



МАТЕРІАЛИ ДРУКУЮТЬСЯ
УКРАЇНСЬКОЮ, АНГЛІЙСЬКОЮ,
ПОЛЬСЬКОЮ МОВАМИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

*Всеукраїнської науково-практичної
конференції з міжнародною участю*

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ЗАПОБІГАННЯ НАДЗВИЧАЙНИМ СИТУАЦІЯМ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ

Львів – 2022

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

- Голова:** **Мирослав КОВАЛЬ** – ректор Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, доктор педагогічних наук, професор
- Заступники голови:** **Андрій КУЗИК** – завідувач кафедри екологічної безпеки, доктор сільськогосподарських наук, професор
Андрій ЛИН – начальник навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки ЛДУ БЖД, к.т.н., доцент
- Члени оргкомітету:** **Ігор БРЕГІН** – начальник управління запобігання надзвичайним ситуаціям ГУ ДСНС України у Львівській області;
Петро ГАЦУК – д.т.н., професор, завідувач кафедри експлуатації транспортних засобів та пожежно-рятувальної техніки ЛДУ БЖД;
Сергій СМЕЛЬЯНЕНКО, к.т.н., начальник відділу організації науково-дослідної діяльності ЛДУ БЖД;
Андрій КАЛИНОВСЬКИЙ – к.т.н., доцент, начальник кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки НУЦЗ України;
Василь КОВАЛИШИН – д.т.н., професор, завідувач кафедри ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій ЛДУ БЖД;
Андрій КУШНІР – к.т.н., доцент, доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики ЛДУ БЖД;
Василь ЛУЩ – к.т.н., доцент, заступник начальника кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт ЛДУ БЖД;
Ігор МАЛАДИКА – к.т.н., доцент, начальник факультету оперативнорятувальних сил Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України;
Борис МИХАЛЧКО – д.х.н., професор, завідувач кафедри фізики та хімії горіння ЛДУ БЖД;
Олег НАЗАРОВЕЦЬ – к.т.н., доцент, заступник начальника кафедри аналітично-профілактичної діяльності та пожежної автоматики ЛДУ БЖД;
Олег ПАЗЕН – к.т.н., начальник кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики ЛДУ БЖД;
Іван ПАСНАК – к.т.н., доцент, заступник начальника навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки ЛДУ БЖД з навчально-наукової роботи;
Андрій САМЛЮ – к.ю.н., доцент, т.в.о. начальника кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту ЛДУ БЖД;
Тарас ШНАЛЬ – д.т.н., доцент, професор кафедри будівельних конструкцій та мостів НУ «Львівська політехніка»

**ОРГАНІЗАТОР
ТА ВИДАВЕЦЬ**

Львівський державний університет
безпеки життєдіяльності

**Технічний редактор,
комп'ютерна верстка**

Беседа А.В.

Друк на різнографі

Петролюк Н.І.

Відповідальний за друк

Фльорко М.Я.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

ЛДУ БЖД, вул. Клепарівська, 35,
м. Львів, 79007

Контактні телефони:

(032) 233-24-79,
тел/факс 233-00-88

Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення: Зб. наук. праць Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. – Львів: ЛДУ БЖД, 2022. – 568 с.

Збірник сформовано за науковими матеріалами Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «**Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення**».

Збірник містить матеріали таких тематичних секцій:

- Організація та забезпечення пожежної і техногенної безпеки.
- Системи протипожежного захисту.
- Теоретичні основи виникнення, розвитку та припинення процесів горіння.
- Організація гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій.
- Технічні засоби запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій.
- Менеджмент безпеки.

© ЛДУ БЖД, 2022

Здано в набір 30.09.2022. Підписано до друку 10.10.2022. Формат 60x84^{1/3}. Папір офсетний.

Ум. друк. арк. 35,25.

Гарнітура Times New Roman.

Друк на різнографі. Наклад: 100 прим.

Друк: ЛДУ БЖД

вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007.

ldubzh.lviv@dsns.gov.ua

За точність наведених фактів, економіко-статистичних та інших даних, а також за використання відомостей, що не рекомендовані до відкритої публікації, відповідальність несуть автори опублікованих матеріалів. При передруковуванні матеріалів посилання на збірник обов'язкове.

УДК 614.841

**ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВОГНЕГАСНОЇ
ЕФЕКТИВНОСТІ КОНЦЕНТРОВАНИХ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ
НЕОРГАНІЧНИХ СОЛЕЙ ПЕРЕХІДНИХ МЕТАЛІВ****Карвацька М.Я.,****Михалічко Б.М.,** доктор хімічних наук, професор,**Львівський державний університет безпеки життєдіяльності**

Вкрай актуальним завданням пожежної безпеки на сьогодні – це здійснення досліджень щодо пошуку нових хімічних речовин, здатних ефективно призупиняти поширення полум'я, а також розробка сучасних технологій застосування цих речовин в пожежогасінні. Перспективними речовинами для розробки водних вогнегасних речовин (ВВР) нового покоління можуть бути використані неорганічні солі *s*- та *d*-металів.

Варто зазначити, що вогнегасна ефективність будь-якої хімічної добавки визначається не лише її хімічною природою чи тривалістю перебування в зоні горіння, а й хімічним складом продуктів термоокиснення.

З літературних джерел відомо, що у ролі розчинених у воді вогнегасних речовин, так званих інгібіторів горіння, найчастіше використовують неорганічні солі лужних металів [1], органічні солі лужних металів (калій оксалат, калій ацетат) [2], фосфоровмісні сполуки [3]. Здатність придушувати полум'я водними розчинами солей, що містять сполуки фосфору, знижується в ряду $K_3PO_4 > NH_4H_2PO_4 > H_3PO_4$.

Авторами [4] показано, що найефективнішою добавкою для підвищення вогнегасної дії води є калій карбонат (K_2CO_3).

Результати досліджень наведені в роботі [5] показали, що використання 10% розчину $KHCO_3$ скорочує середній час згасання гептанового полум'я до 96% (з 154,6 с до 5,5 с) порівняно з чистою водою. А такі добавки як $(NH_4)_2HPO_4$, $(NH_2)_2CO$ фактично збільшували час, необхідний для гасіння полум'я.

Відомі також ВВР заснованих на розплавах хлоридів *s*-металів (KCl , $NaCl$, $MgCl_2$), що містять незначні домішки хлоридів *d*-металів ($MnCl_2$, $CrCl_3$, $FeCl_3$).

Доволі перспективними речовинами, які використовуються для створення ВВР є неорганічні солі купруму(II). Серед цього класу солей особливої уваги заслуговує концентрований водний розчин купрум(II) хлориду, а саме 40% водний розчин $CuCl_2$, який при гасінні осередків займань класу В (дизельне пальне) проявив неабияку ефективність [6]. Вогнегасна ефективність цієї ВВР є наслідком особливої термолітичної поведінки хлориду купруму(II) в полум'ї [7]. Після потрапляння аерозолу

водного розчину CuCl_2 в полум'я розпочинаються складні фізико-хімічні перетворення, які призводять до переривання цих ланцюгових реакцій, що мають місце в полум'ї.

В літературі також є відомості щодо ефективного придушення полум'я концентрованими водними розчинами калій гексаціаноферату(II) – $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ та калій гексаціаноферату(III) – $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ [8]. Зокрема, концентрований водний розчин калій гексаціаноферату(III) спроможний доволі дієво гасити лісові пожежі. Однак, використання ВВР на основі 30% водного розчину $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ як інгібітора горіння має істотний недолік. При внесення цієї ВВР в полум'я утворюються дуже токсичні продукти термічного розкладання цієї комплексної солі. Зокрема, вже при температурі 350–400°C калій гексаціаноферат(III) розкладається з виділенням вкрай токсичної сполуки KCN і газоподібного диціану $(\text{CN})_2$.

Однак інші нетоксичні солі феруму, зокрема ферум(III) сульфат, який при термолітичному розкладанні не дає токсичних продуктів, все ж можна було б використовувати для розробки водних вогнегасних речовин нового покоління. Очевидно, що, як і у випадку солей купруму(II), атоми перехідного металу $\text{Fe}(\text{III})$ теж спроможні будуть проявляти схильність до інгібування активних частинок полум'я [9].

Проведені нами експериментальні дослідження [10] показали, що нетривала дія аерозолем 40% водного розчину ферум(III) сульфату безпосередньо на полум'я зумовлює його доволі ефективне придушення.

Отже, нами був проведений порівняльний аналіз вогнегасної ефективності таких ВВР, як 40% водний розчин калій тетрахлокоупрату (II), 40% водний розчин ферум(III) сульфату, 40% водний розчин купрум(II) хлориду стосовно води. Результати наведені в таблиці.

Таблиця 1

Результати вогнегасних випробувань ВВР

ВВР	$V_{\text{ВВР}}$ (л)	$\Delta t_{\text{гасіння}}$ (с)	K_1
Водогінна вода	0,1224	17,0	1,0
40% $\text{K}_2[\text{CuCl}_4]$	0,0091	7,2	3,2
40% $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	0,0250	5,0	4,9
40% CuCl_2	0,0062	2,0	19,6

Підвищення вогнегасної ефективності ВВР (K_1) обчислювали стосовно води за формулою:

$$K_1 = V_{\text{вода}} / V_{\text{ВВР}}, (1)$$

Як видно, найефективнішою ВВР виявився 40% водний розчин CuCl_2 , далі йде $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, а тоді $\text{K}_2[\text{CuCl}_4]$. Це можна пояснити різною продуктивністю подачі ВВР в зону горіння, зумовленою в'язкістю виготовлених розчинів.

Література

1. Kuang K., Chow W., Ni X. *et al.* Fire suppressing performance of superfine potassium bicarbonate powder. *Fire and Materials*. 2011. V.35(6).P.353-366.
2. Ming-Hui Feng, Jun-Jun Tao, Jun Qin and Qin Fei Extinguishment of counter-flow diffusion flame by water mist derived from aqueous solutions containing chemical additive. *Journal of Fire Sciences*. 2016. V. 34(1). P. 51–68.
3. Jayaweera T., Fisher E., Fleming J.W. Flame suppression by aerosols derived from aqueous solutions containing phosphorus. *Combustion and Flame*. 2005. V. 141(3). P. 308–321.
4. Zhang Tianwei, Liu Hao, Han Zhiyue, Du Zhiming, Wang Yong Active substances study in fire extinguishing by water mist with potassium salt additives based on thermoanalysis and thermodynamics. *Applied Thermal Engineering*. 2017. V. 122. P. 429–438.
5. Joseph P., Nichols E., Novozhilov V. A comparative study of the effects of chemical additives on the suppression efficiency of water mist. *Fire Safety Journal*. 2013. V. 58. P. 221–225.
6. Mykhalichko B., Lavrenyuk H., Mykhalichko O. New water-based fire extinguishant: elaboration, bench-scale tests, and flame extinguishment efficiency determination by cupric chloride aqueous solutions. *Fire Safety Journal*. 2019. V. 105. P. 188–195.
7. Карвацька М.Я., Лавренюк О.І., Пархоменко В.-П.О., Михалічко Б.М. Квантово-хімічне моделювання інгібувального впливу водних розчинів неорганічних солей купрум(II) на горіння вулководнів. *Вісник ЛДУБЖД*. 2021. № 23. С. 33–38.
8. Korobeinichev O.P., Shmakov A.G., Chernov A.A., Bol'shova T.A., Shvartsberg V.M., Kutsenogii K.P., Makarov V.I. Fire suppression by aqueous solutions salts aerosols. *Combustion Explosion and Shock Waves*. 2010. V. 46, N 1. P. 16–20.
9. Linteris G.T., Katta V.R., Takahashi F. Experimental and numerical evaluation of metallic compounds for suppressing cup-burner flames. *Combustion and Flame*. 2004. V. 138 (1-2). P. 78-96.
10. Карвацька М.Я., Пастухов П.В., Петровський В.Л., Лавренюк О.І., Михалічко Б.М. Вогнегасні випробування концентрованого водного розчину ферум(III) сульфату. *Пожежна безпека*. 2022. № 40. С. 55–60.