

Микола Гомеля, Олена Степова, Віктор Камаєв

РОЗРОБКА ІНГІБІТОРІВ КОРОЗІЇ МЕТАЛІВ У ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩАХ ІЗ РІЗНИМ РІВНЕМ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ

Актуальність теми дослідження. Актуальність теми дослідження зумовлена гостротою проблеми захисту трубопроводів та обладнання від корозії при контакті з природними та стічними водами, включаючи високомінералізовані шахтні та пластові води.

Постановка проблеми. Нині застосування високоефективних інгібіторів для захисту трубопроводів та обладнання від корозії та відкладень в енергетиці, промисловості, видобувній галузі є економічно вигідним та доцільним у плані захисту довкілля від шкідливих впливів при виліві або скиді забруднених вод із високою мінералізацією.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досліджено застосування пасиваційних інгібіторів, таких як оксиетилнедефосфонова кислота. Цей реагент забезпечував високу стабільність води щодо осадко відкладень. Високу ефективність при боротьбі з корозією забезпечували й інші композиції на основі фосфонових кислот. Ефективні інгібітори є досить дорогими, а сировина для їх виготовлення є важкодоступною на Україні.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Створення ефективних інгібіторів корозії на основі похідних фосфористої та диметилфосфінової кислот, перспективних стабілізаторів накипеутворення.

Виклад основного матеріалу. Було розроблено новий метод синтезу диметилсульфонатфосфіна натрію із гіпофосфіту натрію, пара форму та сульфату натрію, а також створено новий інгібітор – нітрилоксуетилдиметилфосфонову кислоту шляхом конденсації фосфористої кислоти з етанол аміном в 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.

Висновки відповідно до статті. Створено нові методи синтезу диметилсульфонатфосфіна натрію та нітрилоксуетилдиметилфосфонові кислоти з доступних реагентів.

Досліджено інгібітори корозії металів на основі диметилсульфонатфосфіна натрію та нітрилоксуетилдиметилфосфонові кислоти. Показано, що вони, наряду з іншими фосфонатами є ефективними інгібіторами корозії металів у прісних водах. Їх ефективність зростає в присутності іонів цинку.

Показано, що інгібітори пасиваційного типу неефективні при захисті від корозії металів у високо мінералізованих водах. Захист металів від корозії забезпечують інгібітори адсорбційного типу.

Ключові слова: корозія; коефіцієнт гальмування; ступінь захисту від корозії; фосфонові кислоти; інгібітори корозії.

Табл.: 5. Рис.: 1. Бібл.: 9.

Актуальність теми дослідження. Проблема створення та забезпечення надійності роботи систем водопостачання та водовідведення у промисловості є досить гострою. Вона є актуальною не лише у плані раціонального використання водних ресурсів, але і при вирішенні проблеми захисту навколишнього природного середовища від технологічних виливів. Особливо небезпечним на сьогодні є забруднення довкілля внаслідок великої кількості аварій та 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 осадко відкладень у промислових водоциркуляційних системах [2]. Вирішення цієї проблеми важливе з погляду захисту довкілля від шкідливих впливів та забезпечення раціонального використання води у промисловості, яка на Україні споживає понад 60 % води, що забирається із природних водойм [3]. Головним завданням у промисловому водоспоживанні є зниження об'ємів споживання води за рахунок широкого впровадження та забезпечення надійної роботи водооборотних та замкнених (безстічних) систем водопостачання [4].

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 при попаданні в довкілля нафти та нафтопродуктів, токсичних хімічних речовин, високомінералізованих та забруднених вод. Очевидно, що визначення ефективності як інгібіторів корозії відомих речовин у високоагресивних водних середовищах, розробка доступних дешевих нових реагентів, що надійно захищають метали від корозії є тими напрямками досліджень, які дозволяють вирішити багато проблем, пов'язаних із корозією.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Переваги від застосування високоефективних реагентів у водоциркуляційних системах досить значні. При їх використанні можна створювати безстічні водоциркуляційні системи [5]. Застосування пасиваційних інгібіторів у водопровідних мережах, таких як оксиетилендекфосфонова кислота в присутності іонів цинку дозволило значно знизити корозійну активність води щодо сталі [6]. Крім того, цей реагент забезпечував високу стабільність води щодо осадко відкладень. Високу ефективність при боротьбі з корозією забезпечували й інші композиції на основі фосфонових кислот [7]. Вони також були ефективними інгібіторами осадковідкладень. Інгібітори-бактерициди [8], крім хімічної корозії, дозволяють вирішувати проблеми боротьби з біокорозією та біообростанням 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.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Нині інгібітори корозії металів пасиваційного типу, значна частина яких (фосфонові кислоти) добре зарекомендували себе і як стабілізатори накипоутворення, практично не досліджені в корозійних процесах у високомінералізованих водах. Практично не вивчені інгібітори сульфонатного типу. Не досліджені процеси їх синтезу. Те саме стосується інгібіторів на основі етанол аміну, що містять фосфонатні групи.

Постановка завдання. Метою цієї 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;
- розробка нового методу синтезу сульфонатно-фосфінатного інгібітора на основі натрієвої солі диметиллолфосфінової кислоти та нітрилфосфонатної 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.

Виклад основного матеріалу. У роботі були використані відомі та синтезовані реагенти. Серед синтезованих реагентів були диметилсульфонатфосфінату натрію (ДМСФН) та нітрилоксиетилендиметилфосфонова кислота. Як відомі реагенти були використані оксиетилідендифосфонової кислоти (ОЕДФК), нітрилтриметилфосфонова кислота (НТМФК) та їхні натрієві солі, а також тіокарбамід, 1, 2, 3 бензотриазол, бензімідазол, *n*-диметиламінобензойна кислота та тіосемінарбазид.

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

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

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

Коефіцієнт гальмування корозії визначали за формулою:

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

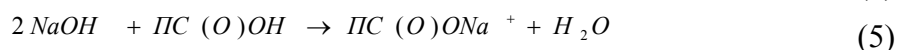
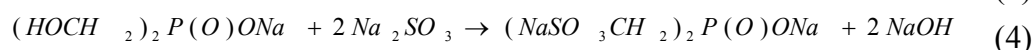
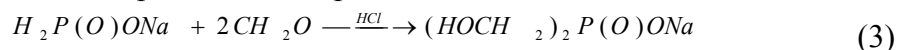
де V – швидкість корозії у воді у контрольному досліді;

V_i – швидкість корозії у досліді з інгібітором.

Ступінь захисту від корозії розраховували за формулою:

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

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



де P – фрагмент матриці катіоніту.

Таблиця 1

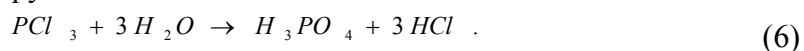
Характеристики водних середовищ використаних для визначення ефективності інгібіторів осадковідкладень та корозії металів

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	180,351	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	44310,0	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

На першій стадії насичений розчин гіпофосфіту натрію у воді підкислювали соляною кислотою до pH=4,0. Після цього при температурі розчину 80-90 °C під час перемішування додавали невеликими частинами параформ. Наступну порцію параформу додавали після розчинення попередньої кількості. Після завершення процесу (реакція 1) при температурі 70–80 °C під час перемішування розчин натрієвої солі диметилфосфонової кислоти додавали до розчину сульфату натрію у воді (реакція 2). Після завершення реакції 2 розчин містить значну кількість розчиненого лугу. Тому до цього розчину під час перемішування додавали слабокислотний катіоніт у кислій формі до досягнення pH = 7,5-8,5. Після цього іоніт відділяли на фільтрі, промивали водою.

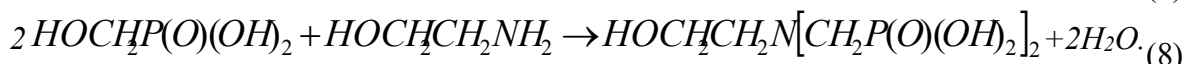
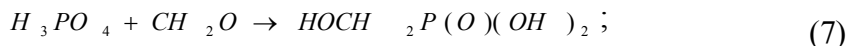
Промивні води використовували для розведення сульфату натрію або гіпофосфіту натрію. Отриманий фільтрат із концентрацією основного продукту 20 % використовували для стабілізаційної обробки води. Іоніт регенерували 5 %-ю соляною кислотою і в подальшому використовували для нейтралізації розчину натрієвої солі диметилсульфонатфосфіату натрію (ДМСФН).

Для синтезу алкіламінофосфонових кислот використовували метилфосфонову кислоту, отриману при взаємодії фосфористої кислоти, отриманої при гідролізі трихлористого фосфору та параформу або формаліну. Для цього до 10 %-го розчину формаліну при охолодженні його сумішню льоду та хлориду натрію при перемішуванні додавали по краплях розраховану кількість три хлористого фосфору. На першій стадії відбувався гідроліз три хлористого фосфору



Після цього температуру суміші при перемішуванні поступово піднімали до 20–30 °C. При цій температурі суміш витримували 4-5 годин, а потім додавали до неї по

краплях моноетаноламін. Після змішування реагентів температуру підвищували до 100–110 °С і кип'ятили протягом трьох годин. При цьому були реалізовані дві стадії процесу отримання нітрилооксietiлендиметилфосфонові 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, у порівнянні з прісною водою (табл. 2). При цьому в мінералізованій воді швидкість корозії сталі Ст3 приблизно у 1,5–2,0 раза вища, порівняно із прісною водою. Для кольорових металів (мідь, латунь) при переході від прісної до мінералізованої води швидкість корозії значно зростає. Пов'язано це з тим, що пасиваційна дифузійна плівка продуктів корозії на поверхні кольорових металів у прісній воді значно міцніша й надійно захищає метал від контакту з водою. У розчинах із високою електропровідністю анодна й 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. Зазначені процеси корозії здебільшого зумовлені кисневою деполяризацією. Але в окремих випадках, особливо для металів, які в ряду активності стоять до водню, деполяризатором можуть бути іони водню.

Таблиця 2

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

№ з/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

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

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Відомо, що розглянуті вище інгібітори осадковідкладення на основі фосфонових та фосфінових кислот, так само як і поліфосфати та орто-фосфати, є ефективними інгібіторами корозії сталі пасиваційного типу [7]. Такі речовини сприяють стабілізації кисневої плівки на поверхні металу. Особливо плівка стабільна, а ефективність інгібіторів висока у присутності іонів цинку при інтенсивній 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 були використані відомі та розроблені нами інгібітори, такі як ОЕДФК, НТМФК, ДМСФН та НОЕДМФК.

Результати оцінювання впливу ОЕДФК у присутності іонів цинку на корозію металів у різних водних середовищах наведені в табл. 3.

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 при температурі 25 °С

Метал	Водне середовище	Швидкість корозії, г/м ² год	Коефіцієнт зниження швидкості корозії	Ступінь захисту від корозії, Z, %
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 із табл. 3, інгібітор надійно захищає сталь Ст20 та Ст3 у водопровідній та артезіанській воді при 25 °С. Зумовлено це тим, що в цих середовищах у прісних водах концентрація кисню сягає 8–10 мг/дм³ при низькій концентрації хлоридів та сульфатів.

Ступінь захисту від корозії в обох випадках перевищує 90 %. 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 за 25 г/дм³ ефекту зниження швидкості корозії не спостерігалось. 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 робити висновки за результатами, що наведені на рис. 1.

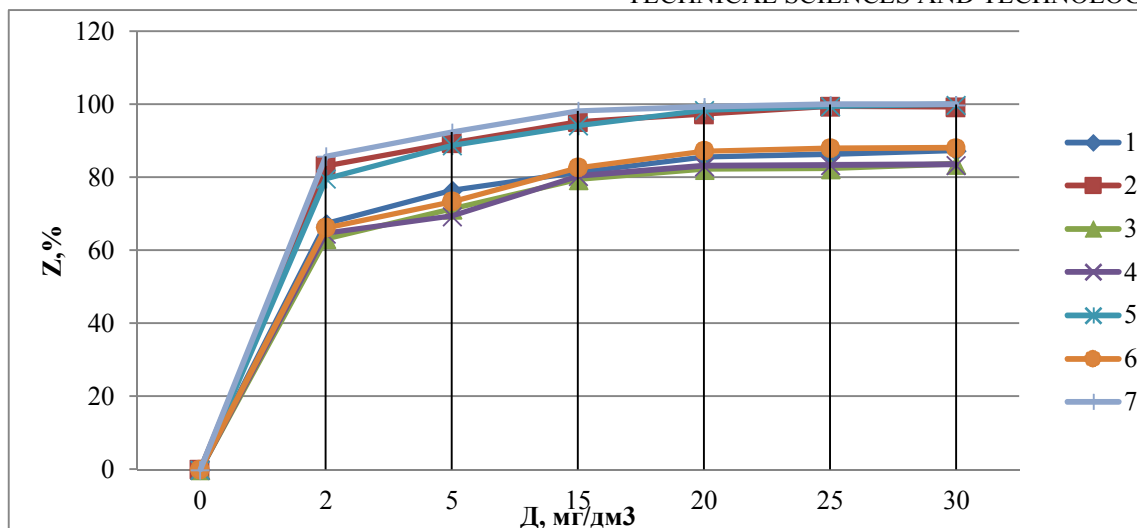


Рис. 1. Залежність ступеню захисту від корозії сталі Ст3 в артезіанській воді при використанні як інгібіторів ОЕДФК (1); ОЕДФК+ Zn^{2+} ; НТМФК (3); ДМСФН (4); ДМСФН+ Zn^{2+} (5); НОЕДМФК (6); НОЕДМФК + Zn^{2+} (7) при концентрації цинку (2; 4; 6) в концентрації 2 мг/дм³

Як видно з рисунку, усі випробувані інгібітори пасиваційного типу в умовах ефективно 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 та фосфінатних інгібіторів була оцінена на прикладі корозії сталі Ст20 (табл. 4).

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, %
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	-
НОЕДМФК	5	0,00649	0,95	-
	10	0,00651	0,96	-
	15	0,00680	1,0	-

Як видно із табл. 4, у мінералізованому розчині (модельний розчин № 3), жодний із інгібіторів не забезпечив зниження корозії сталі. Очевидно, що за високих концентрацій хлоридів та сульфатів формування пасиваційної кисневої плівки неможливе. При цьому зі 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 при взаємодії із водою. Про ефективність використаних нами інгібіторів можна судити по результатах, наведених у табл. 5.

*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 гальму- вання корозії		Ступінь захисту від корозії, %	
Тіокарбамід	10	0,00649	0,0651	1,047	1,037	4,50	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	-

Насамперед треба зазначити, що будь який із використаних інгібіторів був ефективним лише при значних концентраціях 25–50 мг/дм³. Із переходом від модельного розчину № 1 до розчину № 3 активність води зростала, а ефективність інгібіторів знижувалась.

Із використаних кращими були бензотріазол та бензімідазол. Ступінь захисту при дозі 50 мг/дм³ сягав 71–78 %.

Очевидно, що ці інгібітори перспективні при захисті сталі від корозії в мінералізованих водах.

Висновки відповідно до статті. Створено нові методи синтезу диметилсульфонатфосфіна натрію та нітрилоксиетилдиметилфосфінової кислоти із доступних реагентів.

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

Показано, що інгібітори пасиваційного типу неефективні для захисту від корозії металів у високо мінералізованих водах. Захист металів від корозії забезпечують інгібітори адсорбційного типу.

Список використаних джерел

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: ІПНБ, 2007. 139 с.
4. Іванов С. В., Манчук Н. М., Борсук П. С. Загальна хімічна технологія : промислові хіміко-технологічні процеси: навч. посіб. Київ: НАУ, 2010. 280 с.
5. Пуришкевич В. М. Водоподготовка оборотных промышленных вод безсточной 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. Вып. 26, № 1. С. 89–94.

9. Гомеля Н. Д. Новые ингибиторы коррозии и отложений осадков для систем водоциркуляции. *Химия и технология воды*. 2017. Т. 39, № 2 (256). С. 169–177.

References

1. Bychenok, M. M., Ivaniuta, S. P., Yakovlev, Ye. O (2008). *Ryzyky zhyttiedialnosti u pryrodno-tekhnohennomu seredovyshchi [Risks of vital activity in natural-technogenic environment]*. Kyiv: ПІІ [in Ukrainian].

2. Tyr, S. H., Bobotko, Z. A., Hlushko, I. D. (1993). Otsenka effektivnosti ingibitorov v sredakh oborotnogo vodonasabzheniia [Evaluation of the effectiveness of inhibitors in water recycling environments]. *Zashchita metallov – Metal protection*, 29, 1, 158–160 [in Russian].

3. Voloshkina, O. S., Yakovliev, Ye. O., Udod, V. M. (2007). *Pytannia ekolohichnoi bezpeky poverkhnevyykh vodnykh ob'ektiv [Environmental safety issues for surface water bodies]*. Kyiv: EPNB [in Ukrainian].

4. Ivanov, S. V., Manchuk, N. M., Borsuk, P. S. (2010). *Zahalna khimichna tekhnolohiia: promyslovi khimiko-tekhnolohichni protsesy [General chemical technology: industrial chemical-technological processes]*. Kyiv: NAU [in Russian].

5. Puryshkevych, V. M. (2003). Vodopodgotovka oborotnykh promyshlennykh vod bezstochnoi sistemy vodoobespecheniia [Water treatment of circulating industrial waters of the waste water supply system]. *Mir tekhniki i tekhnologii – World of Engineering and Technology*, 6, 68–69 [in Ukrainian].

6. Kovalchuk, A. P. (2004). Rezultat primeniia ingibitora nakipeobrazovaniia i korrozii OEDF-tcink v sisteme teplosabzheniia Rostovskoi TETc-2 [The result of the application of scale inhibitor and corrosion OEDP-zinc in the heat supply system of Rostov CHP-2]. *Promyshlennaia enerhetika – Industrial energy*, 11, 34–35 [in Russian].

7. Kuznetsov, Iu. I. (2002). Sovremennoe sostoianie teorii ingibirovaniia korrozii metallov [Current state of the theory of corrosion inhibition of metals]. *Zashchita metallov – Metal protection*, 38 (2), 122–131 [in Russian].

8. Kushch, A. V., Gomelia, N. D., Stavskaiia, S. S. (2004). Novyi fosfororganicheskii ingibitor korrozii s bakteritsidnym deistviem dlia vodooborotnykh sistem okhlazhdeniia [New organophosphorus corrosion inhibitor with bactericidal action for water cooling systems]. *Khimiia i tekhnologiia vody – Chemistry and water technology*, 26 (1), 89–94 [in Russian].

9. Gomelia, N. D. (2017). Novye ingibitory korrozii i otlozhenii osadkov dlia sistem vodotcirkuliatcii. [New corrosion and sediment inhibitors for water circulation systems]. *Khimiia i tekhnologiia vody – Chemistry and water technology*, 39 (2 (256)), 169–177 [in Russian].

UDC 628.164

Mykola Gomelia, Olena Stepova, Viktor Kamaev

DEVELOPMENT OF METAL CORROSION INHIBITORS IN WATER ENVIRONMENTS WITH DIFFERENT MINERALIZATION LEVEL

Urgency of the research. 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.

Target setting. 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.

Actual scientific researches and issues analysis. 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.

Uninvestigated parts of general matters defining. Creation of effective corrosion inhibitors based on derivatives of phosphorous and dimethylolphosphinic acids, perspective stabilizers of scale formation.

The research objective. 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.

The statement of basic materials. 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 dimethylphosphonic

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

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.

Conclusions. New methods for the synthesis of dimethylsulfonate phosphinate of sodium and nitryloxyethyl dimethylphosphonic acid from available reagents have been developed.

Metal corrosion inhibitors based on sodium dimethylsulfonate phosphinate and nitryloxyethyl dimethylphosphonic 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.

Keywords: corrosion; braking factor; the degree of protection against corrosion; phosphonic acids; corrosion inhibitors.

Table: 5. Fig.: 1. References: 9.

Гомеля Микола Дмитрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет імені І. Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Gomelya Mykola – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Plant Polymers Ecology and Technology, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: m.gomelya@kpi.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1165-7545>

Scopus Author ID: 6507653734

Степова Олена Валеріївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної екології та природокористування, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка (просп. Першотравневий, 24, м. Полтава, 36011, Україна).

Stepova Olena – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Ecology and Environmental Management, Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk (24 Pershotravnevyi Av., 36011 Poltava, Ukraine).

E-mail: alenastepovaja@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6346-5484>

Scopus Author ID: 57193890417

Камасєв Віктор Сергійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет імені І. Сікорського», (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Kamaiev Viktor – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Plant Polymers Ecology and Technology, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).