

УДК 614.841.41

*Годованець Н.М., викладач, НП НМЦ ЦЗ БЖД
Михалічко Б.М., д-р хім. наук, професор, ЛДУБЖД,
Петровський В.Л., пр. наук. сп., ЛДУБЖД
Щербина О.М., к. фарм. наук, доцент ЛДУБЖД*

**ВОГНЕГАСНІ ВИПРОБУВАННЯ ВОДНОЇ ВОГНЕГАСНОЇ
РЕЧОВИНИ НА ОСНОВІ КУПРУМ(II) ХЛОРИДУ**
(представлено д-ром хім. наук, проф. Калугіним В.Д.)

В роботі представлені результати стендових випробувань вогнегасної дії на вуглеводневе полум'я водного розчину купрум(II) хлориду. Експериментальні дослідження показали, що нетривала дія 40% водного розчину купрум(II) хлориду (CuCl_2) безпосередньо на полум'я зумовлює його ефективне гасіння. Встановлено, що в умовах експерименту тривалість гасіння осередку займання (вогнища класу В1) аерозолем водного розчину купрум(II) хлориду становить 1,5 с, що більш, ніж у 5 разів ефективніше за воду. Мінімальний об'єм витраченого 40% водного розчину купрум(II) хлориду у разі гасіння полум'я становить 0,8 л/м².

Ключові слова: вогнегасіння, водні вогнегасні речовини, інгібітори горіння, солі купруму

Постановка проблеми. Пошук та дослідження нових хімічних речовин, які б здатні були з великою ефективністю призупиняти поширення вуглеводневого полум'я а також проявляти чималу вогнегасну дію – одне з пріоритетних завдань в галузі пожежогасіння.

Завдяки унікальним фізико-хімічним властивостям, вода на сьогоднішній день залишається найпоширенішим засобом гасіння пожеж. Вода, як вогнегасний засіб має переважно охолоджувальну, а також ізолювальну (або як розбавлювач) дію на осередок вогню. Втім, охолоджувальний ефект води можна суттєво посилити (тобто зменшити витрати води на одиницю площі пожежі а, отже, й зменшити тривалість гасіння пожеж), якщо використовувати воду у вигляді аерозолі [1-3]. Тим не менше через хімічну інертність води до більшості речовин і матеріалів, вона зовсім не проявляє інгібуючої дії на полум'я [4].

У світовій практиці протипожежного захисту об'єктів різного призначення великого поширення набувають технології розприскування водних вогнегасних речовин, які найповніше забезпечують реалізацію як унікальних фізико-хімічних властивостей води, так і інгібуючої функції розчинених у воді солей [5, 6]. В практиці пожежогасіння у ролі розчинених у воді вогнегасних

речовин – інгібіторів горіння найчастіше використовують солі *s*-металів та амонію [7-11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нещодавно в галузі пожежогашіння з'явилися публікації стосовно розробки нових вогнегасних речовин на основі солей перехідних металів, ефективність гасіння пожеж аерозолями водних розчинів яких зумовлена особливими хімічними властивостями *d*-металів як акцепторів електронів, що у підсумку і забезпечує цим вогнегасним композиціям високу здатність призупиняти поширення полум'я [12–19]. У ролі водних вогнегасних речовин використовувались такі солі *d*-металів, як CoCl_2 , NiCl_2 , MnCl_2 , FeCl_2 тощо. Виявилось, що деякі солі є більш ефективними інгібіторами горіння, ніж такі відомі хладони, як CF_3Br . Серед інгібіторів горіння особливої уваги заслуговують комплексні сполуки калію і феруму [20]. Зокрема вкрай ефективними вогнегасними речовинами виявились концентровані водні розчини калій гексаціаноферату(II) – $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (жовтої кров'яної солі) і, особливо, калій гексаціаноферату(III) – $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (червоної кров'яної солі) [21]. Зокрема, 30% водний розчин червоної кров'яної солі спроможний дуже дієво придушувати полум'яне горіння.

В цьому плані дуже перспективними речовинами, які слід використовувати для розробки нових водних вогнегасних речовин, є сполуки купруму, атоми *d*-металу яких виявляють неабияку спроможність хімічно зв'язуватись з гетероатомами різних горючих органічних речовин і активними частинками полум'я.

Постановка завдання та його вирішення. Вивчити вогнегасну ефективність аерозолію водного розчину купрум(II) хлориду та експериментальним шляхом встановити кількісні параметри гасіння вуглеводневого полум'я.

Випробовування водної вогнегасної речовини (ВВР) здійснювали згідно з 10.5.1.1 ДСТУ 3789 на установці, зображеній на рис. 1. Установка складається з випробувальної камери (рис. 1, *a*), розміром $0,7 \times 0,6 \times 0,45$ м (робочий об'єм становить 170 л) з верхнім отвором ($\varnothing$ 10 см), сполученим з витяжним каналом газовідвідною трубою і осередком горіння в середині, мірної ємності для визначення витрат вогнегасної рідини, обладнання для подачі в осередок горіння дрібно розприсканої рідини (сертифікований вогнегасник ВВ-5 з насадкою сприску) і секундоміра. Характеристика вимірювальних приладів приведена в табл. 1.

Для створення осередку горіння, використовували вогнище класу В1 згідно з ДСТУ 3675. На рівну основу дна випробувальної камери вносили кругле деко (висота борту 0,1 м, діаметр 0,15 м) з горючою рідиною (суміш аліфатичних вуглеводнів з такими

показниками якості: початок температури кипіння – не нижче ніж 84°C, кінець – не вище 105°C; різниця між температурою початку і кінця кипіння – не більше ніж 10°C; вміст ароматичних вуглеводнів – не перевищував 1 об %; питома густина за температури 15°C – 0,70(2) г/см³). Деко наповнювали 360(1) мл води і 180(1) мл пального.

Таблиця 1 – Характеристика вимірювальних приладів

№ п/п	Найменування приладу чи пристрою	Заводський номер	Границя вимірювання	Клас точності або похибка вимірювання	Дата наступної перевірки
1	Вогнегасник ВВ-5 з насадкою сприску (діаметр отвору 1 мм)	б/н	–	–	–
2	Секундомір СОП	8625	Від 0 до 3600 с	±0,2 с	09.12 р.
3	Ваги ТВЕ 150	049	Від 0,04 до 150,0 кг	Кл. точн. 4	09.12 р.
4	Лінійка вимірювальна	б/н	Від 0 до 1000 мм	±0,5 мм	09.12 р.
5	Пружинний манометр	68808	Від 0 до 16 кгс/м ²	±0,4 %	09.12 р.
6	Анемометр АСО-3	1179	від 0,1 до 5 м/с	±0,1%	09.12 р.

Окремо готували робочий розчин водної вогнегасної речовини у вигляді 40% водного розчину купрум(II) хлориду, заповнювали випробувальний прилад типу вогнегасника, в корпусі якого створювали тиск у 6 атм, використовуючи для цього балон зі стисненим повітрям; розприскування ВВР здійснювали за допомогою центробіжної шнекової форсунки з діаметром отвору в насадці 1 мм. Визначали продуктивність подачі водної вогнегасної речовини $Q_{\text{ВВР}} = 0,0045$ л/с (для порівняння продуктивність подачі води за тих самих умов $Q_{\text{води}} = 0,0054$ л/с).

Пальне у деці підпалювали вручну, за допомогою запаленого смолоскипа. Після (60 ± 5) с вільного горіння в умовах припіднятої шторки (на 5 см) з бічного отвору випробувальної камери починали подавати водну вогнегасну рідину безпосередньо в полум'я із вогнегасника. Фіксували тривалість гасіння, що дорівнював проміжку часу від початку подавання розчину до повного припинення горіння.

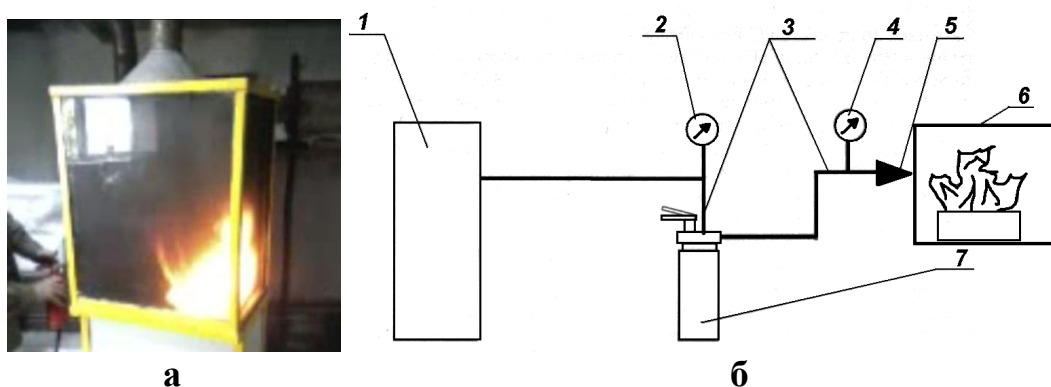


Рис. 1 – а – загальний вигляд спеціальної випробувальної камери зі скляною вітриною; б – схема установки для вогнегасних випробувань: 1 – балон із стисненим повітрям; 2, 4 – манометри; 3 – з'єднувальний шланг; 5 – центробіжна шнекова форсунка; 6 – осередок займання (вогнище класу В1), 7 – пристрій подачі ВВР типу вогнегасника ВВ-5

Вуглеводневе полум'я гасили як 40% водним розчином купрум(II) хлориду, так і звичайною водогінною водою. Проводили по три досліди. Результат вважався позитивним, якщо тривалість гасіння не перевищував 120 с. У разі позитивного результату гасіння перших трьох дослідів підряд, четвертий дослід не проводився.

Таблиця 2 – Результати експерименту з гасіння осередку займання водним розчином купрум(II) хлориду та водою

Водна вогнегасна речовина	$\Delta\tau$, с	$V_{\text{ВВР}}$, л	Результати гасіння	K_1
H_2O	7	0,0378	Погашено	1
	120	0,6480	Не погашено	
	11	0,0594	Погашено	
	8	0,0385	Погашено	
	9	0,0486	Погашено	
40% водний розчин CuCl_2	1,2	0,0054	Погашено	5,4
	1,5	0,0067	Погашено	
	1,8	0,0080	Погашено	

Випробовування проводили у замкненому просторі за швидкості вітру поблизу вогню не більше, ніж 0,1 м/с (природна тяга) і температури повітря від 10°C до 25°C, температури робочого розчину ($17,5 \pm 2,5$)°C і температури пального ($17,5 \pm 2,5$)°C.

Результати стендових випробувань приведені в табл. 2. Був обчислений коефіцієнт підвищення вогнегасної ефективності (K_1) ВВР стосовно води за формулою:

$$K_1 = V_{\text{вода}}/V_{\text{ВВР}}$$

Результати стендових випробувань засвідчили, що тривалість гасіння осередку займання (вогнище класу В1) 40% водним розчином купрум(II) хлориду становив 1,5 с в умовах проведення випробування. Кінограму процесу гасіння полум'я показано на рис. 2. Як бачимо на 0,5 с спостерігається поява характерного спалаху, що свідчить про стрімке зростання теплового ефекту процесу інгібування горіння на цій стадії. На нашу думку це відображає взаємодію пароподібних молекул інгібітора (Cu_2Cl_4) з радикалами $\text{HO}^\bullet$ і $\text{H}^\bullet$ вуглеводневого полум'я та утворення радикально-молекулярних, а згодом і іонно-молекулярних комплексів [22].

Показано, що вогнегасна ефективність водної вогнегасної речовини стосовно води з урахуванням тривалості та витрат на гасіння вуглеводневого полум'я підвищується у 5,4 рази.

Отже, результати вогнегасних випробувань продемонстрували високу ефективність гасіння вуглеводневого полум'я за допомогою аерозолю 40% водного розчину CuCl_2 . При цьому встановлено, що мінімальні витрати водної вогнегасної речовини становлять $0,8 \text{ л/м}^2$.

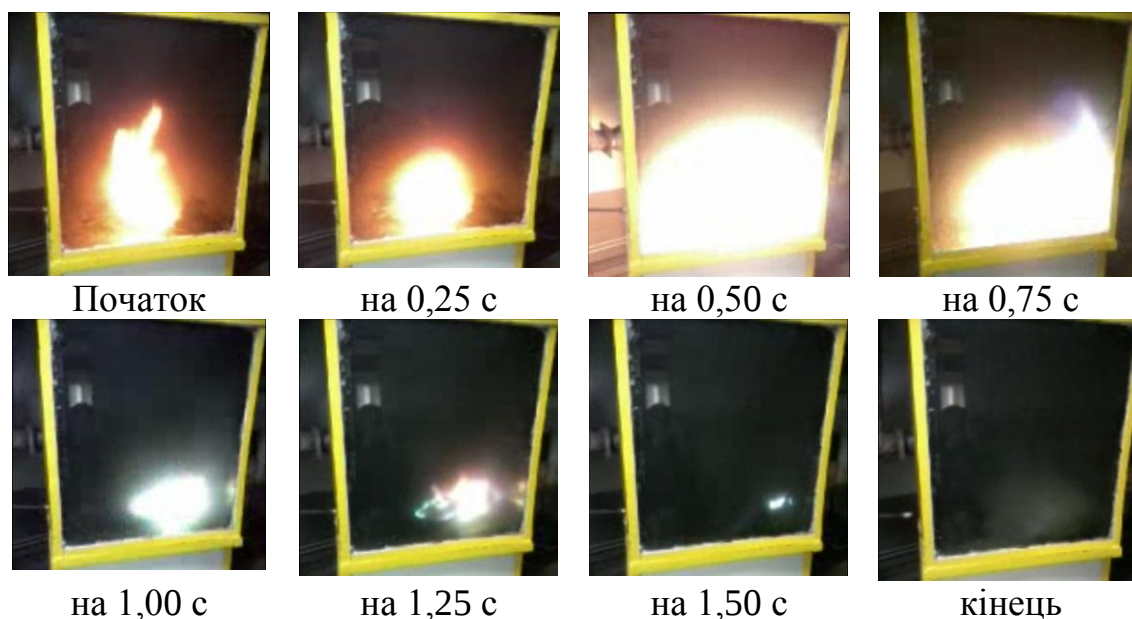


Рис. 2 – Кінограма поетапного гасіння полум'я осередку займання класу В1 водною вогнегасною речовиною на основі купрум(II) хлориду

Висновки. Експериментальні дослідження показали, що нетривала дія аерозолем 40% водного розчину купрум(II) хлориду безпосередньо на вуглеводневе полум'я зумовлює його ефективне гасіння. Встановлено, що в умовах експерименту тривалість гасіння полум'я розприсканою водною вогнегасною речовиною становить 1,5 с, що у 5,4 рази ефективніше за воду. Мінімальний об'єм

витраченого 40% водного розчину купрум(II) хлориду на гасіння полум'я становить 0,8 л/м².

ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Условия и временные характеристики тушения пожара класса В распыленной водой / Абрамов Ю.А., Бесараб С.Н., Садковой В.П. // Проблемы пожарной безопасности. – 2011. – Вып. 30. – С. 3-7.

2. Дударев В.В. Влияние дисперсности распыленной воды на интенсивность ее подачи при тушении пожара в закрытом объеме / Дударев В.В., Горовых О.Г., Бардушко С.Н., Шмулевцов И.А., Бобрышева С.Н. // Научный вестник УкрНДІПБ. – 2009. – Т. 19, № 1. – С. 149-157.

3. Копылов Н.П. Изучение закономерностей тушения тонкораспыленной водой модельных очагов пожара / Копылов Н.П., Чибисов А.Л., Душкин А.Л., Кудрявцев Е.А. // Пожарная безопасность. – 2008. – № 4. – С. 45-58.

4. Алеханов Ю.В. Взаимодействие диспергированной воды с пламенем / Алеханов Ю.В., Блинецов М.В., Власов Ю.А., Дудин В.И., Левушов А.Е., Логвинов А.И., Ломтев С.А., Мешков Е.Е. // Письма в ЖТФ. – 2003. – Т. 29, № 6. – С. 1-6.

5. Коврегин В.В. Повышение эффективности пожаротушающих составов на основе воды за счет добавок различных реагентов / Коврегин В.В., Калугин В.Д., Кустов М.В., Сидоренко О.В. // Вісник ЛДУБЖД. – 2010. – № 4. – Ч. 1. – С. 136-142.

6. Турчин А.І. Теоретичні і практичні питання застосування технологій тонкого розпилювання водних вогнегасних речовин / Турчин А.І., Антонов А.В. // Научный вестник УкрНДІПБ. – 2008. – Т. 17, № 1. – С. 138-145.

7. Турчин А.І. Дослідження з визначення показників якості деяких водних вогнегасних речовин / Турчин А.І., Боровиков В.О., Антонов А.В., Козяр Н.М. // Научный вестник УкрНДІПБ. – 2008. – Т. 18, № 2. – С. 110-115.

8. Патент на корисну модель № 52969 U, Україна, МПК А62D 1/02 (2006.01). Водна вогнегасна речовина для гасіння тонкорозпиленними струменями пожеж класів «А» та «В» за ГОСТом 27331-87 з використанням від –30 до +50°C / Антонов А.В., Ковалишин В.В., Турчин А.І., Козяр Н.М. (Україна). – № u200911293; Заявл. 06.11.2009; Опубл. 27.09.2009; Бюл. № 18.

9. Патент на винахід № 96797 C2, Україна, МПК А62D 1/02 (2006.01). Водна вогнегасна речовина для гасіння тонкорозпиленними струменями пожеж класів «А» та «В» за ГОСТом 27331-87 / Антонов

А.В., Ковалишин В.В., Турчин А.І., Вайсман М. Н., Козяр Н.М. (Україна). – № а200911271; Заявл. 06.11.2009; Опубл. 12.12.2011; Бюл. № 23.

10. Патент на винахід № 84683 С2, Україна, МПК С09К 21/00, А62D 1/00, А62D 1/06 (2006.01). Антипіренова композиція та спосіб її одержання / Нільссон Йенс Біргер. – № а200501765; Заявл. 05.08.2003; Опубл. 25.11.2008; Бюл. № 22

11. Авторское свидетельство № 1792719 А1, СССР, МПК А62D 1/00. Огнетушащее средство / Вакулонис Г.Ю., Левертов М.Г., Любарский Б.С., Романенко И.П. – № 4731866/26; Заявл. 26.06.1989; Опубл. 07.02.1993; Бюл. № 5.

12. Mawhinney J.R. Design of water mist fire suppression systems for shipboard enclosures / Mawhinney J.R. // Proc. of the Intern. Conf. on Water Mist. Fire Suppresion Systems. – Boras, Sweden. – 1993. – P. 16-44.

13. Moore T.A. Laboratory optimization and medium scale screening of iodide salts and water mixtures / Moore T.A., Weitz C., McCormick S., Clauson M. // Proc. of Halon Option Technicfl Working Conf. – Albuquerque, NM. – 1996 – P. 477-498.

14. Shilling H. Extinction of diffusion flames by ultra fire water mist doped with metal chlorides / Shilling H., Dlugogorski B.Z., Kennedy E.M., Leonardi E. // Proc. of the Sixth Australasian Heat and Mass Transfer Conf. – New York: Begell House, 1996. – P. 275-282.

15. Zheng R. Effect of sprays of water and NaCl-water solutions on the extinction of laminar premixed methane-air counterflow flames / Zheng R., Rogg B., Bray K.N. // Combust. Sci. Technol. – 1997. – V. 126. – P. 389-401.

16. Lazzarini A.K. Extinction conditions of non-premixed flames with fine droplets of water and water/NaOH solutions / Lazzarini A.K., Krauss R.H., Chelliah H.K., Linteris G.T. // Proc. Combust. Inst. – 2000. – V. 28. – P. 2939-2945.

17. McDonneli D., Dlugogorski B.Z., Kennedy E.M., Evaluation of transition metals for practical fire suppression systems // Proc. of Halon Option Technicfl Working Conf. – Albuquerque, NM. – 2002 – P. 117-124.

18. Linteris G.T. Ecsperimental and numerical evaluation of metallic compounds for suppressing cup-burner flames / Linteris G.T., Katta V.R., Takahashi F. // Combust. Flame. – 2004. – V. 138, N 1-2. – P. 78-96.

19. Liu J. Experimental study on CH₄/air fire suppression effectiveness of water mist with metal chloride additives / Liu J., Cong B., Liao G. // Book of Abstr. of 32th Intern. Symp. on Combustion. – Monreal, Canada. – 2008. – P. 1F03.

20. Коробейничев О.П. Исследование фосфорорганических, фторорганических, маталлосодержащих соединений и твердотопливных газогенераторных составов с добавками фосфорсодержащих соединений в качестве эффективных пламегасителей / Коробейничев О.П., Шмаков А.Г., Шварцберг В.М., Якимов С.А., Князьков Д.А., Комаров В.Ф., Сакович Г.В. // Физика горения и взрыва. – 2006. – Т. 42, № 6. – С. 64-73.

21. Коробейничев О.П. Тушение пожаров с помощью аэрозолей растворов солей / Коробейничев О.П., Шмаков А.Г., Чернов А.А., Большова Т.А., Шварцберг В.М., Куценогий К.П., Макаров В.И. // Физика горения и взрыва. – 2010. – Т. 46, № 1. – С. 20-25.

22. Годованец Н. Н. Влияние процесса комплексообразования на снижение горючести анилина в солянокислом водном растворе хлорида меди(II) / Н. Годованец, Б. Мыхаличко, О. Щербина, Г. Винявская // Пожарная безопасность. – 2010. – № 4. – С. 70-76.

Годованец Н.Н., Мыхаличко Б.М., Петровский В.Л., Щербина О.Н.

Огнетушащие испытания водного огнетушащего вещества на основе хлорида меди(II)

В работе представлены результаты стендовых испытаний огнетушащего действия на углеводородное пламя водного раствора хлорида меди(II). Экспериментальные исследования показали, что непродолжительное действие 40% водного раствора хлорида меди(II) (CuCl_2) непосредственно на пламя определяет его эффективное тушение. Установлено, что в условиях эксперимента продолжительность тушения очага воспламенения класса В1 аэрозолем водного раствора хлорида меди(II) составляет 1,5 с, что более, чем в 5 раз эффективнее чем водой. Минимальный объем расходуемого 40% водного раствора хлорида меди(II) при тушении пламени составляет 0,8 л/м².

Ключевые слова: огнетушение, водные огнетушащие вещества, ингибиторы горения, соли меди

Godovanets N.N., Mykhalitchko B.M., Petrovs'kyj V.L., Stcherbyna O.M.

Fire-extinction of testing aqueous extinction of substance on the basis of copper(II) chloride

In article the outcomes ground test fire-extinction of operation on a hydrocarbonaceous flame of an aqueous solution of copper(II) chloride of represented. The experimental researches have shown, that the short operation 40 % of an aqueous solution of copper(II) chloride (CuCl_2) is immediate on a flame determining its effective quenching. Is installed, that in conditions of experiment the duration of a quenching of a flame of the model center of the class B1 by an aerosol of an aqueous solution of copper(II) chloride makes 1,5 s with, that more, than in 5 times it is more effective than water. Minimum size gone 40 % of an aqueous solution of copper(II) chloride at a quenching of a flame makes 0,8 л/м².

Keywords: fire-extinction, aqueous fire-extinction of substance, inhibitors of combustion, salt of copper