



С. М. Шахов, С. А. Виноградов, Д. В. Грищенко

Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3914-2914> – С. М. Шахов

<https://orcid.org/0000-0003-2569-5489> – С. А. Виноградов

<https://orcid.org/0000-0002-7241-737X> – Д. В. Грищенко

✉ lophenns@gmail.com

АНАЛІЗ ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКУВАЛЬНИХ ДОБАВОК ТА ЇХ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ЗАСТОСУВАННЯ У СКЛАДІ КОМПРЕСІЙНОЇ ПІНИ

Постановка проблеми. Сьогодні для підвищення вогнегасної ефективності компресійної піни застосовують способи, які впливають на такі властивості піни, як дисперсність та однорідність бульбашок, стійкість та ізолювальна здатність. Але при використанні таких способів не підвищується вогнегасна ефективність КП завдяки інгібуванню реакції горіння, наслідком чого було б скорочення часу гасіння. Також не виключена ймовірність виникнення вторинного займання при використанні піноутворювачів загального призначення (окрім випадків використання спеціальних піноутворювачів, наприклад БАРС АВФ), що досягається завдяки утворенню захисної плівки на поверхні твердого матеріалу.

Є гіпотеза, що при додаванні до складу компресійної піни модифікувальних добавок (далі МД), можливе поєднання декількох механізмів припинення горіння, а саме: охолодження, ізоляція та інгібування, що призведе до гальмування швидкості хімічних реакцій у полум'ї та утворення на палаючих поверхнях твердих матеріалів захисних плівок, які внаслідок своєї низької теплопровідності та ізолювання від доступу кисню повітря унеможливають повторне спалахування.

Мета статті полягає у аналізі досвіду використання модифікувальних добавок та їх фізико-хімічних властивостей для подальшого застосування у складі компресійної піни.

Методи досліджень. Робота ґрунтувалася на фундаментальних дослідженнях вчених США, Китаю та інших країн світу, результати яких були представлені у різноманітних світових наукових журналах, на конференціях та у національних доповідях.

Виклад основного матеріалу. Розглянуто та проаналізовано модифікувальні добавки, які застосовуються у галузі пожежогасіння за напрямком вогнегасної дії та їх фізико-хімічні властивості. Проаналізовано експериментальні дослідження щодо досвіду застосування модифікувальних добавок у ВВР.

Висновки. За результатами аналізу розроблено класифікацію та виділено чотири типи модифікувальних добавок, в залежності від механізму впливу на процес горіння. За результатом аналізу наукових досліджень встановлено, що найбільшого поширення під час застосування у ВВР набули фосфати та карбонати амонію, хлориди та карбонати калію. На підставі проведеного аналізу для підвищення ефективності компресійної піни у її складі, згідно з розробленою класифікацією модифікувальних добавок, обрано сполуки, що належать до I, II та IV типів: гідрофосфат амонію $((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$, дигідроортофосфат амонію $(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)$, карбонат амонію $((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3)$, карбонат калію (K_2CO_3) , хлорид калію (KCl).

Ключові слова: компресійна піна, модифікувальні добавки, тверді горючі речовини, пожежогасіння, вогнегасні властивості

S. M. Shakhov, S. A. Vinogradov, D. V. Gruschenko

National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ANALYSIS OF THE EXPERIENCE OF USING MODIFYING ADDITIVES AND THEIR PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES FOR FURTHER APPLICATION IN THE COMPOSITION OF COMPRESSED AIR FOAM

Formulation of the problem. Today, to increase the fire-extinguishing efficiency of compressed air foam, methods are used that affect such properties of the foam as dispersion and homogeneity of bubbles, stability and insulating ability. However, when using such methods, the fire extinguishing efficiency of CAF does not increase due to the inhibition of the

combustion reaction, which will result in a reduction in extinguishing time. It is also not possible to reduce the probability of secondary ignition when using foaming agents of general purpose (except for the use of special foaming agents, for example, BARS ABF), which is achieved due to the formation of a protective film on the surface of a solid material.

There is a hypothesis that when modifying additives are added to the composition of compressed air foam, a combination of several fire-stopping mechanisms is possible, namely cooling, isolation and inhibition, which will lead to the inhibition of the rate of chemical reactions in the flame and the formation of solid protective films on the burning surfaces of materials, which due to its low thermal conductivity and isolation from the access of air oxygen, re-ignition will be impossible.

The purpose of the article is to analyse the experience of using modifying additives and their physicochemical properties for further use in the composition of compressed air foam.

Research methods. Scientists from the USA, China and other countries, the results of which were presented in various world scientific journals, conferences and national reports, based the work on fundamental research.

Presenting main material. The modifying additives used in the field of fire extinguishing in the direction of fire extinguishing action and their physicochemical properties were considered and analysed. Experimental studies on the experience of using fire-extinguishing modifying additives in firefighting systems have been analysed.

Conclusions. Based on the results of the analysis, a classification was developed and four types of modifying additives were distinguished, depending on the mechanism of influence on the combustion process. Experimental studies on the study of the fire-extinguishing efficiency of aqueous substances containing modifying additives have been analysed. Ammonium phosphates and carbonates, potassium chlorides and carbonates became the most common. Based on the analysis carried out to increase the efficiency of compression foam in its composition according to the developed classification of modifying additives, compounds belonging to I, II and IV types were selected: ammonium hydrogen phosphate ((NH₄)₂HPO₄), ammonium dihydrogen orthophosphate (NH₄H₂PO₄), ammonium carbonate ((NH₄)₂CO₃), potassium carbonate (K₂CO₃), potassium chloride (KCl).

Keywords: compressed air foam, modified additives, solid combustible materials, fire extinguishing, fire extinguishing properties

Вступ. Для гасіння пожеж твердих горючих матеріалів застосовують водні вогнегасні речовини (ВВР). Серед ВВР на сьогодні найбільш поширеною вогнегасною речовиною залишається вода. Воді притаманна низка недоліків, таких як: великі витрати; низький коефіцієнт використання; значні побічні збитки від затоплення приміщень; висока температура замерзання; високі енерговитрати під час підйому на висоту; збільшення ваги речовин під час контактування з водою внаслідок набухання і надалі можливість обвалення конструкцій; неможливість гасіння електрообладнання під напругою (крім тонкорозпиленої води).

Усунення зазначених недоліків досягається шляхом додавання до неї поверхнево активних речовин, модифікувальних добавок (МД), які є неорганічними сполуками солей, і інгібіторів горіння (галогенові вуглеводні).

Різновидом водних вогнегасних речовин є компресійна піна (КП), що утворюється шляхом змішування води, піноутворювача та повітря під тиском. Вона застосовується для гасіння твердих матеріалів [1,2] і горючих рідин. Компресійна піна має низку переваг порівнянно з іншими водними вогнегасними речовинами. Автори [3], порівняли вогнегасну ефективність гелеутворюючих систем (ГУС), компресійної піни та води. Оцінку вогнегасної ефективності проведено за показником ефективності гасіння $P_{e,r}$. Під час гасіння модельного вогнища водою значення показника ефективності гасіння становило $P_{e,r} = 4,12 \times 10^{-3}$, м²/кг·с, але після гасіння модельного вогнища, через 5 хвилин

спостерігалось повторне займання. Значення показника для ГУС становило $P_{e,r} = 11,9 \times 10^{-3}$, м²/кг·с, що на 65 % більше, ніж вогнегасна ефективність води. Найбільша вогнегасна ефективність за показником ефективності гасіння спостерігалась у компресійної піни та становила $P_{e,r} = 14 \times 10^{-3}$, м²/кг·с, що на 80 % більше ніж у води та на 15 % більше ніж у ГУС.

Сьогодні значна кількість пожеж припадає на споруди житлового сектора, де переважно горять тверді горючі матеріали. Враховуючи зазначені переваги КП над іншими ВВР, актуальним завданням є підвищення її вогнегасної ефективності. Вирішення цього питання дасть можливість більш ефективно гасити пожежі та значно зменшити матеріальні збитки від них.

Постановка проблеми. У [4] проведено аналіз наукових публікацій, присвячених використанню компресійної піни для гасіння пожеж та підвищенню її вогнегасної ефективності. За результатами цих публікацій встановлено, що низка досліджень присвячена підвищенню вогнегасної ефективності КП такими способами, як варіювання кратності піни, зміна концентрації піноутворювача у водному розчині та застосування різних видів піноутворювачів. Зазначені способи впливають на такі властивості піни, як дисперсність та однорідність бульбашок, стійкість та ізолювальна здатність. При використанні таких способів не підвищується вогнегасна ефективність КП завдяки інгібуванню реакції горіння, наслідком чого було б скорочення часу гасіння. Також не виключено ймовірність вторинного займання при

використані піноутворювачів загального призначення (окрім випадків використання спеціальних піноутворювачів, наприклад БАРС АВФ), що досягається за рахунок утворення захисної плівки на поверхні твердого матеріалу.

Є гіпотеза, що при додаванні до складу компресійної піни МД, можливе поєднання декількох механізмів припинення горіння, а саме: охолодження, ізоляція та інгібування, що призведе до гальмування швидкості хімічних реакцій у полум'ї та утворення на палаючих поверхнях твердих матеріалів захисних плівок, які внаслідок своєї низької теплопровідності та ізолювання від доступу кисню повітря унеможливають повторне спалахування. На сьогодні у літературі та наукових публікаціях не представлено досліджень, що спрямовані на підвищення вогнегасної ефективності компресійної піни шляхом додавання до її складу МД.

Отже, зважаючи на вищевикладене бачимо необхідність проаналізувати фізико-хімічні властивості МД та досвід їх застосування у ВВР. Результат аналізу дасть змогу визначити найбільш поширені МД, що застосовують для підвищення ефективності ВВР, з метою їх подальшого використання у складі компресійної піни для підвищення її вогнегасних властивостей.

Мета статті полягає у аналізі досвіду використання модифікувальних добавок та їх фізико-хімічних властивостей для подальшого застосування у складі компресійної піни.

Викладення основного матеріалу

1. Фізико-хімічні властивості модифікувальних добавок та механізм їх вогнегасної дії.

Найбільшого поширення застосування МД набуло у рідинофазових водоемульсійних вогнегасних речовинах. У фундаментальних працях [5-7] МД є неорганічними сполуками солей. Завдяки застосуванню МД досягається комплексний вплив на процес гасіння, зокрема відбувається охолодження завдяки поглинанню тепла, гальмування хімічної реакції, ізоляція доступу кисню до зони горіння через утворення захисної плівки на поверхні горючого матеріалу. Залежно від хімічного складу МД притаманні різні вогнегасні властивості за напрямком дії, які подано нижче.

До I типу модифікувальних добавок за напрямком дії можна віднести неорганічні сполуки, вплив яких змінює механізм термодеструкції целюлозних матеріалів [8]. Нижче подано характеристики добавок [9]:

– хлорид амонію (NH_4Cl) – гігроскопічна тверда речовина, не має запаху, білий колір, у воді має слабкі кислотні властивості, не горюча. При нагріванні відбувається розкладання, яке супроводжується виділенням токсичних газів, таких як, окиси азоту, аміаку та хлористого водню. Під час реакції з нітратом амонію або хлоратом калію ймовірно виникнення пожежі або вибуху. Має подразнюючий вплив на шкіру, органи дихання та зору. Розчинність у воді, г/100 мл, при 25°C: 28,3 г (рис. 1а);

– хлорид натрію (NaCl) – безбарвний кристал, не горючий. Не має шкідливого впливу на людину. Розчинність у воді, г/100 мл, при 20°C: 35,9 г (рис 1б);

– хлорид калію (KCl) – гігроскопічні кристали, безбарвні. Не горючий. Має подразнюючий вплив на органи зору та дихання. Розчинність у воді, г/100 мл, при 20 °C :34 г (рис. 1в)

– хлорид магнію (MgCl_2) – кристалоподобна тверда речовина білого кольору, не горюча. Розкладається при повільному нагріванні до 300 °C. Розчиняється у воді з виділенням великої кількості тепла. Має подразнюючий вплив на органи зору та дихання. Розчинність у воді, г/100 мл, при 20 ° : 54, 3 г (рис. 1г);

– хлорид кальцію (CaCl_2) – безколірні або білі кристали, не мають запаху, не горючі. Розкладається при нагріванні, що супроводжується виділення токсичних та їдких випарів хлору. В присутності води роз'їдає цинк, що супроводжується виділенням горючого/вибухонебезпечного газу. Речовина роз'їдає очі та має сильний подразнюючий вплив на шкіру та органи дихання. Розчинність в воді, г/100 мл при 20 °C: 74,5 г (рис. 1д);

– гідрофосфат амонію ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$) – кристали або порошок без запаху, не горючий. Розкладається при температурі більше 100°C, що супроводжується виділенням токсичних та їдких газів, таких як, окиси азоту та окиси фосфору. Має подразнюючий вплив на органи зору. Розчинність в воді, г/100 мл, при 20 °C: 57,5 г (рис. 1ж);

– дігідроортофосфат амонію ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) – кристали, безбарвні, не горючі. Має подразнюючий вплив на органи зору. Розчинність в воді, г/100 мл, при 20 °C: 35,3 г (рис. 1е);

– сульфат амонію ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) – безбарвні кристали, не мають виразного запаху, не горючі. Не мають шкідливого впливу на людину. При температурі вище +100°C розкладається з виділенням аміаку. Розчинність в воді, г/100 мл, при 20 °C: 76,4 г (рис. 1е).

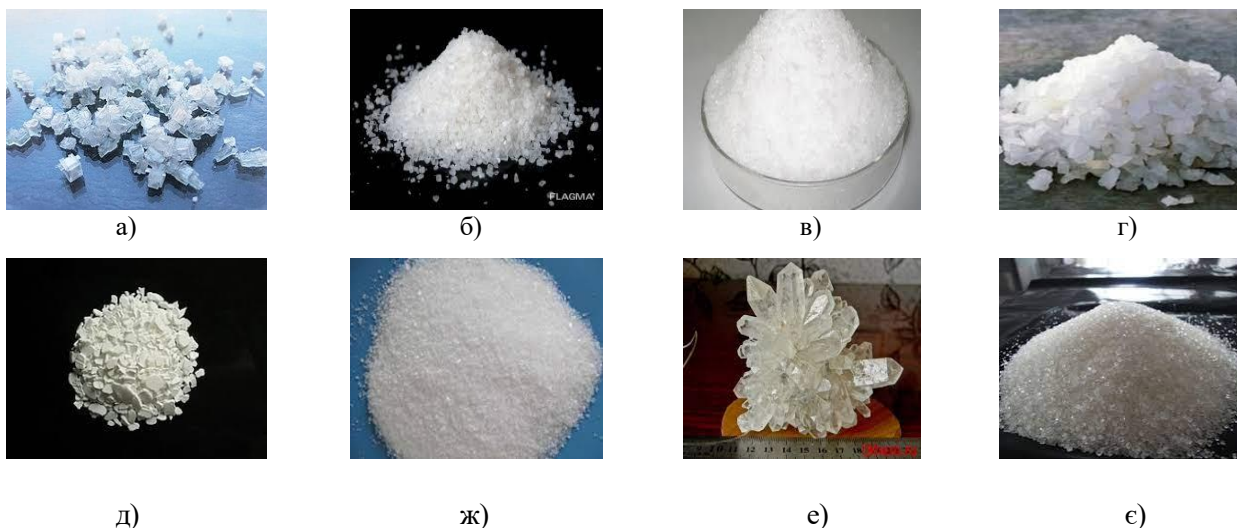


Рисунок 1 – Загальний вигляд першого типу модифікувальних добавок: а) NH_4Cl ; б) NaCl ; в) KCl ; г) MgCl_2 ; д) CaCl_2 ; ж) $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$; е) $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$; є) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

До II типу модифікувальних добавок можна віднести неорганічні сполуки, які незначним чином впливають на механізм термодеструкції деревини. Але вважається, що їм притаманні властивості інгібування полум'яної фази або здатність утворювати ізолюючу плівку на поверхні твердого матеріалу [8]. Нижче подано характеристики добавок [9]:

– бромід амонію (NH_4Br) – безбарвний кристал (рис. 2а), не має запаху, не горючий. Його додають в органічні сполуки, що мають

підвищену горючість. При нагріванні розкладається (1). Розчинність в воді, г/100 мл, при 20 °С: 78,3 г.



– карбамід ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) – безбарвні кристали або світло-білі гранули (рис. 2,б), без запаху. Температура розкладання 150 – 160 °С. Не горючий та вибухонебезпечний. Розчинність в воді, г/100 мл, при 20 °С: 58,3 г.



а)



б)

Рисунок 2 – Модифікувальні добавки другого типу: а) NH_4Br ; б) $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$

До III типу модифікувальних добавок можна віднести неорганічні сполуки, напрямком дії яких є зменшити виділення летких горючих речовин під час термодеструкції. Зокрема вагомий внесок у підвищення вогнезахисту забезпечують процеси газовиділення. До них відносять [8]:

– гідрокарбонат натрію (NaHCO_3), дрібно кристалічний порошок білого кольору (рис. 3а), не горючий. При температурі 60 °С починає

розкладатися. Не має шкідливого впливу на людину. Розчинність у воді, г/100 мл, при 20°С: 9,6 г [9];

- хлорид амонію (NH_4Cl), див., I тип МД;
- хлорид кальцію (CaCl_2), див., I тип МД;
- карбонат амонію ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$) – безбарвний кристал, (рис. 3б). Не стійкий як на повітрі, так і у розчині. Не горючий. При температурі 60°С починає розкладатися. Розчинність у воді, г/100 мл, при 15 °С: 100,1 г, [9].



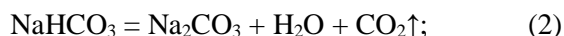
а)



б)

Рисунок 3 – Модифікувальні добавки третього типу: а) NaHCO_3 ; б) $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$

При хімічному розкладанні зазначених солей виділяються гази [8], які мають розчинні та інгібувальні властивості під час процесу горіння у газовій фазі, що подано формулами (2-5):



До IV типу модифікувальних добавок відносять органічні та неорганічні сполуки, що

мають властивості антифризів. Але переважно використовують неорганічні сполуки, оскільки окрім зниження температури замерзання їм притаманне підвищення вогнегасної здатності речовин. Серед них виділяють [8]:

– карбонат калію (K_2CO_3) – безбарвний гігроскопічний кристал (рис. 4а), або білий порошок (рис. 4б), не горючий. Має подразнюючий вплив на шкіру, органи зору та дихання. Розчинність у воді, г/100 мл, при 20 °С: 112 г, [9];

– хлорид магнію (MgCl_2), див., I тип МД;

– хлорид кальцію (CaCl_2), див., I тип МД;



а)



б)

Рисунок 4 – Четвертий тип модифікувальних добавок: а) K_2CO_3 у кристалічному вигляді; б) K_2CO_3 у вигляді порошку

На підставі проведеного аналізу ми напрямку впливу на процес гасіння та розробили класифікацію МД (рис. 5) залежн від вогнегасних властивостей.

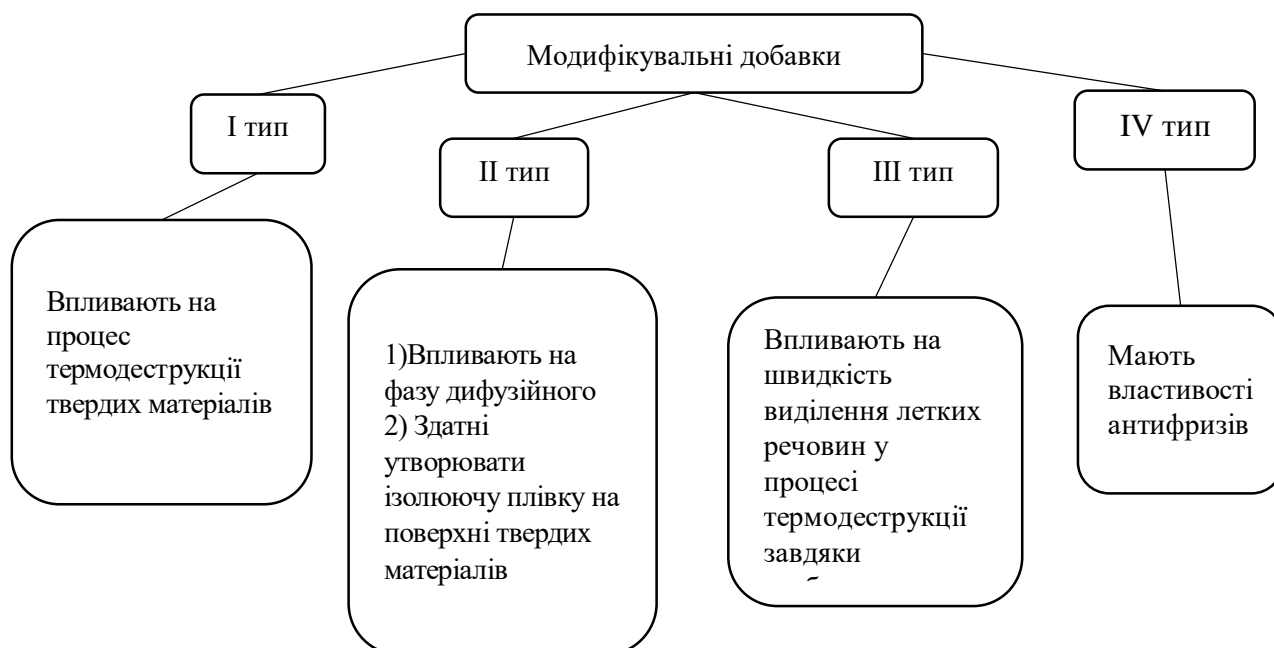


Рисунок 5 – Класифікація модифікувальних добавок

За результатом огляду виділено чотири типи модифікувальних добавок, залежно від механізму впливу на процес горіння твердих горючих матеріалів.

Наступним кроком є аналіз наукової періодики застосування модифікувальних добавок у водних вогнегасних речовинах для подальшого використання у складі компресійній піні.

2. Аналіз досвіду застосування модифікувальних добавок у водних вогнегасних речовинах

У [10] порівнювали вогнегасну ефективність водяного туману із водою, до якої додано полімерні композитні добавки та сіль NaCl при гасінні легкозаймистих рідин. Автори стверджують, що найбільшу вогнегасну ефективність має водяний

туман. Вода із полімерними добавками також має достатньо високу ефективність гасіння. Використання модифікованої добавки 1 % NaCl супроводжувалось зниженням ефективності гасіння.

У роботі [11] автори визначали вогнегасну ефективність водного розчину калій тетрахлокоупрату (II) різної концентрації на вуглеводневе полум'я. Показано, що нетривала дія аерозолем 40% водного розчину комплексної солі купруму (II) – $K_2(CuCl_4)$ на фронт вуглеводневого полум'я зумовлює його ефективне придушення, аж до повного гасіння. Мінімальний об'єм витрат 40% водного розчину калій тетрахлокоупрату (II) на гасіння осередку займання (вогнища класу В2) становить (1,1 л/м²). Встановлено, що у разі гасіння займань різних вуглеводнів за допомогою водного аерозолу 40% $K_2[CuCl_4]$ витрати цієї водної вогнегасної речовини у 4,2 раза (для моноетаноламінового полум'я) та у 3,2 раза (для гексанового полум'я) менші за нормативні витрати водним аерозолем. Але слід зауважити [5], солі купруму при розкладанні токсичні і не є безпечними засобом пожежогасіння.

Дослідження [12,13] присвячені визначенню впливу модифікувальних добавок на основі силікату натрію та карбонату калію у складі води на її вогнегасну ефективність при гасіння твердих горючих речовин. Експериментальним шляхом порівняно ефективність гасіння стандартного модельного вогнища класу А водою та водою з модифікувальними добавками. Час гасіння модельного вогнища водою з 1 % вмістом Na_2SiO_3 та K_2CO_3 на 28-31% менший, ніж для води без цільових добавок. На гасіння потрібно було на 18 % менше об'єму води із цільовими добавками ніж при застосуванні води без домішок. Проведено експериментальні дослідження щодо впливу цільових добавок рідинного натрієвого скла Na_2SiO_3 та карбонату калію K_2CO_3 на гідравлічні характеристики та вогнегасну ефективність системи спринклерного пожежогасіння. У результаті дослідження виявлено, що при застосуванні води з вмістом 1 % Na_2SiO_3 та K_2CO_3

у діапазоні тиску 0,15-0,35 МПа витрата спринклерного зрошувача на 10 % вища, ніж витрата води без цільових добавок, що свідчить про зниження гідравлічних втрат у трубопроводі системи пожежогасіння. При цьому час гасіння системою пожежогасіння заповненою водою із модифікувальними добавками на 30 % менший порівнянно з водою без добавок.

Автори [14] досліджували вплив модифікувальних добавок NaCl, KCl або $KHCO_3$ на ефективність гасіння пожежі легкозаймистих рідин дрібнодисперсними водяними струменями. Додавання зазначених неорганічних сполук призводило до значного підвищення ефективності водяного туману. Найбільш значний ефект проявили солі калію, зокрема при використанні розчину $KHCO_3$ час гасіння був на 96 % менший від води без добавок. Інші досліджені добавки, а саме: $MnCl_2$, $ZnCl_2$ і $CuCl_2$ не достатньо відрізняються від води. Інші зразки $(NH_4)_2HPO_4$, $(NH_2)_2CO$ і $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ фактично збільшували час, необхідний для гасіння полум'я.

Для підвищення ефективності водяного туману автори [15] використовували модифікувальні добавки $CO(NH_2)_2$, NH_4HCO_3 і $(NH_4)_2HPO_4$. Для порівняння вогнегасної ефективності були обрані також добавки KCl та KH_2PO_4 . У результаті встановлено, що при використанні низьких концентрацій $CO(NH_2)_2$ та $(NH_4)_2HPO_4$ спостерігалось підвищення ефективності гасіння. Стосовно добавки NH_4HCO_3 , то цього не спостерігалось. При застосуванні $CO(NH_2)_2$ отримали найбільшу вогнегасну ефективність концентрацією (приблизно 0,01 моль/л⁻¹ при горінні н-гептану і 0,03 моль/л⁻¹ – при горінні етанолу). Крім того, $CO(NH_2)_2$ (0,03 моль/л⁻¹) більш ефективний ніж, KH_2PO_4 , при гасінні етанолу, і за показниками ефективності гасіння близький до KCl (0,067 моль/л⁻¹).

У роботі [16] проведено порівняння вогнегасної ефективності водяного туману із вмістом добавок, $K_2C_2O_4$, K_2CO_3 , KNO_3 , CH_3COOK , KCl, $KHCO_3$ і K_2SAO_4 під час гасіння легкозаймистих рідин (табл .1).

Таблиця 1

Результати експерименту [16]

Модифікувальна добавка	Концентрація, %	Час гасіння, с	Вогнегасна ефективність, %
K_2CO_3	5	35,69	44,85
$K_2C_2O_4$	5	31,95	50,62
K_2SO_4	5	56,86	12,13
$KHCO_3$	5	48,90	24,43
KCl	5	44,61	31,05
CH_3COOK	5	44,00	31,99
KNO_3	5	38,48	40,52
$K_2C_2O_4(M1)-K_2CO_3(M2)$	5% (M1:M2=1:1)	34,15	47,21
$K_2C_2O_4(M1)-KNO_3(M2)$		40,01	38,15

Модифікувальна добавка	Концентрація, %	Час гасіння, с	Вогнегасна ефективність, %
K ₂ C ₂ O ₄ (M1)-CH ₃ COOK(M2)	5% (M1:M2=1:1)	41,21	36,29
K ₂ C ₂ O ₄ (M1)-KCl(M2)		37,43	42,13
K ₂ C ₂ O ₄ (M1)-K ₂ SO ₄ (M2)		30,10	53,47
K ₂ C ₂ O ₄ (M1)-KHCO ₃ (M2)		42,92	33,65
K ₂ CO ₃ (M1)-KNO ₃ (M2)		39,27	39,29
K ₂ CO ₃ (M1)-CH ₃ COOK(M2)		32,75	49,36
K ₂ CO ₃ (M1)-KCl(M2)		33,10	48,83
K ₂ CO ₃ (M1)-K ₂ SO ₄ (M2)		45,50	29,66
K ₂ CO ₃ (M1)-KHCO ₃ (M2)		46,02	28,86
KNO ₃ (M1)-CH ₃ COOK(M2)		44,69	30,91
KNO ₃ (M1)-KCl(M2)		33,34	48,45
K ₂ SO ₄ (M1)-KNO ₃ (M2)		35,49	45,14
KNO ₃ (M1)-KHCO ₃ (M2)		48,47	25,06
CH ₃ COOK(M1)-KCl(M2)		46,55	28,04
CH ₃ COOK(M1)-K ₂ SO ₄ (M2)		36,78	43,14
CH ₃ COOK(M1)-KHCO ₃ (M2)		53,74	16,92
KCl(M1)-K ₂ SO ₄ (M2)		47,94	25,89
KCl(M1)-KHCO ₃ (M2)		57,70	10,81
KHCO ₃ (M1)-K ₂ SO ₄ (M2)		55,48	14,24

Автори стверджують, що змішування солей калію в рівних пропорціях супроводжується виникненням синергетичного ефекту інгібування процесу горіння.

Дослідження [17] присвячене вивченню ефективності гасіння гептану водяним туманом із добавкою KCl. Досліджувались концентрації розчину KCl (5%, 10%, 15%, 20%). У результаті найбільша вогнегасна ефективність спостерігалась для розчину KCl із концентрацією

20 %, при тиску 0,6 МПа. Збільшення концентрації супроводжувалося зниженням швидкості випаровування гептану. Також спостерігалось зниження висоти полум'я.

У роботі [18] проведено дослідження вогнегасної ефективності води із різним вмістом добавок (рис. 6) з варіюванням концентрацій (NH₄H₂PO₄), (NH₄)₂SO₄, Ca₃(PO₄)₂, та органічних сполук під час гасіння твердих горючих матеріалів та легкозаймистих рідин.

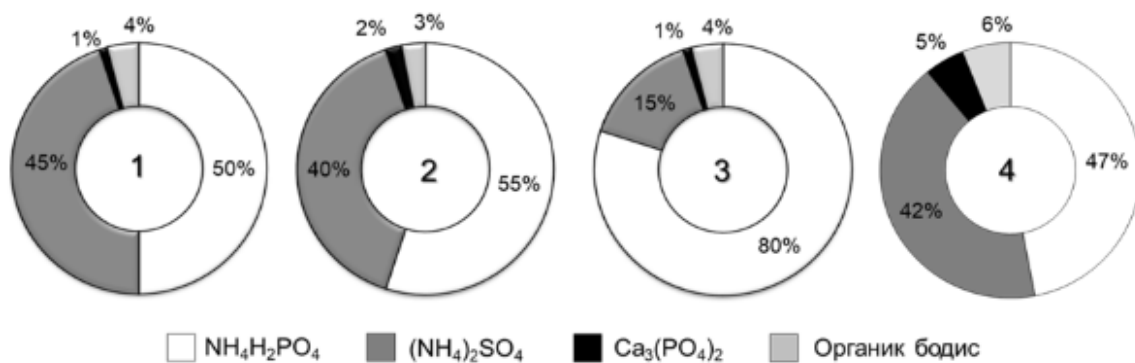


Рисунок 6 – Чотири типи зразків дослідження [18]

У результаті зразок з вмістом 50% (NH₄H₂PO₄), як основного компонента, та (NH₄)₂SO₄ та інших неорганічних і органічних сполук на 50 %, мав найбільшу вогнегасну ефективність по відношенню до інших зразків.

Автори [19] дослідили інгібуючу дію модифікувальних добавок Zn/Mg/Al-CO₃, діаммонійфосфат ((NH₄)₂HPO₄), фосфат натрію (Na₃PO₄) і хлорид магнію (MgCl₂). Відповідно до результатів диференційованої скануючої калориметрії, інфрачервоної спектроскопії та

кінетичного аналізу добавки Zn/Mg/Al-CO₃ та (NH₄)₂HPO₄ мають суттєву інгібуючу дію на самозаймання антрациту та коксового вугілля. В свою чергу MgCl₂ сприяє реакції горіння, що підвищує ризик самозаймання.

У роботі [20,21] досліджено піноутворення при додаванні модифікувальних добавок NaHCO₃ + Al₂(SO₄)₃ та (NH₄)₂CO₃ + Al₂(SO₄)₃ у склад піноутворювачів ПУ-6 ОСТ и ТЭАС концентрацією 6 %. Також визначено вплив складу піноутворюючої системи на кратність і

стійкість піни. Відповідно встановлено, що концентрація піноутворювачів має досить низький вплив на кратність піни, яка генерується. З підвищенням концентрації піноутворювача відбувається зростання стійкості піни. Із використанням добавки $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ отримано піну з більшою кратністю та стійкістю, ніж при додаванні $\text{NaHCO}_3 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Також автори пропонують використання бінарних вогнегасних систем, як альтернативу повітряно-механічній піні. Для цього, як лужну частину використовують піноутворювач, у складі якого є цільова добавка – гідрокарбонат натрію NaHCO_3 . У кислотній частині використовується розчини солей $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4$ або $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Автори стверджують, що така піна має властивості утримуватися на вертикальних поверхнях, за умови, що товщина шару не перевищуватиме 3 см.

В ході лабораторних експериментів [22-24] з використанням модельних вогнищ хвойної лісової підстилки було порівняно вогнезахисні властивості двох видів водних вогнегасних речовин – ГУС і піноутворюючих систем. В якості ГУС було використано 4 системи: $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2 + (\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$; $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2 + \text{NH}_4\text{HCO}_3$; $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2 + \text{CaCl}_2$ і $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. В якості ПУС було використано 6 систем: $\text{NaHCO}_3 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; $\text{NaHCO}_3 + (\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$; $\text{NaHCO}_3 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$; $\text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; $\text{NH}_4\text{HCO}_3 + (\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$; $\text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Для подальших досліджень автори обрали ГУС CaCl_2 (35 %) + $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ (5 %). Встановлено необхідну питому витрату, яка дорівнює $0,7 \text{ г/см}^2$ для забезпечення зупинення фронту низової пожежі протягом 4 годин після нанесення шару гелю. Для запобігання займанню ділянки лісової підстилки поза зоною основної вогнезахисної смуги під одночасним впливом теплового випромінювання та іскор потрібно нанести ГУС CaCl_2 (35 %) + $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ (5 %) з питомою витратою $0,2 \text{ г/см}^2$ з використанням роздільно – одночасного подавання компонентів ГУС.

У [25] проведено експериментальне дослідження щодо гасіння модельних вогнищ класу А та Б. Встановлено синергізм сумісного застосування у рецептурах водних вогнегасних речовин неорганічних солей калію (вода + 20 % KOH ; вода + 20 % KCl ; вода + 16,6 % KNO_3 ; вода + 20 % KI ; вода + 12 % K_2SO_4 ; вода + 34 % K_2CO_3) та піноутворювачів як загального, так і спеціального призначення, що пояснено домінуванням інгібувальної дії солей калію та одночасним посиленням охолоджувального ефекту завдяки зменшенню розмірів краплин у тонкорозпиленних повітряно-водяних струменях таких водних вогнегасних речовин.

У роботах [26] автори пропонують ВВР на основі рідкого скла та зазначають, що перспективним є додавання в розчин рідкого скла та поташу K_2CO_3 з метою підвищення інгібувальних властивостей вогнегасного розчину. Найбільший ефект досягнуто під час додавання поташу та рідкого скла у рівних пропорціях. Під час гасіння модельних вогнищ класу А запропонованими ВВР на поверхні вогнищ утворювалися захисні плівки, які сприяли процесу гасіння. Збільшення концентрації поташу та рідкого скла у розчині призводить до підвищення вогнегасної ефективності розчина.

За результатами аналізу встановлено, що застосування МД у ВВР призводить до суттєвого підвищення ефективності гасіння завдяки гальмуванню реакції горіння. Спостерігається скорочення часу гасіння, підвищення охолоджувальної здатності, зниження витрат вогнегасної речовини, необхідної для успішного та швидкого гасіння. Зокрема відмічається зниження ймовірності виникнення повторного займання, завдяки утворенню захисних плівок на поверхні твердих матеріалів. Найбільшого поширення у ВВР, з урахуванням переваг та недоліків, безпеки, та можливості застосування та вогнегасної ефективності набули такі сполуки, як фосфати амонію [14,15,18,19], карбонати амонію [14-16, 20,21], хлориди та карбонати калію [14-17, 25, 26].

Зазначені модифікувальні добавки є перспективними для застосування у складі КП, але вирішення цього питання потребує експериментальних досліджень, з метою визначення сумісності цих добавок із піноутворювачем та можливості генерування КП з ними.

Висновки

1. Проведено аналіз фізико-хімічних властивостей модифікувальних добавок та особливостей вогнегасної дії. За результатами аналізу розроблено класифікацію та виділено чотири типи модифікувальних добавок, залежно від механізму впливу на процес горіння.

2. Проаналізовано експериментальні дослідження щодо вивчення вогнегасної ефективності водних розчинів у складі яких є модифікувальні добавки. Встановлено, що найбільше поширення набули фосфати та карбонати амонію, хлориди та карбонати калію. На підставі проведеного аналізу для підвищення ефективності компресійної піни планується застосування у її складі модифікувальних добавок I, II та IV типів:

- гідрофосфат амонію $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$;
- дігідроортофосфат амонію $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$;
- карбонат амонію $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$;
- карбонат калію K_2CO_3 ;
- хлорид калію KCl .

Подальшим напрямком досліджень є визначення впливу обраних модифікувальних добавок на властивості компресійної піни та експериментальне визначення вогнегасної ефективності під час гасіння твердих горючих матеріалів.

Список літератури:

1. Шахов С.М., Виноградов С.А., Кодрик А.І., Тітенко О.М. Визначення вогнегасної ефективності компресійної піни під час гасіння нею твердих горючих речовин. Проблеми пожежної безпеки. 2019. Вип. 46. С. 199–205. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/12273>
2. Шахов С.М., Виноградов С.А., Кодрик А.І., Тітенко О.М. Визначення показника вогнегасної здатності компресійної піни. Проблеми пожежної безпеки. 2020. Вип. 47. С. 127–131. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/12275>
3. Shakhov S.M., Vinogradov S.A. The efficiency of the compressed air foam, water and gel extinguishing agent on the standard model fire class A. Safety & Fire Technology. 2020. Issue 1(56). P. 154-160. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/12277>
4. Шахов С.М., Виноградов С.А., Грищенко Д.В. Аналіз способів підвищення вогнегасної ефективності компресійної піни при гасінні твердих горючих речовин. Науково-технічний збірник "Комунальне господарство міст". 2022. № 1(175). С. 45-52.
5. Антонов А.В., Боровіков В.О., Орел В.П., Жартовський В.М., Ковалишин В.В. Вогнегасні речовини. Посібник. Київ: Пожінформтехніка. 2004. С. 176.
6. Тарахно О.В., Шаршанов А.Я. Фізико-хімічні основи використання води в пожежній справі. Навчальний посібник. Харків. 2004. С. 252.
7. Тарахно О.В. Теоретичні основи пожежовибухонебезпеки /О.В. Тарахно – Харків: УЦЗУ. 2006. С. 395.
8. Абрамов Ю.А., Киреев А.А. Гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные средства повышенной эффективности применительно к пожарам класса А. Харьков.: НУГЗУ, 2015. С. 254.
9. Interanatioanal Labourt Organization. Database. International Chemical Safety Cards. Режим електронного доступу URL: www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.listcards3?p_lang=en
10. Liu, YC., Jiang, JC. & Huang, AC. Experimental study on extinguishing oil fire by water mist with polymer composite additives. J Therm Anal Calorim. 2022. <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11645-5>
11. Mykhalitchko O. B., Godovanets N. M., Shcherbina O. N., Mykhalitchko B. M.. Preproduction testing of extinguishing efficiency of a novel water-based fire-extinguishing agent on basis of $K_2[CuCl_4]$ compound. Пожежна безпека. 2014. №24. С. 111-115. URL: <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/1707>
12. Сізіков О.О., Балло Я.В., Бенедюк В.С. Вплив цільових добавок до води на ефективність гасіння пожеж твердих горючих речовин. Науковий вісник НЛТУ України. 2016. № 26(8). С. 298-303. DOI: <https://doi.org/10.15421/40260846>.
13. Сизиков. А.А., Жартовский С.В., Нижник В.В., Балло Я.В. Влияние целевых добавок к воде на эффективность системы пожаротушения. Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2017. Т. 1, № 1. С. 35-43. DOI:10.33408/2519-237X.2017.1-1.35.
14. Paul Joseph, Emma Nichols, Vasily Novozhilov. A comparative study of the effects of chemical additives on the suppression efficiency of water mist. Fire Safety Journal. 2013. Volume 58. P. 221-225. ISSN 0379-7112. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.03.003>.
15. Liang, T, Li, R, Li, J, et al. Extinguishment of hydrocarbon pool fires by ultrafine water mist with ammonium/amidogen compound in an improved cup burner. Fire and Materials. 2018. № 42. P. 889– 896. <https://doi.org/10.1002/fam.2644>.
16. Zhe Dong, Shao-Kun Wei, and Lin-Shuang Zhao. Experimental Study on Synergistic Fire Extinguishing between Different Potassium Additives in Water Mist. International Journal of Environmental Science and Development. 2019. Vol. 10, No. 2. P.75-78. doi: 10.18178/ijesd.2019.10.2.1150.
17. SU Shichuan, GUO Chenyu, WANG Liang, CUI Haibin, CAO Jiabin. Experimental research on low-pressure water mist in suppressing ship oil pool fire effectiveness with KCl. China Safety Science Journal, 2019. № 29(4). P. 58-63. URL: <http://www.cssjj.com.cn/EN/Y2019/V29/I4/58>.
18. T, A., G, B., S, A., & V, B. Chemical composition of the renewed fire extinguishing powder and its physical characteristics. Bulletin of the Institute of Chemistry and Chemical Technology. 2020. № (8). P. 70–76. <https://doi.org/10.5564/bicct.v0i8.1481>.
19. Tsai, Y-T, Yang, Y, Wang, C, Shu, C-M, Deng, J. Comparison of the inhibition mechanisms of five types of inhibitors on spontaneous coal combustion. Int J Energy Res. 2018. № 42. P. 1158– 1171. <https://doi.org/10.1002/er.3915>.
20. Киреев А.А., Колонов А.Н. Исследование пенообразования в пенообразующих системах. Проблеми пожежної безпеки. 2009. №25. С. 59-64 URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/4553>
21. Киреев А.А., Колонов А.Н. Пути повышения эффективности пенного

пожаротушения. Проблемы пожарной безопасности. 2008. Вып. 24. С. 50-55 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/puti-povysheniya-effektivnosti-tusheniya-pozharov-klassa-v-1>

22. Савельев Д. И., Киреев А.А., Жерноклев К.В. Экспериментальные исследования огнепреграждающих свойств лесной подстилки, обработанной пенообразующими системами. Проблемы пожарной безопасности. 2016. Вып. 40. С. 169-173. URL:

<http://29ujm06.257.cz/bitstream/123456789/6177/1/%D0%A1%D0%B0%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%B5%D0%B2%20%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F%20%D0%9B%D1%8C%D0%B2%D0%BE%D0%B2%20%D0%9F%D0%9F%D0%91%2031.pdf>

23. Савельев Д. И., Бондаренко С. Н., Киреев А. А., Жерноклев К. В. Исследование огнезащитного действия гелеобразующих составов по отношению к хвойной лесной подстилке. Проблемы пожарной безопасности. 2017. Вып. 41. С. 147-153. URL:

<http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3639>

24. Saveliev D. I. Influence of consumption rate and drying time of gel-forming systems on their fire retardant properties when applied to coniferous forest litter. Проблемы пожарной безопасности. 2017. Вып. 42. С. 115-120. URL

<http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/6018>

25. Козяр Н.М.. Шляхи підвищення ефективності застосування водних та водопінних вогнегасних речовин. Науковий вісник УкрНДІПБ, 2009. № 2 (20) С. 13-18.

http://firesafety.at.ua/visnyk/2009_No_220/Kozyar.pdf

26. Кодрик А. И., Коваленко В. В., Титенко О. М., Борисов А. В., Стилик И. Г. Шляхи підвищення ефективності водних вогнегасних речовин на основі рідкого скла. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. 2022. № 1(13). С. 24-34 DOI: [https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.1\(13\).24-34](https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.1(13).24-34)

References:

1. Shakhov S.M., Vinogradov S.A., Kodryk A.I., Titenko O.M. (2019). Vyznachennia vohnehasnoi efektyvnosti kompresii noi piny pid chas hasinnia neiu tverdykh horiuchykh rehovyn. [Determining the fire-extinguishing efficiency of compression foam when extinguishing solid combustible substances with it]. Problemy pozhezhnoi bezpeky, 46, 199–205. Retrieved from:

<http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/12273>

2. Shakhov S.M., Vinogradov S.A., Kodryk A.I., Titenko O.M. (2020). Vyznachennia pokaznyka vohnehasnoi zdatnosti kompresii noi piny. [Determination of the fire extinguishing capacity of compression foam]. Problemy pozhezhnoi bezpeky, 47, 127–131. Retrieved from:

<http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/12275>

3. Shakhov S.M., Vinogradov S.A. (2020). The efficiency of the compressed air foam, water and gel extinguishing agent on the standard model fire class A. Safety & Fire Technology, 1(56), 154-160. Retrieved from:

<http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/12277>

4. Shakhov S.M., Vinogradov S.A., Grischenko D.V. (2022). Analiz sposobiv pidvyshchennia vohnehasnoi efektyvnosti kompresii noi piny pry hasinni tverdykh horiuchykh rehovyn. [Analysis of ways to increase the fire extinguishing efficiency of compression foam when extinguishing solid combustible substances]. Naukovo-tehnichniy zbirnyk "Komunalne hospodarstvo mist", 1 (175), 45-52.

5. Antonov A.V., Borovikov V.O., Orel V.P., Zhartovskyi V.M., Kovalyshyn V.V. (2004). Vohnehasni rehovyny. [Fire extinguishing substances]. Posibnyk. Kyiv: Pozhinformtekhnik, 176.

6. Tarakhno O.V., Sharshanov A.Y. (2004). Fyzyko-khimichni osnovy vykorystannia vody v pozhezhnii spravi. [Physico-chemical basics of water use in firefighting]. Navchalnyi posibnyk. Kharkiv, 252

7. Tarakhno O.V. (2006). Teoretychni osnovy pozhezho vybukhonebezpeky. [Theoretical foundations of fire and explosion hazard]. Kharkiv, 395.

8. Abramov Y.A., Kireev A.A. (2015). Heleobrazuiushchye ohnetushashchye i ohnezashchytne sredstva povushennoi efektyvnosti pryemytelno k pozharam klassa A. [Gel-forming fire extinguishers and flame retardants of increased efficiency applied to class A fires]. Monohrafiia. Kharkiv. Natsionalnyi universytet tsyvilnoho zakhystu Ukrainy, 254.

9. Interanatioanal Labout Organization. Database. International Chemical Safety Cards. Retrieved from:

www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.listcards3?p_lang=en

10. Liu, YC., Jiang, JC., Huang, AC. (2022). Experimental study on extinguishing oil fire by water mist with polymer composite additives. J Therm Anal Calorim. Retrieved from:

<https://doi.org/10.1007/s10973-022-11645-5>

11. Mykhalitchko O. B., Godovanets N. M., Shcherbina O. N., Mykhalitchko B. M. (2014). Preproduction testing of extinguishing efficiency of a novel water-based fire-extinguishing agent on basis of K₂[CuCl₄] compound. Fire Safety Journal, 24, 111-115. Retrieved from:

<https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/1707>

12. Sizikov O.O., Ballo Y.V., Benediuk V.S. (2016). Vplyv tsilovykh dobavok do vody na efektyvnist hasinnia pozhezh tverdykh horiuchykh rehovyn. [The influence of targeted additives to water on the effectiveness of extinguishing fires of solid combustible substances]. Naukovi visnyk NLTU Ukrainy, 26(8), 298-303. Retrieved from: <https://doi.org/10.15421/40260846>.

13. Sizikov O.O., Zhartovsky S.V., Nizhnik V.V., Ballo Y.V. (2017). Vliyanye tselevikh dobavok k vode na effektivnost systemy pozharotusheniya. [Influence of target additives to water on the efficiency of the fire extinguishing system]. Vestnyk Unyversyteta hrazhdanskoi zashchyty MChS Belarusy, 1, 35-43. DOI:10.33408/2519-237X.2017.1-1.35.
14. Joseph P., Nichols E., Novozhilov V. (2013). A comparative study of the effects of chemical additives on the suppression efficiency of water mist. Fire Safety Journal, 58, 221-225. ISSN 0379-7112. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.03.003>
15. Liang, T, Li, R, Li, J, et al. (2018). Extinguishment of hydrocarbon pool fires by ultrafine water mist with ammonium/amidogen compound in an improved cup burner. Fire and Materials. 42, 889– 896. Retrieved from: <https://doi.org/10.1002/fam.2644>
16. Zhe Dong, Shao-Kun Wei, and Lin-Shuang Zhao. (2019). Experimental Study on Synergistic Fire Extinguishing between Different Potassium Additives in Water Mist. International Journal of Environmental Science and Development, 10, 75-78. DOI: 10.18178/ijesd.2019.10.2.1150.
17. SU Shichuan, GUO Chenyu, WANG Liang, CUI Haibin, CAO Jiabin. (2019). Experimental research on low-pressure water mist in suppressing ship oil pool fire effectiveness with KCl. China Safety Science Journal, 29(4), 58-63. Retrieved from: <http://www.cssj.com.cn/EN/Y2019/V29/I4/58>
18. T, A., G, B., S, A., & V, B. (2020). Chemical composition of the renewed fire extinguishing powder and its physical characteristics. Bulletin of the Institute of Chemistry and Chemical Technology, 8, 70–76. Retrieved from: <https://doi.org/10.5564/bicct.v0i8.1481>
19. Tsai, Y-T, Yang, Y, Wang, C, Shu, C-M, Deng, J. (2018). Comparison of the inhibition mechanisms of five types of inhibitors on spontaneous coal combustion. Int J Energy Res, 42, 1158– 1171. Retrieved from: <https://doi.org/10.1002/er.3915>
20. Kyreev A.A., Kolenov A.N. (2009). Isledovanye penoobrazovaniya v penoobrazuiushchykh systemakh. [Study of foaming in foaming systems]. Problemy pozharnoi bezopasnosti, 25, 59-64. Retrieved from: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/4553>.
21. Kyreev A. A., Kolenov A. N. (2008). Puty povysheniya effektivnosti pennoho pozharotusheniya. [Ways to improve the efficiency of foam fire extinguishing]. Problemy pozharnoi bezopasnosti, 24, 50-55. Retrieved from: <https://cyberleninka.ru/article/n/puti-povysheniya-effektivnosti-tusheniya-pozharov-klassa-v-1>
22. Savelev D. Y., Kyreev A.A., Zhernoklev K.V. (2016). Eksperimentalnye issledovaniya ohneprehrazhdaiushchykh svoystv lesnoi podstylky, obrabotannoi penoobrazuiushchymy systemamy. [Experimental studies of the fire-retardant properties of forest litter treated with foaming systems]. Problemy pozhezhnoi bezpeky, 40, 169-173. Retrieved from: <http://29yjmo6.257.cz/bitstream/123456789/6177/1/%D0%A1%D0%B0%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%B5%D0%B2%20%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F%20%D0%9B%D1%8C%D0%B2%D0%BE%D0%B2%20%D0%9F%D0%9F%D0%91%2031.pdf>
23. Savelev D. Y., Bondarenko S. N., Kyreev A. A., Zhernoklev K. V. (2017). Issledovanye ohnezashchytnoho deistviya heleobrazuiushchykh sostavov po otnosheniyu k khvoinoi lesnoi podstylke. [Investigation of the fire-retardant effect of gel-forming compositions in relation to coniferous forest litter]. Problemy pozhezhnoi bezpeky, 41, 147-153. Retrieved from: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3639>
24. Saveliev D. I. (2017). Influence of consumption rate and drying time of gel-forming systems on their fire retardant properties when applied to coniferous forest litter. Problemy pozhezhnoi bezpeky, 42, 115-120. Retrieved from: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/6018>
25. Koziar N.M. (2009). Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti zastosuvannya vodnykh ta vodopinnykh vohnehasnykh rechovyn. [Ways to improve the efficiency of stowing water and water inflammable rivers]. Naukovyi visnyk UkrNDIPB, 2(20), 13-18. Retrieved from: http://firesafety.at.ua/visnyk/2009_No_220/Kozyar.pdf
26. Kodryk A. I., Kovalenko V. V., Titenko O. M., Borysov A. V., Stylyk I. H. (2022). Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti vodnykh vohnehasnykh rechovyn na osnovi rikdoho skla. [Ways to improve the efficiency of water fire-extinguishing rivers on the basis of a rare rock]. Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka, 1(13), 24-34. DOI: [https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.1\(13\).24-34](https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.1(13).24-34)

© С. М. Шахов, С. А. Виноградов,
Д. В. Грищенко, 2023.

Оглядова.

Надійшла до редакції 07.03.2023.

Прийнято до публікації 16.05.2023.