



DOI <https://doi.org/10.32447/20786662.46.2025.04>

Т. М. Войтович¹, В. В. Ковалишин¹, О. П. Войтович², І. І. Калужняк¹

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

² Головне 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
<https://orcid.org/0009-0009-1101-1403> – І. І. Калужняк
✉ voitovych.tm@ldubgd.edu.ua

ОГЛЯД СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОРОЗІЙНОЇ ДІЇ ПІНОУТВОРЮВАЧІВ ТА ЇХ РОБОЧИХ РОЗЧИНІВ НА ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМ ПОЖЕЖОГАСІННЯ

Постановка проблеми. Проблема корозії, спричиненої водними вогнегасними речовинами, є актуальною у сфері пожежної безпеки. Під час застосування піноутворювачів у стаціонарних та автономних системах пожежогасіння металеві елементи (резервуари, трубопроводи, насадки, клапани, спринклери тощо) зазнають агресивного впливу. У численних дослідженнях показано, що за потрапляння розчинів піноутворювачів на метал унаслідок хімічних реакцій утворюються продукти корозії, які погіршують надійність обладнання і навіть можуть призводити до відмов системи.

Мета полягає в аналізі сучасних досліджень корозійної активності піноутворювачів та їх робочих розчинів на автономні та стаціонарні системи пожежогасіння, а також виявленні шляхів зменшення шкідливої дії корозії як наслідку покращення протипожежного захисту об'єктів.

Опис матеріалу. Основні методи експериментального дослідження корозійної активності піноутворювачів включають занурення сталевих пластин у робочі розчини піни з подальшим вимірюванням втрати маси. Окрім гравіметричного методу, застосовують електрохімічні дослідження, що дають змогу встановлювати потенціал корозії та густину струму корозії. Такий підхід дає змогу кількісно порівняти агресивність різних типів піноутворювачів. Зокрема, протеїнові піни (та фторпротеїнові) під час експериментів виявилися одними з найагресивніших. Загалом синтетичні піни, що містять спеціальні стабілізатори та інгібітори, демонструють нижчу корозійну активність.

Для мінімізації корозійного впливу водних вогнегасних речовин рекомендують комплексний підхід. По-перше, застосовувати стійкі до корозії матеріали, уникати незахищеного карбонового металу та цинку. Існує практика внутрішнього захисту резервуарів та корпусів вогнегасників фарбами або полімерами. По-друге, до складу самих концентратів слід вводити корозійні інгібітори. По-третє, контролювати якість води, а саме застосовувати пом'якшену або демінералізовану воду для приготування робочого розчину піноутворювача, уникати солей і забруднень, що збільшують електропровідність середовища. По-четверте, після пожежогасіння слід своєчасно очищувати системи – видаляти залишки піни та продуктів корозії.

Так, міжнародний стандарт NFPA зазначає, що концентрати протеїнових піноутворювачів повинні містити інгібітори для захисту від корозії, а компоненти системи (трубопроводи, клапани) мають виконуватись з матеріалів, сумісних з піноутворювачем (латунь, бронза, нержавіюча сталь тощо). Тоді як для синтетичних вимагає вказівки на сумісність матеріалів. Також у стандарті регламентуються умови водопостачання, а саме вода повинна бути сумісною з концентратом піни та не містити зважених домішок або солей, що спричиняють додаткову корозію.

Щодо українських стандартів, то у ДСТУ EN 1568 немає чіткої вимоги щодо маркування саме корозійних властивостей. Це питання переважно врегульовується на рівні технічної документації виробника, а не на нормативному рівні з обов'язковим маркуванням. Інший український нормативний документ ДСТУ 3789:2015 вимагає, щоб піноутворювачі загального призначення мали низьку корозійну активність.

Висновки. Сучасний досвід показує, що під час проєктування та експлуатації систем пожежога-сіння необхідно враховувати корозійний вплив речовин на її елементи, а також створювати вимоги до експлуатації систем пожежога-сіння. Результати аналізу вказують на те, що найлегшим і найдешевшим способом зменшення корозійного впливу на системи пожежога-сіння є додавання до складу піноутво-рювачів інгібіторів, що буде потребувати додаткового дослідження їхньої вогнегасної здатності. Також необхідно переглянути нормативні документи щодо запобігання корозії у системах пожежога-сіння, а саме фарбового чи полімерного захисту внутрішніх поверхонь корпусів вогнегасників.

Ключові слова: корозія, піноутворювач, інгібітор корозії, система пожежога-сіння, вогнегасник.

T. M. Voitovych¹, V. V. Kovalyshyn¹, O. P. Voitovych², I. I. Kaluzhniak¹

*¹ Lviv State University of Life Safety,
Lviv, Ukraine*

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

REVIEW OF CURRENT RESEARCH ON THE CORROSIVE EFFECTS OF FOAM CONCENTRATES AND THEIR WORKING SOLUTIONS ON FIRE SUPPRESSION SYSTEM COMPONENTS

Problem statement. The problem of corrosion caused by aqueous firefighting agents remains highly relevant in the field of fire safety. When foam concentrates are used in fixed and autonomous fire suppression systems, metallic components (tanks, pipelines, nozzles, valves, sprinklers, etc.) are exposed to aggressive chemical interactions. Numerous studies have demonstrated that contact between foam solutions and metal surfaces initiates chemical reactions that form corrosion products, which in turn reduce equipment reliability and may even lead to system failure.

Objective. This study aims to analyze recent research on the corrosive activity of foam concentrates and their working solutions on autonomous and fixed fire suppression systems, and to identify strategies to mitigate the harmful effects of corrosion, thereby improving the fire protection of facilities.

Description of the material. The main experimental methods for assessing the corrosive activity of foam concentrates include immersing steel plates into foam working solutions followed by measuring mass loss. In addition to the gravimetric method, electrochemical analysis is employed to determine corrosion potential and corrosion current density. This approach enables a quantitative comparison of the corrosiveness of different types of foam concentrates. Notably, protein-based foams (including fluoroprotein foams) have shown the highest levels of corrosive activity in experimental conditions. In contrast, synthetic foams that include specialized stabilizers and corrosion inhibitors generally demonstrate lower corrosive effects.

To reduce the corrosive impact of aqueous firefighting agents, a multi-faceted approach is recommended. First, corrosion-resistant materials should be used, avoiding unprotected carbon steel and zinc. It is common practice to protect the internal surfaces of tanks and fire extinguisher bodies with paints or polymer coatings. Second, corrosion inhibitors should be incorporated directly into the foam concentrate formulations. Third, water quality should be controlled by using softened or demineralized water to prepare working solutions, thereby avoiding salts and contaminants that increase electrical conductivity. Fourth, after fire suppression activities, systems should be promptly cleaned to remove residual foam and corrosion products.

The international NFPA standard states that protein-based foam concentrates must include corrosion inhibitors, and that system components (e.g., piping, valves) must be made from materials compatible with the foam concentrate, such as brass, bronze, or stainless steel. For synthetic foams, material compatibility must be explicitly stated. Additionally, the standard regulates water supply conditions: the water used must be compatible with the foam concentrate and must not contain suspended particles or salts that could accelerate corrosion.

Regarding Ukrainian standards, DSTU EN 1568 does not provide specific requirements regarding the corrosive properties of foam concentrates. This issue is mainly addressed in the manufacturer's technical documentation, rather than being officially regulated with mandatory labeling. Another Ukrainian regulatory document, DSTU 3789:2015, requires that general-purpose foam concentrates exhibit low corrosive activity.

Conclusions. Current practice indicates that the design and operation of fire suppression systems must take into account the corrosive effects of firefighting agents on system components, and operational guidelines must be defined accordingly. The analysis suggests that the most straightforward and cost-effective method of mitigating corrosion is the inclusion of corrosion inhibitors in foam concentrate formulations. However, further research is needed to evaluate the fire-extinguishing performance of such enhanced compositions. It is also necessary to revise regulatory documents concerning corrosion prevention in fire suppression systems, particularly regarding the use of protective paint or polymer coatings on the internal surfaces of fire extinguisher bodies.

Key words: corrosion, foam concentrate, corrosion inhibitor, fire suppression system, fire extinguisher.

Постановка проблеми. Корозія відома як поступове руйнування матеріалів, що призводить до втрати структурної цілісності та погіршення функціональності поверхні [1]. Корозія металів є важливою проблемою систем пожежогасіння з точки зору як тривалості зберігання вогнегасних речовин, так і надійності системи [2]. У пожежній справі вона проявляється як поступове руйнування металевих елементів систем пожежогасіння внаслідок хімічних та електрохімічних процесів взаємодії металу з довкіллям [3]. Такі процеси відбуваються в резервуарах для зберігання піни (корпусах вогнегасників), трубопроводах, спринклерах, лінійних індукторах (ежекторах), таких як трубки Вентурі, шлангових з'єднаннях, форсунках [4–7].

Деякі іноземні організації, такі як National Fire Protection Association (NFPA), Electric Power Research Institute (EPRI), FM Global та European Fire Sprinkler Network, опублікували документи та стандарти, які намагаються вирішити ці проблеми. Проте наразі не існує узгодженої стратегії ні в Україні, ні закордоном (в Національній асоціації інженерів з корозії (National Association of Corrosion Engineers (NACE), зараз – AMPPE) щодо ефективного та дієвого зменшення корозії в системах протипожежного захисту [6].

У 1995 році компанія Allied Signal у Темпі, штат Аризона, Сполучені Штати Америки, зазнала серйозного збою спринклерної системи у своєму Всесвітньому обчислювальному центрі. У трубопроводі спринклерної системи утворився витік, який призвів до зупинки всіх виробничих операцій компанії на сході США на шість годин. Ця втрата продуктивності коштувала їм 16 мільйонів доларів [8].

У системах пожежогасіння корозія найчастіше виникає через контакт сталі з водою, киснем і домішками (електролітами, брудом), що призводить до утворення іржі, обростання внутрішньої поверхні труб і звуження їх перетину. З часом це може викликати витіки, втрату напору, а також вихід з ладу спринклерів і насосів, тобто суттєво зменшувати надійність протипожежних систем.

Піноутворювачі, що застосовуються як у переносних вогнегасниках, так і в стаціонарних системах пожежогасіння, містять поверхнево-активні речовини та розчинні солі. Хоча концентрати піноутворювачів здебільшого розроблені з урахуванням екологічності, до їхнього складу часто входять хлориди, сульфати, карбонати та інші речовини, що можуть посилювати корозію металів [2]. Для захисту внутрішніх поверхонь корпусів вогнегасників застосовують полімерні чи лакофарбові покриття [9].

Традиційно багато протипожежних водопроводів та вогнегасників виготовляється з вуглецевої сталі [10]. Тим часом існує небагато сучасних експериментальних досліджень впливу піноутворювачів та їх робочих розчинів на корозію металів.

Метою роботи є аналіз останніх досліджень щодо корозійної активності піноутворювачів та їх робочих розчинів, їхнього впливу на елементи систем протипожежного захисту, а також шляхів зменшення впливу корозії у таких системах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Відомо, що корозія створює багато проблем у системах пожежогасіння, особливо у вологих та попередньо діючих пожежних спринклерах [11–19]. Науковці [6; 20–23] показали, що продукти корозії, такі як горбки та окалина, осідають на оцинкованій та вуглецевій сталі, знижуючи ефективність спринклерних систем. У роботах [6; 20] всебічно розглядаються потенційні форми корозії у системах протипожежного захисту, такі як рівномірна, гальванічна, ерозійна, точкова корозія, корозія щілин, корозія, спричинена довкіллям, міжкристалічна та мікробіологічна корозія (MIC), передчасне спрацювання спринклерів, а також руйнування труб з хлорованого полівінілхлориду. Водночас проаналізовано параметри, що призводять до корозії та/або протікання сталевих трубопроводів у системах протипожежного захисту, такі як горбки, хімічний склад води, товщина спринклерних труб, корозія зварних швів, наявність повітря (у вологих системах) та залишкової води (у сухих системах).

Як матеріал для протипожежних трубопроводів іноді використовують нержавіючу сталь, оскільки вона зазвичай має кращу корозійну стійкість, ніж залізо або вуглецева сталь. Однак іноді несподівані корозійні пошкодження в системах з нержавіючої сталі спостерігалися лише після відносно короткого часу використання (від кількох тижнів до кількох років). Більшість таких корозійних пошкоджень було виявлено на зварних швах або в зонах термічного впливу на них. Одним з найважливіших факторів, що впливають на це, є поверхневі оксидні плівки, що виникають під впливом тепла зварювання за наявності кисню [10]. Науковці [10; 24] проаналізували руйнування труб з нержавіючої сталі в системах пожежогасіння, що контактують з природною або водопровідною водою, яка містить іони хлориду, марганцю та заліза. Автори вважають, що належний захист кореня шва важливий, особливо під час зварювання труб для систем протипожежного захисту, де вода береться з природних джерел (наприклад, з річок, озер або водопроводу), оскільки мікробіологічна корозія

(МІС) може значно підвищити ризик корозійних пошкоджень.

Для оцінки корозійного руйнування широко використовують електрохімічні методи, а саме растрову електронну мікроскопію та метод енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії. Ці методи дають змогу отримати корозійний потенціал, щільність струму корозії та оцінити поляризаційний опір шару металу [2]. Також вони дають можливість охарактеризувати металеву поверхню, вкриту або вільну від продуктів корозії, та за допомогою поляризаційних кривих визначити значення корозійного потенціалу, густини корозійного струму та глибини проникнення корозії.

Науковці [25] дослідили корозію нержавіючої сталі 304 у 3 % піноутворювачі Hydral (Італія), який є вискоєфективним типом синтетичного піноутворювача AFFF. Експерименти показали тісну відповідність між даними втрати ваги та електрохімічними вимірюваннями (анодна поляризація).

У роботах [2; 9; 26] дослідження корозії здійснювали експериментально за допомогою занурення зразків металів у робочі розчини піноутворювачів і вимірювання їх корозійного ушкодження. Для оцінювання застосовували гравіметричний метод (визначали швидкість корозії за втратою маси металевих зразків певної площі). У таких експериментах визначають середню швидкість зниження маси сталевих або алюмінієвих пластин під впливом заданої концентрації розчину піноутворювача [2; 9; 26]. Поряд з гравіметричними дослідженнями використовують оптичну візуальну оцінку стану покриттів після випробувань.

Експерименти вказують на значний вплив складу піноутворювача та інгібіторів на швидкість корозії металів. Зокрема, в дослідженні [2] вимірювання втрати ваги маловуглецевої сталі та алюмінієвого сплаву (AlSiCuMg), що піддалися корозії в протейнових піноутворювачах Fomtec P 6 % (Швеція) та Profoam 806 (Італія), показали, що сплав алюмінію демонструє меншу швидкість втрати ваги, ніж вуглецева сталь. Однак загальна тенденція обох матеріалів полягає в досягненні найбільшої швидкості корозії в перший період впливу, після чого триває стаціонарний стан за тривалого занурення, протягом якого фіксувалися майже постійні швидкості корозії.

Швидкості корозії, розраховані за густиною струму корозії з використанням електрохімічними методами, добре узгоджуються з показниками, отриманими за допомогою вимірювань втрати ваги, хоча вони на порядок вищі. Науковцями у джерелі [2] також підкреслено, що різниця

в хімічному складі концентратів визначає різні корозійні властивості. Білки, що містяться в піноутворювачах, можуть сприяти комплексоутворенню катіонів металів (заліза, алюмінію) в електrolіті, тому рівномірна корозія прискорюється за їх зниженої концентрації.

Щодо дослідження різних типів піноутворювачів, то авторами [4] було виявлено, що корозійна активність стандартного протейнового піноутворювача щодо вуглецевої сталі приблизно в 13 разів вища, ніж у AFFF, тоді як нержавіюча сталь мала нульову швидкість корозії.

Корозійні властивості інших пінних вогнегасних піноутворювачів (3M FC 203 CE (AFFF, США), Angus FP 70 (фторпротейнова, Велика Британія) та National Foam XL3 (фторпротейнова, США), всі з вмістом Cl 21–38 г/л) були досліджені у роботі [5]. Випробовуючи поширені будівельні матеріали, вуглецеву сталь, нержавіючу сталь та алюмінієвий сплав, автори виявили, що швидкість корозії не була пропорційна вмісту галогенідів у вогнегасній речовині. Фторпротейновий піноутворювач Angus FP 70 виявився найбільш корозійним для вуглецевої сталі.

Також у іншій роботі було проведено дослідження сумісності металів з фторпротейновою ПАР та піноутворювачів без фтору (fluoropolymer-free foam concentrate (F3) RF Solberg) [27]. Випробування зануренням проводилися для чистих металів (алюмінію, міді), чавуну, маловуглецевих та нержавіючих сталей та сплавів (CuNi, латунь, бронза, монель, сплави магній або титану). Втрати ваги, визначені порівняно зі значеннями в дистильованій воді, показали, що вода є більш агресивною, ніж піноутворювачі або їх розчини. Такі результати пояснюють, що самі піноутворювачі часто містять інгібітори чи щільно пригнічені агресивні іони, а чиста вода без них може бути більш «активною» для корозії.

Крім США, у інших країнах було проведено небагато досліджень корозії у пожежній галузі. У роботах [7; 28; 29] описано рівномірну та локалізовану корозію вогнегасного обладнання, а також запропоновано найважливіші методи запобігання або пом'якшення корозії [2].

Описані досліді також будуть актуальними для автономних вогнегасних систем, а саме водопінних вогнегасників. Корозія в їх компонентах може призвести до зниження тиску в системі, заклинювання клапанів та інших рухомих частин або засмічення насадок продуктами корозії, що перешкоджає подачі піни. Для уникнення цих наслідків виробники використовують захисну сітку на сифонній трубці та наносять на внутрішню поверхню корпусів вогнегасників фарби

чи інші покриття, зокрема полімерні (епоксидні). У дослідженні [9] зображено, що навіть невелике порушення цілісності внутрішнього захисного покриття корпусів вогнегасників призводить до його відшарування й погіршення захисту, що може викликати блокування виходів вогнегасної речовини, як наслідок, такий вогнегасник вже не відповідатиме загальним технічним вимогам [30].

Використання інгібіторів корозії у розчинах вогнегасних речовин є надійнішим, простішим і дешевішим способом зменшення їхньої корозійної активності, ніж використання захисного покриття всередині вогнегасників [9]. Також деякі інгібітори можуть використовуватись в складі піноутворювачів як стабілізатори.

Висновки. Загальні висновки свідчать про те, що корозійна активність піноутворювачів та їх робочих розчинів з залежить від багатьох факторів. По-перше, від типу піноутворювача (протеїновий, фторпротеїновий, AFFF, синтетичний, F3 тощо), який визначає наявність у розчині агресивних компонентів (іонів хлориду, натрію, органічних кислот) або, навпаки, інгібуючих домішок. По-друге, від умов зберігання та концентрації піноутворювача у робочому розчині, який може мати різну активність після змішування з водою і у чистому вигляді. По-третє, від наявності контакту металу із залишками піни протягом тривалого часу (наприклад, у стаціонарних резервуарах або системах з малою циркуляцією), що створює умови для локального підвищення концентрації агресивних іонів, особливо за порушення захисних фарбових чи полімерних покриттів.

З урахуванням цих факторів на практиці можна вживати таких заходів для зменшення впливу корозії:

- як матеріали для систем пожежогасіння використовувати нержавіючу сталь, латунь, бронзу та уникати використання звичайної, оцинкованої сталі;

- внутрішні поверхні корпусів вогнегасників і резервуарів вкривати фарбами чи іншими захисними покриттями, зокрема полімерними (епоксидними) для бар'єру від корозії;

- до складу робочих розчинів піноутворювачів додавати інгібітори (алкілімідозоліни, карбозолін, фосфонати тощо), що знижують реактивність водного розчину з металом (експериментально показано, що такі добавки можуть зменшувати швидкість корозії, а іноді й повністю захищати поверхню металу) [2; 9];

- здійснювати контроль води шляхом використання чистої демінералізованої або пом'якшеної води для приготування робочого розчину піноутворювача, контролюючи хімічний склад води та

pH, адже нейтрально-лужний розчин є менш агресивним до металів (зазвичай pH піноутворювача вище 7);

- здійснювати регулярні перевірки з оцінки цілісності внутрішніх покриттів вогнегасників під час обслуговування, а також огляд і миття систем після роботи, що дає змогу видалити залишки піни й запобігти їх тривалому впливу.

На основі викладеного можна підсумувати, що корозійний вплив піноутворювачів та їх робочих розчинів на обладнання пожежогасіння є реальною проблемою, яку вирішують завдяки різним підходам захисту, а саме підготовці води, підбором необхідних матеріалів конструкцій, добавкам-інгібіторам і захисним покриттям.

Результати аналізу доводять, що найлегшим і найдешевішим способом зменшення корозійного впливу на системи пожежогасіння є додавання до складу піноутворювачів інгібіторів. Це буде потребувати додаткового дослідження вогнегасної здатності таких робочих розчинів піноутворювачів з добавками. Також необхідно переглянути нормативні документи задля запобігання корозії у системах пожежогасіння, а саме внутрішнього захисного покриття корпусів вогнегасників.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Foorginezhad S., Mohseni-Dargah M., Firoozirad K. та ін. Recent advances in sensing and assessment of corrosion in sewage pipelines. *Process Safety and Environmental Protection*. 2021. Vol. 147. P. 192–213. DOI: 10.1016/j.psep.2020.09.009
2. Patrascu M. T., Busuioc A. D., Busuioc C. Experimental study on the corrosion of carbon steel and aluminum alloy in firefighting protein foam concentrates. *Materials*. 2021. Vol. 14. No. 23. Article No. 7259. DOI: 10.3390/ma14237259
3. Revie R. W., Uhlig H. H. Corrosion and corrosion control: An introduction to corrosion science and engineering. New Jersey: Wiley-Interscience, a John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2008.
4. Bertschy A. V., Peterson H. B. Corrosion resistance of some common metals to concentrated and 6 % solutions of light water fire-extinguishing agent. NRL Report No. 6932. Naval Research Laboratory, 1969.
5. Scheffey J. L., Wright J. A. Analysis of test criteria for specifying foam firefighting agents for aircraft rescue and firefighting: Appendix A. Report No. DOT/FAA/CT-94/04. FAA Technical Center, 1994. URL: <https://www.fire.tc.faa.gov/pdf/ct94-04.pdf>
6. Su P., Fuller D. B. Corrosion and corrosion mitigation in fire protection systems. Research Technical Report No. 0003040794. FM Global, 2014. URL: <https://atossa.fr/wp-content/uploads/2024/03/FMCorrosionTechReport.pdf>
7. Radwan K., Rakowska J., Ślosorz Z. Impact of surfactants used in extinguishing agent to corrosiveness

- of firefighting equipment. In: Ali M., Platko P. (Eds.). *Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies*. CRC Press/Balkema. 2015. P. 159–164. DOI: 10.1201/b19249-31
8. Kaiser L. The growing problem of corrosion in preaction sprinkler systems. ORR Protection, 2013. URL: <https://www.orrprotection.com/mcfp/problem-of-corrosion-in-preaction-sprinkler-systems> (дата звернення: 24.05.2025).
9. Войтович Т. М., Ковалишин В. В., Войтович О. Б. Дослідження впливу карбозоліну та оксиетилідендифосфонової кислоти на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів. *Пожарна безпека*. 2023. № 43. С. 41–49. DOI: 10.32447/20786662.43.2023.06
10. Carpen L., Ohlgschläger T. A case study on corrosion of stainless steel in firewater mains. *Proceedings of the 6th European Stainless-Steel Conference – Science and Market*. Helsinki, Finland, 10–13 June 2008. P. 129–135.
11. Tihen, J. Corrosion inhibition of dry and pre-action fire suppression systems using nitrogen gas. St. Louis: Potter Electric Signal Company, LLC.
12. Ryan Fireprotection Inc. The solution for corrosion in a fire sprinkler system. 2014. URL: <https://www.ryanfp.com/solution-for-corrosion> (дата звернення: 24.05.2025).
13. FM Global. Corrosion in automatic sprinkler systems. In: FM Global property loss prevention data sheets 2-1. 2016. P. 1–19. URL: <https://unitedfiresystems.net/wp-content/uploads/2018/11/01-Loss-Prevention-Data-Sheet-2-1-Corrosion-in-Automatic-Sprinkler-Systems-FM-Global-Oct-20161.pdf>
14. Merwin J. Corrosion in fire sprinkler systems: Increasing your liability, increasing your costs, and shortening system life. Potter/Corrosion Solutions, 2016. P. 1–5. URL: http://www.ifma-afc.org/docs/submissions/20160718_AFC_PotterCorrosionSolutions.pdf
15. O'Connor J. Inhibiting sprinkler pipe corrosion with nitrogen generation technology. *International Fire Protection*. 2017. P. 98–100.
16. Knurek M. The problem of corrosion in metal fire sprinkler systems. *Gulf Fire*. 2017. Vol. 5. URL: <https://gulffire.com/the-problem-of-corrosion-in-metal-fire-sprinkler-systems> (дата звернення: 24.05.2025).
17. Broadley, S. Corrosion in fire sprinkler systems. St. Louis: Potter Electric Signal Company, 2017. URL: <https://www.scribd.com/document/633285794/stephen-broadley-potter-electric-signal-company-pdf>
18. Hopkins, M. An introduction to corrosion in sprinkler systems: Its identification and mitigation. Anne Arundel, MD: National Fire Sprinkler Association, 2018.
19. Quick Response Fire Supply. № 223 – Fire sprinkler system pipe material: NFPA requirements and the pros and cons of steel. QRFS, 2019. URL: <https://www.qrfs.com/blog/223-fire-sprinkler-system-pipe-material-nfpa-requirements-and-the-pros-and-cons-of-steel>
20. Su P., Doerr W. W. Fire protection sprinkler system for extremely corrosive industrial duct environments. *Process Safety Progress*. 2010. Vol. 29. No. 1. P. 70–78. DOI: 10.1002/prs.10319
21. Su P., Tatar F. W., Chivukula S., Doerr W. W. Weld seam corrosion of steel sprinkler pipe. Presented at CORROSION 2013, NACE International Conference, Orlando, FL, USA. March 2013. Paper No. 2140.
22. Su P., Fuller D. B. Steel piping material corrosion: Dry and pre-action fire protection systems. *Sprinkler Age*. 2013. Vol. 32. No. 5. P. 22–26.
23. Su P., Chivukula S., Tatar F. W., Swinnerton B. Corrosion of sprinkler piping under compressed nitrogen and air supervision. Presented at CORROSION 2015, NACE International Conference, Dallas, TX, USA. March 2015. Paper No. 5548.
24. Carpen L. Corrosion of stainless steel in fire protection systems. VTT Research Report No. VTT-R-01556-08. VTT Technical Research Centre of Finland, 2008. URL: https://publications.vtt.fi/julkaisut/luut/2008/PALOMICTutk_rap_final.pdf
25. Elahresh N., Jewilli F. Evaluation of fire extinguishing foam concentrate for 304 stainless steel. Presented at the 4th International Technology of Oil and Gas Conference (TOG 2008), Tripoli, Libya, October 2008. Paper No. TOG-78.
26. Войтович Т. М., Ковалишин В. В., Кошеленко В. В. Дослідження впливу інгібіторів корозії на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів. *Пожарна безпека*. 2017. № 30. С. 16–21.
27. Wood, Ramboll, COWI. The use of PFAS and fluorine-free alternatives in fire-fighting foams – Final report. European Commission DG Environment & European Chemicals Agency, 2020. URL: https://echa.europa.eu/documents/10162/28801697/pfas_flourine-free_alternatives_fire_fighting_en.pdf/d5b24e2a-d027-0168-cdd8-f723c675fa98
28. Rakowska J., Ślosorz Z. Corrosion of fire extinguishing systems and firefighting fittings. *Safety & Fire Technology*. 2011. Vol. 24. No. 2. P. 113–120.
29. Radwan K., Rakowska J., Ślosorz Z. Corrosion of firefighting equipment caused by surfactants used in extinguishing agent. In: Ali M., Platko P. (Eds.). *Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies: Proceedings of the International Conference on Engineering Sciences and Technologies (ESaT 2015)*, Tatranska Strba, High Tatras Mountains, Slovakia, 27–29 May 2015. CRC Press/Balkema, 2015. P. 159–164.
30. ДСТУ 3734-98. Вогнегасники пересувні. Загальні технічні вимоги. Київ: Держспоживстандарт України, 1998.
31. NFPA 16: Standard for the Installation of Foam-Water Sprinkler and Foam-Water Spray Systems. 2014 ed. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2014.
32. ДСТУ 3789-98. Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні

вимоги і методи випробувань. Київ : Держспожив-стандарт України, 1998.

33. ДСТУ EN 1568:2018 (усі частини) Вогнегасні речовини. Піноутворювачі Київ: Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України, 2018.

REFERENCES

1. Foorginezhad, S., Mohseni-Dargah, M., Firoozirad, K., Aryai, V., Razmjou, A., Abbassi, R., Garaniya, V., Beheshti, A., & Asadnia, M. (2021). Recent advances in sensing and assessment of corrosion in Sewage Pipelines. *Process Safety and Environmental Protection*, 147, 192–213. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.009>

2. Patrascu, M. T., Busuioc, A. D., Busuioc, C., Cotarta, A., Cojocaru, A., Visan, T., & Vaireanu, D. I. (2021). Experimental study on the corrosion of carbon steel and aluminum alloy in firefighting protein foam concentrates. *Materials*, 14(23), 7259. <https://doi.org/10.3390/ma14237259>

3. Revie, R. W., & Uhlig, H. H. (2008). *Corrosion and corrosion control: An introduction to corrosion science and engineering*. Wiley-Interscience, a John Wiley & Sons, Inc., Publication.

4. Bertschy, A. V., & Peterson, H. B. (1969). *Corrosion resistance of some common metals to concentrated and 6 % solutions of light water fire-extinguishing agent* (NRL Report No. 6932). Naval Research Laboratory.

5. Scheffey, J. L., & Wright, J. A. (1994). *Analysis of test criteria for specifying foam firefighting agents for aircraft rescue and firefighting. Appendix A* (Report No. DOT/FAA/CT-94/04). FAA Technical Center. URL: <https://www.fire.tc.faa.gov/pdf/ct94-04.pdf>

6. Su, P., & Fuller, D. B. (2014). *Corrosion and corrosion mitigation in fire protection systems* (Research Technical Report No. 0003040794). FM Global. URL: <https://atossa.fr/wp-content/uploads/2024/03/FMCorrosionTechReport.pdf>

7. 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>

8. Kaiser, L. (2013, November 11). The growing problem of corrosion in preaction sprinkler systems. ORR Protection. URL: <https://www.orrprotection.com/mcfp/problem-of-corrosion-in-preaction-sprinkler-systems> (last accessed 2025, 24 May).

9. Voitovych, T., Kovalyshyn, V., & Voitovych, O. (2023). Study of the influence of carbozoline and oxyethylidenediphosphonic acid on the corrosion activity of foam concentrate working solutions [Doslidzhennia vplyvu karbozolinu ta oksyetylydendifosfonovoi kysloty na koroziinu aktyvnist' robochych rozchyniv pinoutvoriuvachiv]. *Fire Safety [Pozhezhna Bezpeka]*, 43, 41–49. <https://doi.org/10.32447/20786662.43.2023.06>

10. Carpen, L., & Ohlgschlager, T. (2008, June 10–13). A case study on corrosion of stainless steel in firewater mains: Proceedings of the 6th European Stainless-Steel Conference – Science and Market, Helsinki, Finland, 129–135. URL: https://www.researchgate.net/profile/Leena-Carpen/publication/38288705_A_case_study_on_corrosion_of_stainless_steel_in_firewater_mains/links/542e7bfe0cf27e39fa9621d0/A-case-study-on-corrosion-of-stainless-steel-in-firewater-mains.pdf

11. Tihen, J. (n.d.). *Corrosion inhibition of dry and pre-action fire suppression systems using nitrogen gas*. St. Louis: Potter Electric Signal Company, LLC.

12. Ryan Fireprotection Inc. (2014). *The solution for corrosion in a fire sprinkler system*. URL: <https://www.ryanfp.com/solution-for-corrosion> (last accessed 2025, 24 May).

13. FM Global. (2016). *Corrosion in automatic sprinkler systems*. In *FM Global property loss prevention data sheets 2-1* (pp. 1–19). URL: <https://unitedfiresystems.net/wp-content/uploads/2018/11/01-Loss-Prevention-Data-Sheet-2-1-Corrosion-in-Automatic-Sprinkler-Systems-FM-Global-Oct-20161.pdf>

14. Merwin, J. (2016). *Corrosion in fire sprinkler systems: Increasing your liability, increasing your costs, and shortening system life* (pp. 1–5). Potter/Corrosion Solutions. URL: http://www.ifma-afc.org/docs/submissions/20160718_AFC_PotterCorrosionSolutions.pdf

15. O'Connor, J. (2017). Inhibiting sprinkler pipe corrosion with nitrogen generation technology. *International Fire Protection*, 2017, 98–100.

16. Knurek, M. (2017). The problem of corrosion in metal fire sprinkler systems. *Gulf Fire*, 5. URL: <https://gulffire.com/the-problem-of-corrosion-in-metal-fire-sprinkler-systems> (last accessed 2025, 24 May).

17. Broadley, S. (2017). *Corrosion in fire sprinkler systems*. Potter Electric Signal Company. URL: <https://www.scribd.com/document/633285794/stephen-broadley-potter-electric-signal-company-pdf>

18. Hopkins, M. (2018). *An introduction to corrosion in sprinkler systems: Its identification and mitigation*. National Fire Sprinkler Association.

19. Quick Response Fire Supply. (2019). № 223 – *Fire sprinkler system pipe material: NFPA requirements and the pros and cons of steel*. QRFS. URL: <https://www.qrfs.com/blog/223-fire-sprinkler-system-pipe-material-nfpa-requirements-and-the-pros-and-cons-of-steel> (last accessed 2025, 24 May).

20. Su, P., & Doerr, W. W. (2010). Fire protection sprinkler system for extremely corrosive industrial duct environments. *Process Safety Progress*, 29(1), 70–78. <https://doi.org/10.1002/prs.10319>

21. Su, P., Tatar, F. W., Chivukula, S., & Doerr, W. W. (2013, March). *Weld seam corrosion of steel sprinkler pipe* (Paper No. 2140). Presented at CORROSION 2013, NACE International Conference, Orlando, FL, USA.

22. Su, P., & Fuller, D. B. (2013). Steel piping material corrosion: Dry and pre-action fire protection systems. *Sprinkler Age*, 32(5), 22–26.
23. Su, P., Chivukula, S., Tatar, F. W., & Swinnerton, B. (2015, March). *Corrosion of sprinkler piping under compressed nitrogen and air supervision* (Paper No. 5548). Presented at CORROSION 2015, NACE International Conference, Dallas, TX, USA.
24. Carpen, L. (2008). *Corrosion of stainless steel in fire protection systems* (VTT Research Report No. VTT-R-01556-08). VTT Technical Research Centre of Finland. URL: https://publications.vtt.fi/julkaisut/luut/2008/PALOMIC Tutk_rap_final.pdf
25. Elahresh, N., & Jewilli, F. (2008, October). *Evaluation of fire extinguishing foam concentrate for 304 stainless steel* (Paper No. TOG-78). Presented at the 4th International Technology of Oil and Gas Conference (TOG 2008), Tripoli, Libya.
26. Voitovych, T. M., Kovalyshyn, V. V., & Koshelenko, V. V. (2017). Doslidzhennia vplyvu inhibitoriv korozii na koroziiu 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].
27. Wood, Ramboll, & COWI. (2020). *The use of PFAS and fluorine-free alternatives in fire-fighting foams – Final report*. European Commission DG Environment & European Chemicals Agency. URL: https://echa.europa.eu/documents/10162/28801697/pfas_flourine-free_alternatives_fire_fighting_en.pdf/d5b24e2a-d027-0168-cdd8-f723c675fa98
28. Rakowska, J., & Ślosorz, Z. (2011). Corrosion of fire extinguishing systems and firefighting fittings. *Safety & Fire Technology*, 24(2), 113–120.
29. Radwan, K., Rakowska, J., & Ślosorz, Z. (2015, May). *Corrosion of firefighting equipment caused by surfactants used in extinguishing agent*. In M. Al Ali & P. Platko (Eds.), *Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies: Proceedings of the International Conference on Engineering Sciences and Technologies (ESaT 2015)* (pp. 159–164). CRC Press/Balkema.
30. 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].
31. NFPA 16: *Standard for the Installation of Foam-Water Sprinkler and Foam-Water Spray Systems* (2014 Edition) (2014). National Fire Protection Association.
32. DSTU 3789-98 Pinoutvoriuvachi zahal'noho przyznachennia dlia hasinnia pozhezh. Zahal'ni tekhnichni vymohy i metody vyprobuvan' [General-purpose foam concentrates for fire extinguishing. General technical requirements and test methods]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].
33. DSTU EN 1568:2018 (all parts) Vohnehasni rehovyny. Pinoutvoriuvachi [Fire extinguishing agents – Foam concentrates]. Kyiv, Ukraine: Ministry for Development of Economy, Trade and Agriculture of Ukraine [in Ukrainian].

© Т. М. Войтович, В. В. Ковалишин, О. П. Войтович, І. І. Калужняк

Оглядова стаття

Надійшла до редакції 19.04.2025

Прийнято до публікації 04.06.2025