перспективні під час захисту сталі від корозії у мінералізованих водах.

Висновки. Створено нові методи синтезу диметилсульфонатфосфіату натрію та нітрилоксиетилендиметилфосфінової кислоти з доступних реагентів.

Досліджено інгібітори корозії металів на основі диметилсульфонатфосфіату натрію та нітрилоксиетилдиметилфосфонової кислоти. Показано, що вони поряд з іншими фосфонатами є ефективними інгібіторами корозії металів у прісних водах. Їхня ефективність зростає у присутності іонів цинку.

Показано, що інгібітори пасиваційного типу неефективні під час захисту від корозії металів у високмінералізованих водах. Захист металів від корозії забезпечують інгібітори адсорбційного типу.

Таблиця 4

Залежність швидкості корозії та ступеня захисту сталі Ст20 від корозії в модельному розчині № 3 від дози інгібітора пасиваційного типу

Інгібітор	Доза, мг/дм ³	Швидкість корозії, г/м ² год	Коефіцієнт гальмування корозії	Ступінь захисту від корозії, %
1	2	3	4	5
ОЕДФК	2	0,0589	0,866	-
	5	0,0654	0,962	-
	10	0,0636	0,935	-
НТМФК	5	0,0602	0,885	-
	10	0,0678	1,0	-
	15	0,00618	0,91	-
ДМСФН	5	0,00635	0,94	-
	10	0,00639	0,54	-
	15	0,00677	1,0	-
НОЕДФК	5	0,00649	0,95	-
	10	0,00651	0,96	-
	15	0,00680	1,0	-

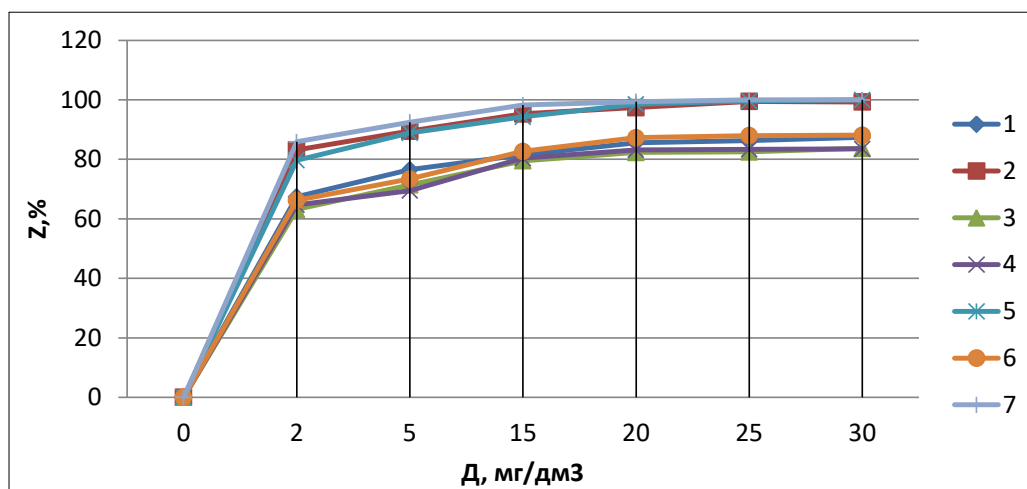


Рис. 1. Залежність ступеня захисту від корозії сталі Ст3 в артезіанській воді під час використання як інгібіторів ОЕДФК (1); ОЕДФК+Zn²⁺; НТМФК (3); ДМСФН (4); ДМСФН+ Zn²⁺ (5); НОЕДФК (6); НОЕДФК + Zn²⁺ (7) за концентрації цинку (2; 4; 6) в концентрації 2 мг/дм³

**Ефективність інгібіторів корозії сталі Ст20 адсорбційного типу
в модельному розчині № 2 (I) та № 3 (II)**

Інгібітор	Доза, мг/дм ³	Швидкість корозії, г/м ² год		Коефіцієнт гальмування корозії		Ступінь захисту від корозії, %	
		3	4	5	6	7	8
Тіокарбамід	10	0,00649	0,0651	1,047	1,037	4,5	3,85
	25	0,0347	0,0322	1,960	2,096	48,98	52,38
	50	0,0188	0,0211	3,598	3,199	72,22	68,75
1,2,3-бензотріазол	10	0,0490	0,0520	1,389	2,298	78,57	56,52
	25	0,0361	0,0370	1,884	1,824	47,37	55,56
	50	0,0148	0,0162	4,595	4,167	78,26	76,19
п-диметиламінобензойна кислота	10	0,0337	-	2,018	-	-	-
	25	0,0225	-	3,022	-	-	-
	50	0,0210	-	3,238	-	-	-
Бензімідазол	10	0,0540	0,0570	1,259	1,184	20,63	15,54
	25	0,0330	0,0425	2,061	1,588	52,38	37,48
	50	0,0162	0,0193	4,198	3,497	76,20	71,43
Тіосемінарбазид	10	0,0427	-	1,607	-	37,50	-
	25	0,0423	-	1,608	-	37,52	-
	50	0,0331	-	2,054	-	52,38	-

Перспективи використання результатів дослідження. Оцінка корозійної активності мінералізованих водних середовищ нафтоводних середовищ дає змогу оцінити екологічні загрози від руйнування трубопроводів залежно від складу середовища, що транспортується

в трубопроводах. Крім того, під час врахування залежності швидкості корозії металу від складу нафтоводної суміші можна вибирати та оцінювати ефективність інгібіторів корозії металів, що допоможе успішно запобігати цим загрозам за відносно незначних фінансових затрат.

Література

1. Биченок М.М., Іванюта С.П., Яковлев Є.О. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі. Київ : ПП, 2008. 160 с.
2. Тыр С.Г., Боботко З.А., Глушко И.Д. Оценка эффективности ингибиторов в средах оборотного водоснабжения. *Защита металлов*. 1993. Т. 29. № 1. С. 158–160.
3. Волошкіна О.С., Яковлев Є.О., Удод В.М. Питання екологічної безпеки поверхневих водних об'єктів. Київ : ППНБ, 2007. 139 с.
4. Іванов С.В., Манчук Н.М., Борсук П.С. Загальна хімічна технологія : промислові хіміко-технологічні процеси : навч. посібник. Київ : НАУ, 2010. 280 с.
5. Пуришкевич В.М. Водоподготовка оборотных промышленных вод бессточной системы водообеспечения. *Мир техники и технологий*. 2003. № 6. С. 68–69.
6. Ковальчук А.П. Результат применения ингибитора накипеобразования и коррозии ОЭДФ-цинк в системе теплоснабжения Ростовской ТЭЦ-2. *Промышленная энергетика*. 2004. № 11. С. 34–35.
7. Кузнецов Ю.И. Современное состояние теории ингибирования коррозии металлов. *Защита металлов*. 2002. Т. 38. № 2. С. 122–131.
8. Куц А.В., Гомеля Н.Д., Ставская С.С. Новый фосфорорганический ингибитор коррозии с бактерицидным действием для водооборотных систем охлаждения. *Химия и технология воды*. 2004. 26, № 1. С. 89–94.
9. Кузнецов Ю.И. Современное состояние теории ингибирования коррозии металлов. *Защита металлов*. 2002. Т. 38. № 2. С. 122–131.
10. Гомеля Н.Д. Новые ингибиторы коррозии и отложений осадков для систем водоциркуляции. *Химия и технология воды*. 2017. Т. 39. № 2 (256). С. 169–177.