

*С.М. Шахов, викладач, НУЦЗУ,  
С.А. Виноградов, к.т.н., доцент, заст. нач. каф., НУЦЗУ,  
А.І. Кодрик, к.т.н., нач. відділу, УкрНДІ ЦЗ,  
О.М. Тітенко, к.т.н., с.н.с., УкрНДІ ЦЗ*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ВОГНЕГАСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПРЕСІЙНОЇ ПІНИ ПІД ЧАС ГАСІННЯ НЕЮ ТВЕРДИХ ГОРЮЧИХ РЕЧОВИН**

(представлено д.т.н. Тарасенком О.А.)

Експериментально визначено показник ефективності гасіння для твердих горючих речовин компресійною піною. Встановлено, як впливає кратність та кількість піноутворювача на її вогнегасну ефективність. Проведено досліді щодо гасіння твердих горючих речовин у вигляді модельних вогнищ класу А. Отримані залежності, які дозволили вивчити, який вплив має структура піни та концентрація піноутворювача під час гасіння нею твердих горючих речовин.

**Ключові слова:** пожежогасіння, компресійна піна, вогнегасна ефективність, тверді горючі речовини, пожежа класу А.

**Постановка проблеми.** Відомо, що складовими піни є повітря, вода та піноутворювач. Структуру компресійної піни, а саме співвідношення повітряної та рідкої фази, визначає її кратність. В свою чергу з експериментальних досліджень [1] встановлено, що від кратності піни залежать наступні її властивості: стійкість, дисперсність і однорідність. Отже від структури піни залежить її вогнегасна ефективність. З проведеного аналізу [2] з'ясовано, що кожен з відомих світових виробників установок пожежогасіння компресійною піною пропонує різні співвідношення рідкої та повітряної фаз, вміст піноутворювача та робочий діапазон кратності.

На шляху ефективного застосування компресійної піни постає проблема, що полягає у відсутності теоретичного підходу та практичних досліджень, які науково обґрунтовують вплив зміни структури та кількості піноутворювача в компресійній піні на її вогнегасну ефективність.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Найбільша кількість відомих досліджень присвячено використанню компресійної піни для гасіння рідких горючих речовин. Так, у роботі [3] оцінювалась вогнегасна ефективність системи подачі компресійної піни при різних співвідношення кількості стисненого повітря і водного розчину піноутворювача для гасіння пожеж рідких горючих речовин. У дослідженні [4] порівнювалась ефективність гасіння пожеж рідких горючих речовин з використанням піноутворювачів класу А (змочувачі) і AFFF (плівкоутворюючий) в системах компресійної і повітряно-механічної піни. У роботі [5] вивчено вплив типу пінних бульбашок системи CAFS на час гасіння пожежі. Як джерело загорання використовували бензин. Виділено три типи пінних бульбашок: мокрі, середні та сухі. Щодо застосування компре-

сійної піни для гасіння твердих горючих речовини, то в дослідженні [6] проведено порівняння ефективності гасіння таких пожеж компресійною піною та повітряно-механічною піною низької кратності. Ряд досліджень було спрямовано на пошук оптимальних способів змішування компонентів в системах для подачі компресійної піни. Так, у роботах [7] проаналізовано існуючі способи вводу повітря в камеру змішування CAFS.

Авторами в роботі [1] вивчалися властивості компресійної піни, такі як її стійкість, дисперсність та однорідність. Визначено, що для компресійної піни більшої кратності має місце і більша її стійкість. Також зі збільшенням кратності відбувається зменшення розміру пінної бульбашки, що призводить до збільшення часу її існування, наслідком чого є утворення високодисперсної стійкої піни. Виходячи з аналізу, вплив структури компресійної піни на її вогнегасну ефективність під час гасіння твердих горючих речовин вивчені недостатньо повно, зокрема вплив кратності піни та кількість піноутворювача у розчині.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою дослідження є визначення впливу структури та кількості піноутворювача на вогнегасну ефективність компресійної піни під час гасіння твердих горючих речовин.

Для визначення вогнегасної ефективності компресійної піни використовувалися показник ефективності гасіння  $P_{e.g.}$  [8-9], який розраховується за формулою:

$$P_{e.g.} = \frac{S_{\Pi}}{K_{\Pi} V_p \tau}, \frac{\text{м}^2}{\text{кг} \times \text{с}} \quad (1)$$

Як модельне вогнище пожежі класу А був вибраний штабель з 32 брусків розміром (20×20×150) мм, укладених в 8 шарів по 4 бруски в кожному. Відстань між брусками у ряді 20 мм. Загальна площа брусків складає 0,41 м<sup>2</sup>. Відкрита поверхня горіння модельного вогнища (за відніманням площ перекриття брусків) складає 0,32 м<sup>2</sup>. Це модельне вогнище пожежі класу А широко використовується при лабораторних визначеннях показника вогнегасної здатності різних вогнегасних засобів [10–14]. На рис. 1 представлені фото модельного вогнища та процес його розпалювання.

Маса вогнегасної речовини визначалася шляхом зважування ємності заповненої розчином піноутворювача до початку гасіння модельного вогнища і після повного припинення горіння. Для проведення дослідів використовувався експериментальний зразок системи пожежогасіння компресійною піною [15]. Перед проведенням експерименту положення вентиля столу були відрегульовані відповідно для отримання робочої кратності піни  $K = (15; 20; 25)$ . Був використаний піноутворювач загального призначення «БАРС – S». Робочий діапазон концентрації піноутворювача Р у воді складав  $P = (4 \div 6) \%$ . Змішування піноутворювача і води в певній пропорції відбувалося у робочому балоні установки для подачі компресійної піни заздалегідь перед гасінням. Умови гасіння витримувались згідно [16]. На рис. 2 представлені фото процесу гасіння модельного вогнища пожежі.



а)

б)

Рис. 1. Модельне вогнище пожежі: а) загальний вид лабораторного вогнища; б) горіння лабораторного вогнища



Рис. 2. Процес гасіння модельного вогнища компресійною піною

Згідно [17] для реалізації мети був спланований ПФЕ типа  $2^k$  з допустимою точністю моделі 5% в якому як чинники були вибрані кратність компресійної піни  $K$  ( $x_1$ ) і концентрація піноутворювача в робочому розчині  $P$  ( $x_2$ ).

У якості відгуків для показника ефективності гасіння, згідно яких далі розраховувався  $Pe_{г.}$ , були прийняті:

– об'єм розчину піноутворювача компресійної піни витраченого на

гасіння модельного вогнища  $V_p$ ;

– час гасіння  $\tau$  компресійною піною.

Оскільки маса розчину піноутворювача  $m_p = V_p$ , у плані прийнято рішення використовувати  $m_p$ , як відгук для показника ефективності гасіння. Згідно [17] у якості нульового рівня чинників був обраний центр інтервалу, в якому планується проводити дослідження. Так само обрані інтервал варіювання, значення верхнього і нижнього рівнів чинників в натуральному і кодованому вираженні. Значення рівнів чинників і інтервали варіювання наведені в табл. 1.

**Табл. 1. Значення рівнів чинників і інтервали варіювання**

Найменування чиннику	Рівень та значення чиннику у досліді			Інтервал варіювання
	+1	0	-1	
Кратність компресійної піни, К	25	20	15	7,5
Кількість піноутворювача у розчині, Р %	6	5	4	2

При складанні плану – матриці ПФЕ типа  $2^k$  використовувався ортогональний план другого порядку [18]. Далі на підставі плану ПФЕ була складена робоча матриця і проведений експеримент по виміру маси розчину піноутворювача компресійної піни  $m_p$  і часу гасіння  $\tau$  компресійною піною. Робоча матриця планування та отримані результати експерименту представлені в табл. 2.

**Табл. 2. Робоча матриця планування та отримані результати експерименту**

N	К	Р, %	маса розчину $m_p$ , кг				час гасіння $\tau$ , с			
			1	2	3	$\bar{m}$	1	2	3	$\bar{\tau}$
			$m_1$	$m_2$	$m_3$		$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$	
1	15	4	1,03	0,96	0,98	0,99	13,8	16,1	15,1	15
2	25	4	0,73	0,68	0,75	0,72	8,3	10,5	8,65	9,15
3	15	6	0,8	0,76	0,825	0,795	14,9	15,6	12,4	14,3
4	25	6	0,625	0,675	0,635	0,645	7,9	9,75	8,33	8,66
5	15	5	0,83	0,885	0,895	0,87	15,2	13,4	14,9	14,5
6	25	5	0,745	0,65	0,69	0,695	8,7	9,45	9	9,05
7	20	4	0,935	0,87	0,88	0,895	9,87	10,9	9,83	10,2
8	20	6	0,805	0,74	0,75	0,765	8,8	10,1	8,94	9,28
9	20	5	0,865	0,81	0,83	0,835	10,4	8,18	10,7	9,76

Згідно плану проведення дослідів, наступним кроком було розраховано показник ефективності гасіння  $\Pi_{E.G.}$ , для кожної серії дослідів за формулою (1). Результати розрахунків показника ефективності гасіння  $\Pi_{E.G.}$  наведено в табл. 3.

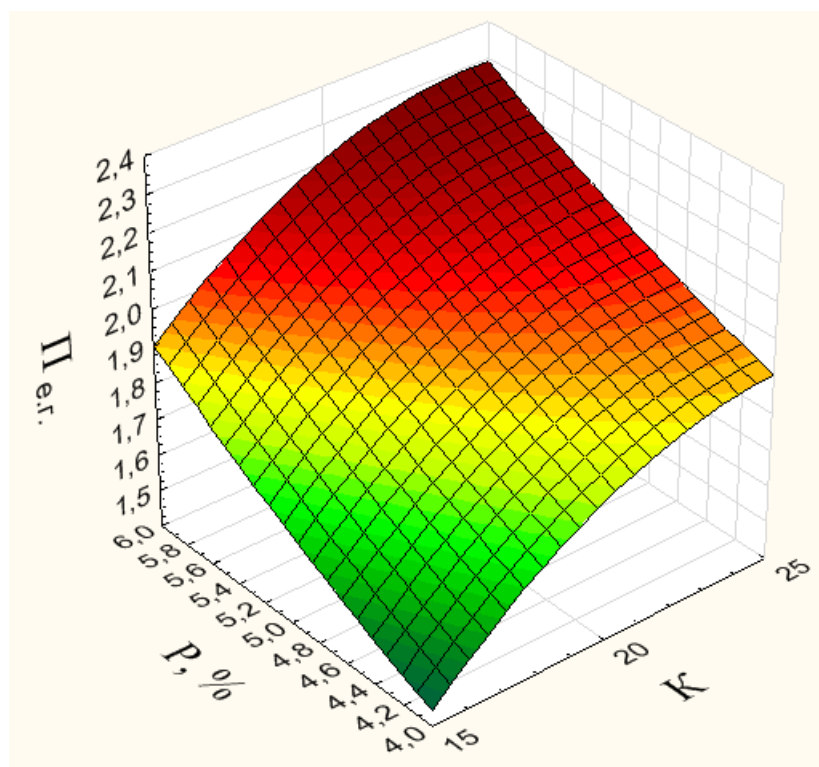
Аналізуючи поверхню відгуку залежності показника ефективності гасіння  $\Pi_{E.G.}$  від кратності піни К і кількості піноутворювача в розчині Р на рисунку 3 можемо зробити висновок, що на верхніх рівнях значення чинників (табл. 1), показник ефективності  $\Pi_{E.G.}$  має найвище значення, тобто піна кратністю 25 отримана з 6% розчину піноутворювача має во-

гнегасний ефект в 1,5 разу більше, ніж піна кратністю 15, утворена з 4% розчину піноутворювача за даних умов експерименту. Рівняння регресії, яке описує дану залежність наведено на формулі 2.

$$P_{E.G.} = -1,4267 + 0,2362 * K + 0,0317 * P - 0,0044 * K^2 - 0,0035 * K * P + 0,025 * P^2 \quad (2)$$

**Табл. 3. Отримані результати розрахунків показника ефективності гасіння**

N, дослід	K, кратність	P, %	m, кг	τ, с	$P_{E.G.} \cdot 10^{-3}, \frac{m^2}{kg \cdot s}$
1	15	4	0,99	15	1,44
2	25	4	0,72	9,15	1,94
3	15	6	0,795	14,3	1,86
4	25	6	0,645	8,66	2,29
5	15	5	0,87	14,5	1,69
6	25	5	0,695	9,05	2,04
7	20	4	0,895	10,2	1,75
8	20	6	0,765	9,28	2,25
9	20	5	0,835	9,76	1,96



**Рис. 3. Поверхня відгуку показника ефективності гасіння від кратності компресійної піни та концентрації піноутворювача у розчині з водою**

**Висновки.** В роботі наведено результати експериментальних досліджень, метою яких було визначення вогнегасної ефективності КП під час гасіння нею твердих горючих речовин, в залежності від її структури і вмісту піноутворювача в розчині. Визначено, що кратність піни істотно впливає на вогнегасну ефективність. Так, збільшення кратності піни з 15 до 20 призводить до підвищення ефективності гасіння на 21%, а з 20 до 25 – до 10%. При цьому для розчину з 6% вмістом ПУ підвищення ефективності гасіння для піни кратністю 25 не спостерігається, що добре ко-

релюється з результатами, отриманими в [1] та вказує на те, що ПУ необхідно використовувати відповідно до рекомендацій виробника у співвідношенні 6/94. У роботі отримано регресійну залежність, за допомогою якої можна порівняти показник ефективності гасіння компресійної піни в залежності від її структури та вмісту ПУ у розчині.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Виноградов С. А. Кодрик А. І., Тітенко О. М., Шахов С. М. Вплив кратності компресійної піни на дисперсність і стійкість. Проблеми пожежної безпеки. 2019. № 45. С. 27–33.
2. Виноградов С. А., Шахов С. М., Ларін О. М. Аналіз світових зразків систем пожежогасіння газонаповненою піною. Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація. Збірник. 2017. № 1. С. 50–59.
3. Dong-Ho R., L. Jang-Won., K. Seonwoong. Class B Fire-Extinguishing Performance Evaluation of a Compressed Air Foam System at Different Air-to-Aqueous Foam Solution Mixing. Applied Science. 2016. Vol. 191, Issue 6. P. – 2–12.
4. Crampton G. A. Kim. Comprasion of the Fire Suppression Performance of Compressed – Air Foam with Air Aspirated and Unexpanded Foam Water Sopution. Research Report. 2004. № 147 P. 1-25.
5. Jing-yuan C., X. Mao. Experimental Research of Integrated Compressed Air Foam System of Fixed (ICAF) for Liquid. Procedia Engineering. 2014. Vol. 71. P. 44 – 56.
6. Камлюк А. Н., Навроцкий О. Д., Грачулин А. В. Тушения пожаров пеногенерирующими системами со сжатым воздухом. Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2017. Т. 1, № 1. С 44-53.
7. Feng D. Analysis on Influencing Factors of the Gas-liquid Mixing Effect of Compressed Air Foam Systems. Procedia Engineering. 2013. Vol. 52. P. 105 – 111.
8. Бобков С. А., Бабурин А. В., Комраков П. В. Физико-химические основы развития и тушения пожаров : учеб. пособие. Москва : Академия ГПС МЧС России, 2014. 210 с.
9. Рашоян И. И., Физико-химические основы развития и тушения пожара. 2013. 107 с.
10. Дубков П. Ф., Плосконосов В. Г., Галкин А. В. Установка для определения огнетушащей эффективности воды с добавками. Пожаротушение. 1983. С. 92-95.
11. Абрамов А. А., Степананко С. Г., Шкоруп А. И. Параметры горения модельного очага пожара класса А. Средства порошкового пожаротушения. 1992. С. 3-5.
12. Шкоруп А. И., Степаненко С. Г., Волошаенко А. И. Особенности тушения очагов пожаров классов А и В в лабораторных условиях. Средства порошкового пожаротушения. 1992. С. 119-125.
13. Жартовский В.А, Цапенко А.В., Стеценко В.В. Дослідження процесів пожежогасіння комбінаціями деяких вогнегасних речовин. Пожежна безпека. 2003. № 7 (46). С. 28-29.

14. Кустов М. В., Калугин В. Д. Повышение огнетушащей эффективности истинных растворов с помощью добавок электролитов. Проблемы пожарной безопасности. 2008. №.24. С. 38-43.

15. Кодрик А. І., Нікулін О. Ф., Тітенко О. М., Шахов С. М., Крутов О. В. Залежність властивостей компресійної піни від робочих параметрів процесу генерування піни. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. 2019. № 1 (7). – С. 54-64.

16. ДСТУ 3675-98. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань. Київ : Держстандарт України, 1998. 34 с.

17. Винарский В. С., Лурье М. В. Планирование эксперимента в технических исследованиях. Техника, 1975. 168 с.

18. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных. Наука, 1976. 254 с.

*Отримано редколлегією 10.10.2019*

С.М. Шахов, С.А. Виноградов, А.И. Кодрик, О.М. Титенко

**Зависимость огнетушащей эффективности компрессионной пены от ее структуры и количества пенообразователя**

Экспериментально определен показатель эффективности тушения для твердых горючих веществ компрессионной пеной. Установлено, как влияет кратность и количество пенообразователя на ее огнетушащую эффективность. Проведены опыты по тушению твердых горючих веществ в виде модельных очагов класса А. Получены зависимости, которые позволили изучить, какое влияние имеет структура пены и концентрация пенообразователя при тушении ней твердых горючих веществ.

**Ключевые слова:** пожаротушение, компрессионная пена, огнетушащая эффективность, твердые горючие вещества, пожар класса А.

S. Shakhov, S. Vinogradov, A. Kodryk, O. Titenko

**Dependence of the fire extinguishing efficiency of compression foam on its structure and the amount of foaming agent**

The quenching efficiency of compression foam solids has been experimentally determined. It is established how the multiplicity and quantity of foaming agent affect its fire extinguishing efficiency. Experiments have been conducted on the extinguishing of solid flammable substances in the form of model fires of class A. The dependences have been obtained, which allowed us to study the effect of the foam structure and the concentration of the foaming agent during the extinguishing of solid flammable substances.

**Keywords:** fire extinguishing, compression foam, fire extinguishing efficiency, solid flammable substances, class A fire.