



Т. М. Войтович¹, В. В. Ковалишин¹, О. П. Войтович²

¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

²Головне управління ДСНС України у Львівській області, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6375-6548> – Т. М. Войтович

<https://orcid.org/0000-0002-5463-0230> – В. В. Ковалишин

<https://orcid.org/0009-0007-7042-1010> – О. П. Войтович



voitovych.tm@ldubgd.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КАРБОЗОЛІНУ ТА ОКСИЕТИЛІДЕНДИФОСФОНОВОЇ КИСЛОТИ НА КОРОЗИЙНУ АКТИВНІСТЬ РОБОЧИХ РОЗЧИНІВ ПІНОУТВОРЮВАЧІВ

Постановка проблеми. При тривалому зберіганні водних розчинів вогнегасних речовин виникає таке негативне явище, як корозія. Як наслідок, знижується вогнегасна ефективність розчинів, значно погіршуються властивості, а також в процесі використання може виникнути блокування виходів вогнегасних речовин. Існують профілактичні заходи, які можна вжити, щоб уникнути корозії, а саме: покриття посудин для зберігання вогнегасних речовин лакофарбовими чи полімерними матеріалами, використання інгібіторів корозії, а також додавання до вогнегасних речовин антикорозійних добавок.

Мета. Провести оцінку якості полімерних і фарбованих покриттів всередині корпусів вогнегасників при зберіганні в них робочих розчинів піноутворювачів різного складу, а також провести експериментальні дослідження щодо впливу карбозоліну та оксиетилідендифосфонової кислоти на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів.

Методи досліджень. У роботі було використано візуальний метод оцінки корпусів вогнегасників і розчинів вогнегасних речовин. Також було застосовано гравіметричний метод визначення швидкості корозії за втратою маси сталевих пластин, занурених у досліджувані водні розчини. Суть методу полягала у визначенні середньої швидкості втрати маси з одиниці площі металевих пластин вуглецевої сталі марки Ст3 під час їх витримки у досліджуваних зразках робочих розчинів піноутворювачів.

Висновки. Встановлено, що навіть найменша втрата цілісності полімерного покриття посудин для зберігання вогнегасних речовин призводить до його відшарування і погіршення захисних властивостей. Пошкодження покриття може призвести до припинення подавання вогнегасної речовини через забивання отворів і каналів відлущеними частинами покриття чи продуктами корозії.

Результати експериментальних досліджень показали, що корозійна активність робочих розчинів піноутворювачів «Барс S-1» та «Барс S-2» з додаванням карбозоліну та оксиетилідендифосфонової кислоти є меншою відповідно у 1,58-2,19 раза та у 1,26-1,57 раза залежно від марки піноутворювача.

Ключові слова: піноутворювач, корозія, інгібітор корозії, карбозолін, оксиетилідендифосфорова кислота.

Т. М. Voitovych¹, V. V. Kovalyshyn¹, O. P. Voitovych²

¹Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

²The Main Department of the State Emergency Service of Ukraine in the Lviv Region, Lviv, Ukraine

RESEARCH ON THE INFLUENCE OF CARBOZOLINE AND ETIDRONIC ACID ON THE CORROSION ACTIVITY OF FOAM CONCENTRATE SOLUTIONS

Problem Statement. Corrosion is a negative phenomenon that occurs during long-term storage of aqueous solutions of extinguishing agents. As a result, the fire extinguishing efficiency of solutions decreases, their properties deteriorate significantly, and blockage of extinguishing agent outlets may occur during use. There are preventive measures that can be taken to avoid corrosion, namely, coating the containers for storing extinguishing agents with paint or polymeric substances, using corrosion inhibitors, and adding anti-corrosion additives to extinguishing agents.

Research Objective. The aim of this study was to evaluate polymeric and painted coatings' quality inside the fire extinguishers with foam solutions of various compositions. The study also evaluated the effect of carbozoline and etidronic acid on the corrosion activity of foam solutions through experiments.

Research Methods. The fire extinguisher bodies and extinguishing agent solutions were evaluated using visual assessment method. Gravimetric method was used to determine the corrosion rate by measuring the weight loss of steel plates immersed in the examined aqueous solutions. The aim was to determine the average rate of mass loss per unit area of St3-grade carbon steel plates when exposed to the studied samples of foam concentrate solutions.

Conclusions. It was found that even the slightest loss of integrity of the polymeric coating of tanks where the extinguishing agents are stored leads to its delamination and deterioration of protective properties. Coating damage can lead to the cessation of the extinguishing agent supply due to clogging of supply channels by exfoliated parts of the coating or corrosion products.

The results of experimental studies have shown that the corrosion activity of Bars S-1 and Bars S-2 foam concentrate solutions with the addition of carbozoline and etidronic acid is 1.58-2.19 times and 1.26-1.57 times lower, respectively, depending on the brand of the foaming agent.

Keywords: foaming agent, corrosion, corrosion inhibitor, carbozoline, etidronic acid.

Постановка проблеми. Одним із основних напрямків вдосконалення піноутворювачів є збільшення терміну їх зберігання завдяки зниженню корозійної активності та (або) інгібуванню розвитку гнильних бактерій (тобто зменшення швидкості забруднення продуктами корозії та поверхнево активними речовинами) [1].

Корозія є поширеною проблемою в пожежній справі. Більшість систем трубопроводів містять її сліди. Зазвичай корозія є нормальним і безпечним явищем за умови, що вона зводиться до мінімуму, але не у випадку посудин систем автоматичного пожежогасіння та вогнегасників, які виготовлені із металу чи залізобетону (резервуари для зберігання піноутворювачів).

Звичайними методами захисту від корозії є нанесення на поверхню фарб чи інших покриттів, зокрема, полімерних (епоксидних) за допомогою пульверизатора. Щоб захист був ефективним, необхідно покрити усі відкриті поверхні, інакше процес корозії прискориться на незахищених ділянках. У той час як відкриті поверхні можна легше захистити, ті поверхні, які розташовані у внутрішніх порожнинах каркасу можуть бути складнішими для захисту. Досягти повного покриття внутрішніх поверхонь може бути надзвичайно складно, а в деяких випадках – неможливо [2]. Також при нанесенні зсередини посудини захисного покриття немає гарантій, що воно з часом не відшарується, залишиться цілісним після падінь, ударів чи інших чинників. Зокрема, перевірити стан покриття всередині вогнегасника, залишаючи його в робочому стані, практично неможливо [3].

Тому завданням дослідження є перевірка впливу корозії на сталеві посудини, в яких зберігаються вогнегасні речовини, наприкладі вогнегасників (з полімерним, фарбованим покриттям та без покриття). А також дослідження зменшення корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів шляхом додавання інгібіторів корозії.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Раніше у своїх роботах ми досліджували вплив алкілімідозоліну та алкілімідозоліну М на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів.

Залежно від марки піноутворювача корозійна активність зменшилась у 1,9-3,5 раз та у 5-18,2 раз відповідно [4]. Також проблемою зниження корозійної активності вогнегасних речовин займались чимало вчених [5-11]. У роботі [5] було проведено оцінку корозійної стійкості вуглецевої сталі, де досліджуваними корозійними середовищами були дощова вода, вода Чорного моря та вогнегасний розчин. В результаті досліджень було встановлено, що найбільш агресивним корозійним середовищем виявився саме вогнегасний розчин.

Автори [6-8] у своїх роботах зменшували корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів введенням гідрофосфату амонію. Автор [9] провів експериментальні дослідження з визначення впливу модифікувальних добавок (Na_2SiO_3 та K_2CO_3) на інтенсивність процесів корозії та біологічного заростання водозаповненого трубопроводу системи пожежогасіння. У роботі [10] автори вивчали роль поверхнево активних речовин для захисту різних металів або сплавів, які зазвичай використовуються як матеріали для пожежного обладнання.

Робота [11] спрямована на аналіз можливості поліпшення корозійної стійкості вуглецевої сталі у вогнегасному розчині. У цьому дослідженні науковці оцінювали потенціал використання методу нанесення фосфатного покриття на поверхню сталі, з якої виготовленні компоненти засобів захисту від падіння (гачки, карабіни).

Метою дослідження є визначення впливу карбозоліну та оксиетилідендифосфатової кислоти на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів.

Виклад основного матеріалу. Як зазначалось вище, для зменшення впливу корозії на розчини вогнегасних речовин часто використовують фарбові чи полімерні покриття, які наносять на внутрішню частину посудин (вогнегасників), в яких вони зберігаються.

Відповідно до ДСТУ 3734-98 [12], після випробування водяних, пінних, повітряно-пінних вогнегасників на внутрішню корозійну стійкість повинні бути відсутні:

– видимі ознаки корозії металу, відшарування, тріщини або пухири на корпусі вогнегасника;
– видимі зміни кольору вогнегасної речовини, за винятком змін, викликаних процесом теплового впливу.

Для оцінки корозійної активності

вогнегасників з різним внутрішнім покриттям було використано два робочих розчини піноутворювачів різних марок і різних складів, які використовуються у промисловому виробництві.

На рисунку 1 зображено полімерне покриття внутрішньої частини корпусу вогнегасника.



Рисунок 1 – Розрізаний корпус вогнегасника з тріщиною у внутрішньому полімерному покритті до витримки в ньому розчину №1

Для оцінки стійкості полімерного покриття в ньому було зроблено незначну тріщину перед витримкою вогнегасної речовини, оскільки в процесі експлуатації така тріщина може утворитись при незначних фізичних пошкодженнях чи

неякісному процесі покриття. В якості вогнегасної речовини було використано розчин №1 (6%-ий робочий розчин піноутворювача «Барс S-2» з додаванням 1% карбонату натрію і 1% тетраборату натрію).



Рисунок 2 – Розрізаний корпус вогнегасника з тріщиною у внутрішньому полімерному покритті після витримки в ньому розчину №1

Як видно з рисунка 2, навіть невелике порушення цілісності полімерного покриття призводить до його відшарування, як наслідок, такий вогнегасник вже не відповідатиме загальним

технічним вимогам [12].

Розчином №1 було заповнено вогнегасник без покриття (рисунки 3).



а)



б)

Рисунок 3 – Корпус вогнегасника всередині (а) і розчин №1 (б) після витримки розчину у вогнегаснику

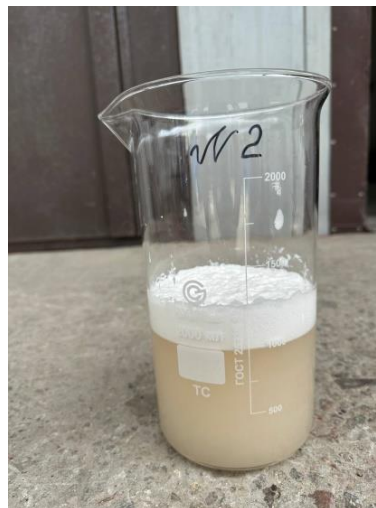
Як видно з рисунка 3, робочий розчин піноутворювача (розчин №1) змінив своє забарвлення (рисунок 3б) і на внутрішніх стінках вогнегасника видно сліди корозії (рисунок 3а).

Зміна кольору розчину також свідчить про те, що такий вогнегасник не відповідає технічним вимогам [12].

Розчин №2 (6%-ий робочий розчин піноутворювача «Барс S-2» з додаванням 14% карбонату натрію, 10% спирту і 1% тетраборату натрію) заливали у вогнегасник без внутрішнього покриття (рисунок 4) і у вогнегасники з фарбованим внутрішнім покриттям (рисунок 5).



а)

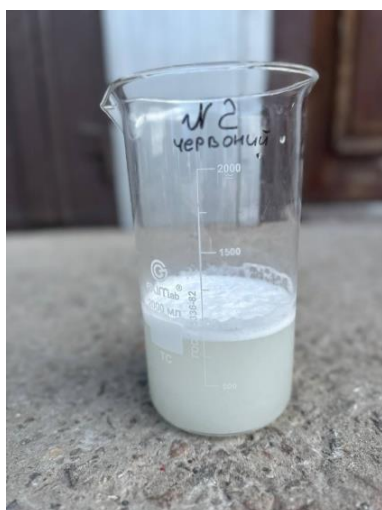


б)

Рисунок 4 – Корпус вогнегасника всередині (а) і розчин №2 (б) після витримки розчину у вогнегаснику

Як видно з рисунка 5, всередині корпусу вогнегасника наявна незначна корозія, а розчин №2 трішки змінив свій колір. Але ця зміна є значно

меншою, ніж у випадку з розчином №1. Причиною може бути більша кількість карбонату натрію у розчині, який може виконувати роль інгібітора корозії.



а)



б)

Рисунок 5 – Розчин №2 після витримки у вогнегаснику з червоним фарбованим покриттям всередині (а) та з чорним фарбованим покриттям (б)

Як видно з фото, колір розчину №2 у вогнегаснику з червоним фарбованим покриттям всередині не змінився (рисунок 5а).

У випадку з чорним фарбованим покриттям спостерігається незначна зміна кольору (рисунок 5б), що може бути пов'язано з хімічною взаємодією

між розчином і фарбою.

Використання інгібіторів корозії у розчинах вогнегасних речовин є надійнішим, простішим і дешевішим способом зменшення їх корозійної активності, ніж використання захисного покриття всередині вогнегасників. Тому ми зосередили нашу

увагу на дослідженні таких інгібіторів, як карбозолін та оксиетилідендифосфонова кислота.

Оксиетилідендифосфонова кислота $C_2H_8O_7P_2$ (далі ОЕДФ) є органічною сполукою, яку застосовують в різних сферах, як ліки, миючий

засіб, засіб для очищення води та косметичний засіб. ОЕДФ була запатентована у 1966 році та схвалена для медичного використання у 1977 році. ОЕДФ утворює комплекси із залізом та іншими елементами [13].

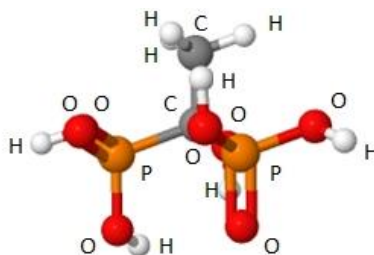


Рисунок 6 – Структурна формула молекули оксиетилідендифосфанової кислоти [14]

Сьогодні для одержання інгібіторів часто використовують продукти та відходи різних виробництв. У зв'язку з цим перспективним є застосування продуктів нафтохімії, включаючи продукти та відходи нафтохімічних виробництв для створення нових високоефективних та порівняно недорогих інгібіторів корозії [15]. Тому поряд із ОЕДФ ми у своїй роботі вирішили також дослідити карбозолін.

У дослідженнях було використано карбозолін марки АК-М №5, який часто використовується у промисловому виробництві. Карбозолін є рідиною, яка зберігає свою текучість при низьких температурах і тому його можна застосовувати в якості добавки до вогнегасних речовин, що є придатними для гасіння в умовах низьких температурах.

ОЕДФ та карбозолін є промисловими продуктами, які випускаються для захисту кородуючих сталевих поверхонь.

Експериментальні дослідження з визначення корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів проводились гравіметричним методом відповідно до методики [16].

Досліджено вплив карбозоліну та оксиетилідендифосфанової кислоти на швидкість

корозії в різних модельованих системах.

За корозійне середовище було взято 6 %-ий робочий розчин піноутворювача загального призначення «Барс S-1» та 6 %-ий робочий розчин піноутворювача для отримання піни підвищеної стійкості «Барс S-2».

Контрольними зразками були металеві пластинки зі сталі Ст3 товщиною 1,5 мм, довжиною 70 мм, шириною 40 мм, марковані порядковими номерами.

Суть досліджень полягала у визначенні середньої швидкості втрати маси металевих пластин, занурених у корозійне середовище протягом 30 діб при кімнатній температурі.

Величину втрати маси пластин визначали як різницю результатів зважування після обробки (витримки в досліджуваному розчині і травлення у натрію виннокислому) та перед обробкою.

У дослідженні було використано: ваги ВТУ 210/ С3, ексикатори (скляні циліндричні посудини), пластини металеві плоскі шліфовані, виготовлені зі сталі Ст3, штангенциркуль ШЦ-І-200-0,02, термометр ТЛ-2, барометр М-67, гігрометр психрометричний ВИТ-1, шкурка шліфувальна паперова водостійка, папір шліфувальний лабораторний, натрій виннокислий, ацетон.



Рисунок 7 – Фото металевих пластин до (а) і після (б) їх витримки у робочих розчинах піноутворювачів «Барс S-1» та «Барс S-2» з додаванням карбозоліну, оксиетилідендифосфанової кислоти та без них

Середню питому швидкість втрати маси пластини v_n ($\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$) розраховували за формулою

$$v_n = \frac{P}{S \cdot \tau} \quad (1)$$

де P – втрата маси пластини, кг ;

S – площа поверхні контакту пластин з розчином вогнегасної речовини, м^2 ;

τ – тривалість експозиції пластини в розчині вогнегасної речовини, с [16].

Отримані значення параметрів представлено у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1

Результати випробувань з визначення корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів

№ з/п	Марка піноутворювача	Назва інгібітора	Кількість інгібітора на 1л робочого розчину піноутворювача, г	Номер пластин	Втрата маси металеві пластини г	Швидкість корозії, $\cdot 10^{-8} \text{ кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	Усереднена швидкість корозії, $\cdot 10^{-8} \text{ кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$
1.	БАРС S-1	-	-	1	0,089	1,19	1,204 \pm 0,0125
				2	0,103	1,22	
2.	БАРС S-2	-	-	3	0,089	0,967	0,964 \pm 0,0028
				4	0,091	0,96	
3.	БАРС S-1	Карбозолін	1	5	0,046	0,597	0,549 \pm 0,0486
				6	0,036	0,5	
4.	БАРС S-2	Карбозолін	1	7	0,051	0,62	0,61 \pm 0,0125
				8	0,049	0,59	
5.	БАРС S-1	ОЕДФ	1	9	0,071	0,73	0,767 \pm 0,0361
				10	0,082	0,8	
6.	БАРС S-2	ОЕДФ	1	11	0,07	0,76	0,76 \pm 0,0014
				12	0,066	0,758	

З аналізу результатів можна зробити висновок, що карбозолін проявив себе краще, ніж ОЕДФ. Отримані залежності швидкості корозії

пластин в робочих розчинах піноутворювачів «Барс S-1» та «Барс S-2» для різних інгібіторів корозії наочніше представлено в таблиці 2.

Таблиця 2

Зміна швидкості корозії металевих пластин у середовищі з інгібітором порівняно з середовищем без інгібітора

№	Назва піноутворювача	Зменшення швидкості корозії з інгібітором	
		Карбозолін	ОЕДФ
1.	БАРС S-1	у 2,19 раза	у 1,57 раза
2.	БАРС S-2	у 1,58 раза	у 1,26 раза

Кількісна оцінка ефективності дії інгібітора певної концентрації в корозійному середовищі характеризується захисним ефектом і враховує швидкість корозії металевих пластин марки Ст3.

Захисний ефект Z – це відношення різниці швидкостей корозії металу без інгібітора і з ним до швидкості корозії металу без інгібітора у відсотках:

$$Z = \frac{v_{n0} - v_{n1}}{v_{n1}} \cdot 100\% \quad (12)$$

де v_{n0} – швидкість корозії без інгібітора ($\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$); v_{n1} – швидкість корозії з інгібітором ($\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$).

У таблиці 3 та на рисунку 8 наведено результати розрахунку захисного ефекту інгібіторів корозії.

Таблиця 3

Захисний ефект інгібіторів корозії в різних середовищах

№	Назва інгібітора корозії	Швидкість корозії, $\cdot 10^{-8} \text{ кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	Захисний ефект, %
БАРС S-1			
1.	Без інгібітора	1,204	0
2.	Карбозолін	0,549	54,4
3.	ОЕДФ	0,767	36,3
БАРС S-2			
4.	Без інгібітора	0,964	0
5.	Карбозолін	0,61	36,72
6.	ОЕДФ	0,76	21,16

Захисний ефект, %

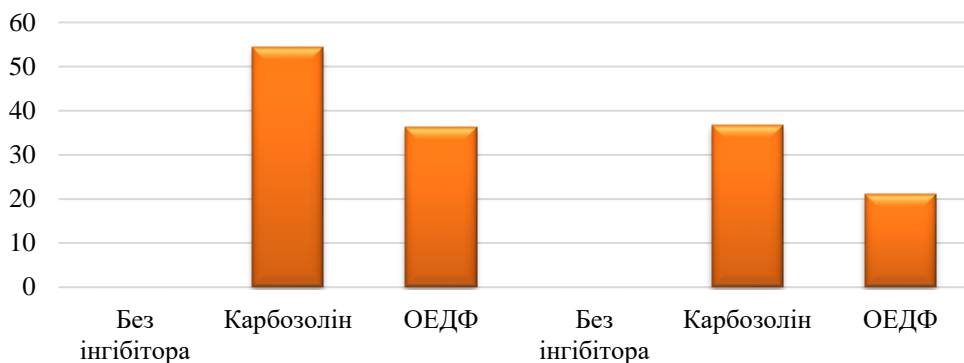


Рисунок 8 – Захисний ефект інгібіторів корозії у різних середовищах

Висновки

При втраті цілісності може відбутись руйнування будь-якого покриття (лакофарбового, полімерного тощо). Для систем пожежогасіння відлущування частин покриття чи утворення осаду продуктів корозії може призвести до перекривання отворів, каналів запірно-пускових пристроїв, як наслідок припинення подавання вогнегасної речовини в осередок пожежі, що є основною функцією таких систем.

Незважаючи на те, що в літературі розглядалися різноманітні методи і системи оцінки корозії (матеріал/корозійне середовище), досі не було досліджень, які б вивчали корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів з додаванням карбозоліну та оксиетилідендифосфонової кислоти.

У результаті експериментальних досліджень піноутворювачів «БАРС S-1» та «БАРС S-2» за однакової концентрації у робочих розчинах та за однакової концентрації інгібіторів корозії, встановлено, що:

- корозійна активність робочих розчинів піноутворювачів з додаванням карбозоліну зменшується у 1,58-2,19 рази та оксиетилідендифосфонової кислоти – у 1,26-1,57 рази, залежно від марки піноутворювача;

- у всіх випробуваннях як інгібітор корозії карбозолін проявив себе краще, ніж оксиетилідендифосфорова кислота.

Список літератури:

1. Нуязнін В., Кропива М., Майборода А., Стилик І., Долішній Ю., Бенедюк В. The analysis of foreign, national regulatory documents and research on the development and application of foaming agents of general purpose for extinguishing fires. Надзвичайні ситуації попередження та ліквідація. 2021. №5 (2). С. 110-118.

2. Corrosion-Inhibiting Self-Expanding Foam Tech Briefs. Engineering Solutions for Design & Manufacturing URL:

www.techbriefs.com/component/content/article/tb/pub/briefs/materials/27201 (дата звернення: 31.10.2023).

3. Войтович Т. М. Дослідження впливу інгібіторів на зниження корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій : матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Черкаси, 18-19 травня 2017 р. Черкаси, 2017. С. 183-184.

4. Войтович Т. М., Ковалишин В. В., Кошеленко В. В. Дослідження впливу інгібіторів корозії на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів. Пожежна безпека. 2017. №30. С.16-21.

5. Burduhos-Nergis D.-P., Vizureanu P., Sandu A. V., Bejinariu C. Evaluation of the Corrosion Resistance of Phosphate Coatings Deposited on the Surface of the Carbon Steel Used for Carabiners Manufacturing. Applied Sciences. 2020. Vol. 10, No 8. P. 2753. DOI: doi.org/10.3390/app10082753

6. Кісіль Т. Є., Ковалишин В. В., Боровиков В. О., Антонов А. В. Зниження корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів. Пожежна безпека. 2004. № 4. С. 49–56.

7. Боровиков В. О., Ковалишин В. В., Антонов А. В., Козяр Н. М. Вплив гідрофосфату амонію на якість зарядів до повітряно-пінних вогнегасників та установок пожежогасіння. Пожежна безпека. 2003. №3. С. 146-156.

8. Козяр Н. М. Підвищення ефективності застосування водних та водопінних вогнегасних речовин : дис. ... канд. техн. наук : 21.06.02. Львів, 2009. 192 с.

9. Балло Я. В. Підвищення ефективності роздільних від господарсько-питного водопроводу систем водяного пожежогасіння висотних будинків : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 21.06.02. Львів, 2017. 21 с.

10. Radwan K., Rakowska J., Slosorz Z. Impact of surfactants used in extinguishing agent to corrosiveness of firefighting equipment, Chapter 27. In Advances and

Trends in Engineering Sciences and Technologies / Ali M., Platko P. Eds. London, 2015. pp. 159–164.

11. Burduhos-Nergis D.-P., Vasilescu G. D., Burduhos-Nergis D.-D., Cimpoesu R., Bejinariu C. Phosphate Coatings: EIS and SEM Applied to Evaluate the Corrosion Behavior of Steel in Fire Extinguishing Solution. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, No. 17. P. 7802. DOI: doi.org/10.3390/app11177802

12. ДСТУ 3734-98 Вогнегасники пересувні. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2000-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2000. 26 с. URL: online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48549

13. Fischer J., Ganellin, C. R. Analogue-based Drug Discovery. *Chemistry International – Newsmagazine for IUPAC*. 2010. Vol. 32, No. 4. P. 12-15. DOI: doi.org/10.1515/ci.2010.32.4.12

14. Structure & Deep Data of Etidronic acid (C₂H₈O₇P₂) URL:

www.molinstincts.com/structure/Etidronic-acid-estr-CT1001177096.html (дата звернення 31.10.2023).

15. Романчук В. В., Топільницький П. І. Захисні властивості інгібіторів корозії у різних технологічних процесах. Хімія, технологія речовин та їх застосування. Вісник НУ “Львівська політехніка». 2011. № 700. С. 469–473.

16. Методика №2000/2-ПУ-13 «Визначення корозійної активності водних розчинів вогнегасних речовин». Київ: УкрНДДПБ МВС України, 2000. 5 с.

References:

1. Nuianzin, V., Kropyva, M., Maiboroda, A., Stilik, I., Dolishnii, Y., & Benedjuk V. (2021). The analysis of foreign, national regulatory documents and research on the development and application of foaming agents of general purpose for extinguishing fires. *Emergency Situations: Prevention and Liquidation*, 5(2), 110-118.

doi.org/10.31731/2524.2636.2021.5.2-110-118

2. Corrosion-Inhibiting Self-Expanding Foam Tech Briefs. *Engineering Solutions for Design & Manufacturing* URL:

www.techbriefs.com/component/content/article/tb/pub/briefs/materials/27201 (last accessed 31.10.2023).

3. Voitovych, T. M. (2017). Doslidzhennia vplyvu inhibitoriv na znyzhennia korozii noi aktyvnosti robochykh rozchyniv pinoutvoriuvachiv [Study of the effect of inhibitors on reducing the corrosion activity of working solutions of foaming agents]. *Teoriia i praktyka hasinnia pozhezh ta likvidatsii nadzvychainykh sytuatsii*. [Theory and practice of fire extinguishing and liquidation of emergency situations]: Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference, Cherkasy, 183-184 [in Ukrainian].

4. Voitovych, T. M., Kovalyshyn, V. V., & Koshelenko, V. V. (2017). Doslidzhennia vplyvu inhibitoriv korozii na korozii nu aktyvnist robochykh rozchyniv pinoutvoriuvachiv [Research on influence of

corrosion inhibitors on corrosion activity of working solutions of foaming agents]. *Fire Safety*, 30, 16-21 [in Ukrainian].

5. Burduhos-Nergis, D.-P., Vizureanu, P., Sandu, A. V., & Bejinariu, C. (2020). Evaluation of the Corrosion Resistance of Phosphate Coatings Deposited on the Surface of the Carbon Steel Used for Carabiners Manufacturing. *Applied Sciences*, 10(8), 2753. doi.org/10.3390/app10082753

6. Kysil, T. Y., Kovalyshyn, V. V., Borovykov, V. O., & Antonov, A. V. (2004). Znyzhennia korozii noi aktyvnosti robochykh rozchyniv pinoutvoriuvachiv [Reduction of corrosion activity of working solutions of foaming agents]. *Fire Safety*, 4, 49-56 [in Ukrainian].

7. Borovykov, V. O., Kovalyshyn, V. V., Antonov, A. V., & Koziar, N. M. (2003). Vplyv hidrofosfatu amoniiu na yakist zariadiv do povitriano-pinnykh vohnehasnykh ta ustanovok pozhezhohasinnia [The influence of ammonium hydrogen phosphate on the quality of charges for air-foam fire extinguishers and fire extinguishing installations]. *Fire Safety*, 3, 146-156 [in Ukrainian].

8. Koziar, N. M. (2009). Pidvyshchennia efektyvnosti zastosuvannia vodnykh ta vodopinnykh vohnehasnykh rehovyn [Increasing the effectiveness of the use of water and water-foam fire extinguishing substances] [Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, Lviv State University of Life Safety] [in Ukrainian].

9. Ballo Y. V. (2017). Pidvyshchennia efektyvnosti rozdilnykh vid hospodarsko-pytneho vodoprovodu system vodianoho pozhezhohasinnia vysotnykh budynkiv [Raising work efficiency of firewater system in high-rise buildings]. [Dissertation abstract for the degree of candidate of technical sciences, Lviv State University of Life Safety] [in Ukrainian].

10. Radwan, K., Rakowska, J., & Ślosorz, Z. (2015). Impact of surfactants used in extinguishing agent to corrosiveness of firefighting equipment, chapter 27. In M. Ali & P. Platko (Eds.). *Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies*. (pp. 159-164). <https://doi.org/10.1201/b19249-31>

11. Burduhos-Nergis, D.-P., Vasilescu, G. D., Burduhos-Nergis, D.-D., Cimpoesu, R., & Bejinariu, C. (2021). Phosphate Coatings: EIS and SEM Applied to Evaluate the Corrosion Behavior of Steel in Fire Extinguishing Solution. *Applied Sciences*. 11(17), 7802. <https://doi.org/10.3390/app11177802>.

12. DSTU 3734-98 Vohnehasnyky peresuvni. Zahalni tekhnichni vymohy [State Standard of Ukraine 3734-98 Fire equipment. Mobile fire extinguishers. General technical requirements] (1998). URL: online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48549 [in Ukrainian].

13. Fischer, J., & Ganellin, C. R. Analogue-based drug discovery. (2010). Analogue-based

Drug Discovery. Chemistry International – Newsmagazine for IUPAC, 32(4), 12-15.
doi.org/10.1515/ci.2010.32.4.12

14. Structure & Deep Data of Etidronic acid (C₂H₈O₇P₂). Chemical Compounds Deep Data Source. URL: www.molinstincts.com/structure/Etidronic-acid-cstr-CT1001177096.html (last accessed 31.10.2023).

15. Romanchuk, V. V., Topilnytskyi, P. I. (2011). Zakhysni vlastyvoli inhibitoriv korozii u riznykh tekhnolohichnykh protsesakh [Protective properties of

corrosion inhibitors in various technological processes]. Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic" series: "Chemistry, technology of substances and their applications", 700, 469-473 [in Ukrainian].

16. Methodology 2000/2-PU-13 Vyznachennia korozii noi aktyvnosti vodnykh rozchyniv vohnehasnykh rehovyn [Determining the corrosion activity of aqueous solutions of fire-extinguishing substances]. Kyiv: UkrNDIPB of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine. (2000) [in Ukrainian].

© Т. М. Войтович, В. В. Ковалишин,
О. П. Войтович, 2023.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 07.11.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.