

*С.А. Виноградов, к.т.н., доцент, заст. нач. каф., НУЦЗУ,
А.І. Кодрик, к.т.н., нач. відділу, УкрНДІЦЗ,
О.М. Тітенко, к.т.н., с.н.с., УкрНДІЦЗ,
С.М. Шахов, ад'юнкт, НУЦЗУ*

ВПЛИВ КРАТНОСТІ КОМПРЕСІЙНОЇ ПІНИ НА ДИСПЕРСНІСТЬ І СТІЙКІСТЬ

(представлено д.т.н. Кіреєвим О.О.)

Проведено експериментальні дослідження та визначено основні залежності впливу кратності на дисперсність та стійкість в компресійній піні. Встановлено залежність збільшення та зменшення розміру міхурів від кратності піни. Отримані результати вимірів стійкості піни від її кратності.

Ключові слова: пожежогасіння, компресійна піна, кратність, дисперсність, стійкість, середній розмір міхурів.

Постановка проблеми. Для пін, що застосовуються в пожежогасінні, вогнегасними показниками є кратність, стійкість і дисперсність [1]. Дисперсність, яка оцінюється середнім розміром міхурів є однією з найважливіших характеристик структури вогнегасної піни [2]. Стверджується [3], що чим вище дисперсність і менше середній радіус міхура, тим більше стійкість піни і вище її вогнегасна ефективність. Відомо [4], що при отримання пін повітряно-механічним способом, при збільшенні кратності зростає і середній діаметр міхурів, оскільки при збільшенні кратності піни товщина плівок між бульбашками зменшується. Отже зі збільшенням кратності повітряно-механічна піна стає низкодисперсною і її стійкість зменшується.

Останнім часом в Європі набули широкого поширення установки для генерації компресійної вогнегасної піни (CAFS), завдяки яким можна отримати високодисперсну стійку вогнегасну піну, яка має значні переваги у порівнянні з традиційними пінними засобами пожежогасіння [5, 6]. Різниця між повітряно-механічною і компресійною вогнегасною піною полягає в тому, що для отримання компресійної піни повітря не ежектуються, а нагнітається під тиском в спеціальних камерах змішування.

Проте на шляху впровадження компресійної піни як ефективного засобу пожежогасіння постає проблема, що полягає в отриманні науково-обґрунтованих даних щодо впливу особливостей формування компресійної піни на її вогнегасні показники.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільша кількість відомих досліджень присвячено використанню компресійної піни для гасіння рідких горючих речовин. Так, у роботі [7] оцінювалась вогнегасна ефективність системи подачі компресійної піни при різних співвідно-

шення кількості стисненого повітря і водного розчину піноутворювача для гасіння пожеж рідких горючих речовин.

У дослідженні [8] 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 [9] досліджувався вплив концентрації піноутворювача на ефективність гасіння модельних вогнищ пожеж твердих та рідких горючих речовин компресійної піною, де концентрації змінювались від 1,2% до 12%.

У роботі [10] 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 компресійної піни для гасіння твердих горючих речовини, то в дослідженні [11] 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 [12] проаналізовано існуючі способи вводу повітря в камеру змішування CAFS.

Таким чином, всі відомі дослідження спрямовані, в основному, на експериментальне визначення ефективності застосування компресійної піни для гасіння пожеж різних речовин. Виходячи з аналізу, властивості компресійної піни вивчені недостатньо повно, зокрема зв'язок таких її вогнегасних показників, як кратність, дисперсність та стійкість.

Постановка завдання та його вирішення. Метою дослідження є визначення впливу кратності компресійної піни на її дисперсність і стійкість та визначення середнього розміру міхурів.

Схему експериментальної установки для генерації компресійної піни наведено на рис. 1. Працює вона наступним чином. Ємністю для розчину піноутворювача 1 використовується вогнегасник ОП-20. Подачу повітря передбачено від компресору 2. Витискання розчину піноутворювача з ємності відбувається за рахунок стисненого повітря з компресора. У лінію після компресору вмонтований редуктор 3 для регулювання тиску та витрат повітря до робочої камери 4. Для змішування розчину піноутворювача з повітрям використовується оригінальний реактор 5, в якому передбачені сопла Лавалю для подачі розчину, та пористі тіла для змішування його з повітрям. Витрати розчину та повітря регулюються окремо за допомогою кранів 6.

Для проведення дослідів використовувався піноутворювач загального призначення Барс S-1, з концентрацією робочого розчину 6%. Протягом дослідів підтримувався постійний тиск в установці 0,6 МПа.

Для зміни кратності змінювались такі вхідні параметри, як витрата рідини та витрата повітря. Стійкість та кратність піни визначали згідно з рекомендаціями [13, 14].

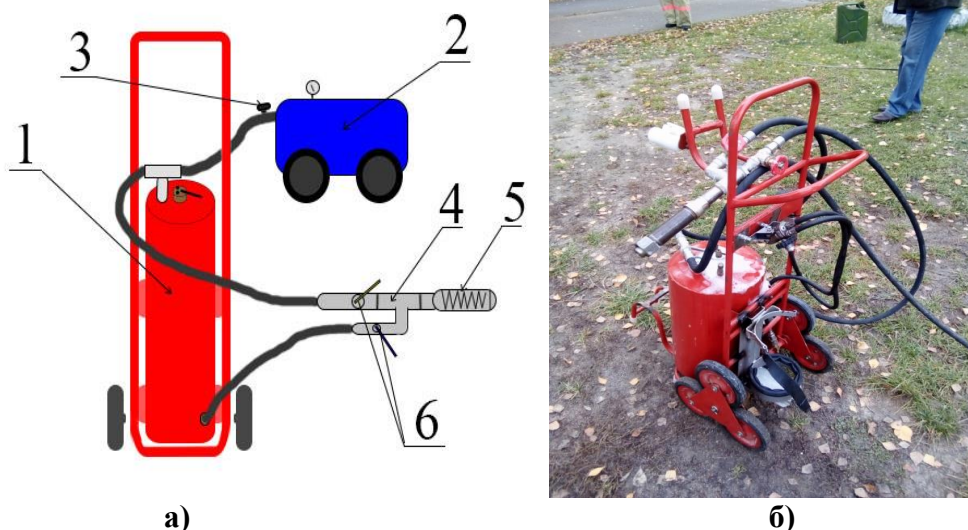


Рис. 1. Схема (а) та фото (б) установки для компресійної піни: 1 – ємність для розчину піноутворювача, 2 – компресор, 3 – редуктор для регулювання тиску та витрат повітря, 4 – робоча камера, 5 – оригінальний реактор для змішування, 6 – крани для регулювання витрату розчину та повітря

У табл. 1 наведено результати експериментального дослідження з визначення залежності стійкості піни від її кратності дані щодо результатів вимірів стійкості компресійної піни в залежності від її кратності.

Табл. 1. Результати дослідження залежності стійкості піни від її кратності

№ досліду	Витрата рідини, л/хв	Витрата повітря, л/хв	Кратність піни	Стійкість піни, хв
1	4,5	35,3	5,23	6
2	3,75	30,7	5,46	6
3	4,463	41,3	6,176	6,4
4	2,4	23,2	6,436	6,4
5	4,32	47,8	7,375	7
6	2,28	25,8	7,556	8
7	1,41	18,7	8,835	9
8	1,65	23,2	9,362	10
9	4,2	60,3	9,567	10
10	2,52	37,9	10,039	12
11	0,78	14	11,93	15
12	0,9	21,1	15,602	16
13	1,23	33,1	17,93	18
14	1,35	41,4	20,42	21
15	1,38	42,9	20,701	21
16	1,41	50,3	23,768	26

На рис. 2 представлено графік залежності параметрів, що досліджувались. Результати експериментальних досліджень оброблялись з використанням програмного пакету STATISTIKA 10.0.

Результати досліджень показали, що в компресійній піні зі збільшенням кратності підвищується її стійкість, при цьому ця залежність має лінійний характер.

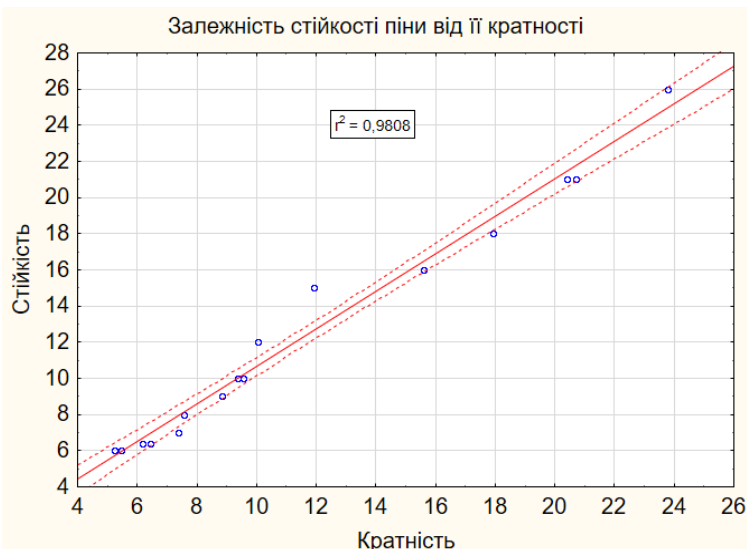


Рис. 2. Залежність стійкості піни від її кратності

Відтак визначено, що компресійна та повітряно–механічна піна мають протилежний зв'язок між кратністю та стійкістю.

Отримано наступне рівняння регресії залежності стійкості піни S від її кратності K з довірчим інтервалом 0,95

$$S = 0,2454 + 1,0402 \cdot K. \quad (1)$$

Дисперсність піни визначали візуально за допомогою мікроскопу МБС-9, ГОСТ 8.003-2010 з ціною поділки 10 мкм. Перед початком роботи для визначення реальних розмірів міхурів піни проводилось калібрування мікроскопа в залежності від кратності збільшення. Для калібрування використовувався об'єкт-мікрометр який представляє собою прозоре скло на якому нанесена шкала 1 мм (1000 мкм), з ціною поділки 0,01 мм. Після отримання піни, частиною її заповнювали чашку Петрі та розміщали під мікроскоп. Використовуючи координатну сітку мікроскопу проводили підрахунок кількості бульбашок, які перетнули координатну вісь у будь-якому напрямку на відстані 1 мм.

Було проведено три серії дослідів для пін різної кратності: серія №1 – кратність піни 20; серія №2 – кратність піни 12,5; серія №3 – кратність піни 5. Фотографій пін різної кратності, нанесені на вертикальні поверхні, зображено на рис. 3.

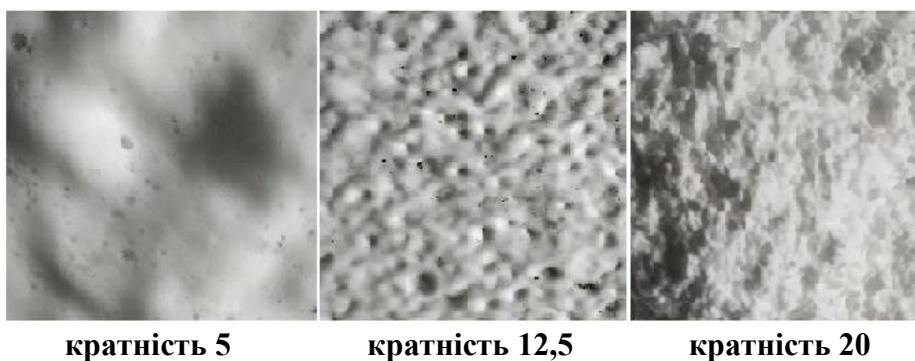


Рис. 3. Фотографії пін різної кратності

Для уточнення розміру бульбашки проводили уточнюючі досліді згідно з рекомендаціями методики визначення розмірів краплин води, викладеної в [15]. У табл. 2 наведено результати дослідження дисперсності піни в залежності від її кратності, а на рис. 3 представлено графік зміни середнього діаметру міхура компресійної піни в залежності від її кратності.

Результати досліджень показали, що на відміну від повітряно-механічної піни, в компресійній піні при збільшенні кратності зменшується середній розмір міхурів.

Табл. 2. Результати вимірів геометричних характеристик компресійної піни

№ з/п	Серія № 1			Серія № 2			Серія № 3				
	Діапазон діаметрів, мм		Кільк. у виборці	Діапазон діаметрів, мм		Кільк. у виборці	Діапазон діаметрів, мм		Кільк. у виборці		
	min	max		min	max		min	max			
1	0,089	0,091	3	0,09	0,094	5	0,045	0,06	1		
2	0,091	0,093	1	0,094	0,099	4	0,06	0,075	5		
3	0,093	0,095	9	0,099	0,103	12	0,075	0,09	13		
4	0,095	0,097	11	0,103	0,108	15	0,09	0,105	24		
5	0,097	0,1	23	0,108	0,112	29	0,105	0,12	26		
6	0,1	0,102	20	0,112	0,116	15	0,12	0,135	13		
7	0,102	0,104	21	0,116	0,121	7	0,135	0,15	9		
8	0,104	0,106	7	0,121	0,125	10	0,15	0,165	11		
9	0,106	0,108	10	0,125	0,13	4	0,165	0,18	5		
10	0,108	0,111	2	0,13	0,134	1	0,18	0,196	1		
Всього бульбашок в мм ² для серії №1			110	Всього бульбашок в мм ² для серії №2		102	Всього бульбашок в мм ² для серії №3		108		
Результати обробки											
№			№ 1			№ 2			№ 3		
Кратність піни			18			12			6		
Середній лінійний діаметр \overline{D}_{10} , мм			0,1			0,11			0,115		

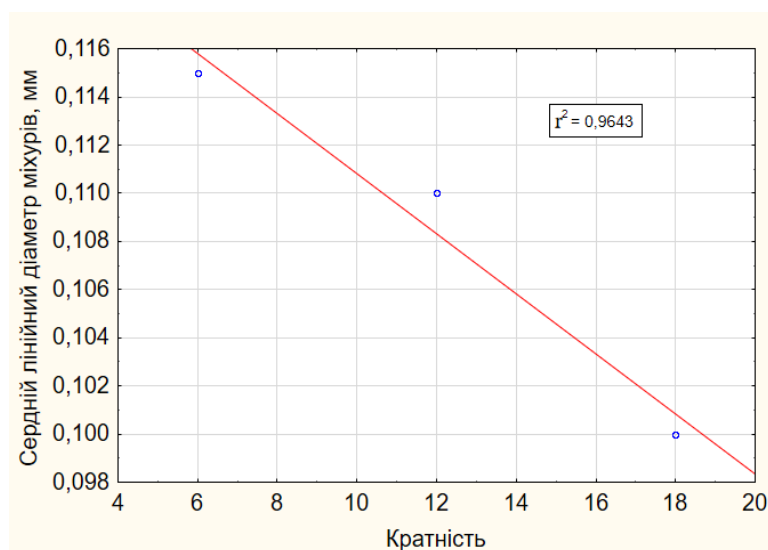


Рис. 3. Залежність дисперсності піни від її кратності

В результаті обробки результатів дослідження отримано рівняння регресії залежності середнього діаметру міхура D від кратності компресійної піни K з довірчим інтервалом 0,95

$$D = 0,1233 - 0,0013 * K. \quad (2)$$

Висновки. Експериментальні дослідження вогнегасних показників компресійної піни дозволили визначити вплив кратності компресійної піни на її дисперсність і стійкість, а також дослідити зміну середнього розміру пінних міхурів.

Встановлено раніше невідомі залежності для компресійної піни, які мають абсолютні відзнаки від властивостей піни утвореної повітряно-механічним способом:

– для компресійної піни більшої кратності має місце і більша її стійкість;

– зі збільшенням кратності відбувається зменшення розміру пінного міхура, що призводить до збільшення часу його існування, наслідком чого є утворення високодисперсної стійкої піни.

Крім того підтверджено, що отримана піна має рівномірну високоструктуровану будову з однаковими розмірами міхурів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Козаков М.В. Применение поверхностно – активных веществ для тушения пожаров / М.В. Козаков. – М.: Стройиздат, 1977. – 81 с.
2. Котов А.А. Применение высокократной пены при тушение пожаров / А.А. Котов, И.И. Петров, В.Ч. Реутт – М.: Стройиздат, 1972. – 114 с.
3. Иванов Ю.И. Пожарная безопасность: учеб. пособие / Ю.И. Иванов, С.П. Сараев, Ю.П. Михайлов, С.В. Ракитянская. – К.: уч. пособ, 2004. – 190 с.
4. Абдурагимов И.М. Физико – химически основы развития и тушения пожаров / И.М. Абдурагимов, В.Ю. Говоров, В.Е. Макаров – М.: уч. пособ, 1980. – 250с.
5. Kim A. Application of a Newly-developed compressed-air-foam fire suppression system / A. Kim, G. Crampton // 9th International Fire Science and Engineering Conference. – 2009. – P. 1219–1224.
6. Виноградов С.А. Розробка системи пожежогасіння газонаповненою піною / С.А. Виноградов, С.М. Шахов, В.В. Присяжнюк // Проблеми пожежної безпеки: збірник наукових праць. – Харків: НУЦЗУ, 2017. – № 42. – С. 12–21.
7. Dong-Ho R. Class B Fire-Extinguishing Performance Evaluation of a Compressed Air Foam System at Different Air-to-Aqueous Foam Solution Mixing Ratios / R. Dong-Ho, L. Jang-Won, K. Seonwoong // Applied Science. – 2016. – Vol. 191, Issue 6.– P. – 2–12.

8. Crampton G. Comprasion of the Fire Suppression Performance of Compressed – Air Foam with Air Aspirated and Unexpanded Foam Water Soution / G. Crampton, A. Kim // Research Report. – 2004. – № 147 – P. 1-25.
9. Wang X. Experimental study on fire extinguishing with a newly prepared multi-component compressed air foam / X. Wang , L. YaoJian, L. Lin // Chinese Science Bulletin. – 2009. – Vol. 54, Issue 3. – P. 492–496.
10. Jing-yuan C. Experimental Research of Integrated Compressed Air Foam System of Fixed (ICAF) for Liquid Fuel / C. Jing-yuan, X. Mao // Procedia Engineering. – 2014. – Vol. 71. – P. 44–56.
11. Камлюк А.Н. Тушения пожаров пеногенерирующими системами со сжатым воздухом / А.Н. Камлюк, О.Д. Навроцкий, А.В. Грачулин // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2017. – Т. 1, № 1. – С 44–53.
12. Feng D. Analysis on Influencing Factors of the Gas-liquid Mixing Effect of Compressed Air Foam Systems / D. Feng // Procedia Engineering – 2013. – Vol. 52. – P. 105–111.
13. ДСТУ 3789:2015. Пожежна безпека. Піноутворювачі загально-го призначення для гасіння пожеж. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 67 с.
14. ГОСТ Р 50588–2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Пенообразователи для тушения пожаров. – Москва: «Стандартинформ», 2012. – 29 с.
15. Виноградов А. Г. Экспериментальное исследование экранирования теплового излучения распыленной водой / А. Г. Виноградов, С. Ю. Огурцов, А. В. Дунюшкин, В.С. Бенедюк, Е.А. Линчевский // Науковий вісник УкрНДПБ. – 2014. – №2 (30) – С. 99-108.

Отримано редколегією 11.03.2019

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

Влияние кратности компрессионной пены на дисперсность и стойкость

Проведены экспериментальные исследования и определены основные зависимости влияния кратности на дисперсность и устойчивость в компрессионной пене. Установлена зависимость увеличения и уменьшения размера пузырей от кратности пены. Полученные результаты измерений устойчивости пены от ее кратности.

Ключевые слова: пожаротушение, компрессионная пена, кратность, дисперсность, стойкость, средний размер пузырей.

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

The influence of the multiplicity of compression foam on the dispersion and resilience

Experimental studies and identified the main dependences of the effect of multiplicity on the dispersion and stability in compression foam. The dependence of the increase and decrease in the size of bubbles on the multiplicity of the foam was established. The results of measurements of the stability of the foam from its multiplicity.

Keywords: fire extinguishing, compression foam, multiplicity, dispersion, resistance, average size of bubbles.