

*Д.П. Дубінін, к.т.н., доц. каф., НУЦЗУ,
К.В. Коритченко, д.т.н., с.н.с., зав. каф., НТУ «ХПІ»,
А.А. Лісняк, к.т.н., доцент, нач. каф., НУЦЗУ,
Є.М. Криворучко, нач. групи, АРЗ СП ГУ ДСНС у Харківській обл.*

ТЕНДЕНЦІ РОЗВИТКУ ІМПУЛЬСНИХ ВОГНЕГАСНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ ДРІБНОРОЗПИЛЕНИМ ВОДЯНИМ СТРУМЕНЕМ

(представлено д.т.н. Куценком Л.М.)

Проведено аналіз параметрів імпульсних вогнегасних систем, які використовують IFEX-технологію. Розроблено подальший напрямок удосконалення характеристик імпульсних систем. Представлені характеристики установки пожежогасіння з газодетонаційним принципом прискорення рідини.

Ключові слова: установка імпульсного пожежогасіння, дрібнорозпилений водяний струмінь, газодетонаційний заряд.

Постановка проблеми. Пожежно-рятувальні підрозділи під час гасіння пожеж у більше, ніж 90 % випадків застосовують воду, або розчини на основі води [1, 2]. Проблема ефективного використання вогнегасної речовини на основі води та водних розчинів в процесі гасіння пожежі за рахунок збільшення дисперсності водяними струменями, створених установками пожежогасіння, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищення ефективності використання вогнегасної речовини на основі води та водних розчинів досягнуто в IFEX-технології. IFEX-систему вперше розробив інженер Frans Steur в 1994 році [2]. IFEX-система (Impulse Fire Extinguishing System) являє собою обладнання для гасіння пожежі, в якому періодично малі порції води з високою швидкістю вистрілюють в осередок пожежі. Висока швидкість охолодження досягається розвинутою поверхнею теплообміну водяного струменя і інтенсифікацією конвективного теплообміну в газокрапельному середовищі [3, 4].

Таким чином, в імпульсній технології пожежогасіння ефективність використання вогнегасної речовини досягнута за рахунок отримання високодисперсних високошвидкісних водяних струменів. Але імпульсні установки пожежогасіння мають ряд недоліків та потребують подальшого удосконалення за основними тактико-технічними показниками: дальність пострілу вогнегасною речовиною, кількість пострілів, маса вогнегасного заряду. Застосування більш потужного газодетонаційного заряду замість пневматичного дозволить підвищити характеристики імпульсних систем пожежогасіння щодо далекобійності та дисперсності водяного струменя.

Постановка завдання та його вирішення. Метою даної роботи є обґрунтування напрямку удосконалення характеристик імпульсних вогнегасних систем на основі аналізу параметрів таких систем і застосування нового газодетонаційного принципу прискорення з підвищеним тиском витіснення рідини в установці.

Імпульсні вогнегасні системи за IFEX-технологією. Виробником у світі імпульсних вогнегасних системи IFEX-технологій є компанія IFEX® Technologies GmbH, Німеччина. Для гасіння пожеж найчастіше використовують установку пожежогасіння "IFEX 3000", яка зображена на рис. 1 [3, 4].



Рис. 1. Установка пожежогасіння "IFEX 3000"

Особливістю технології "IFEX" [3] є те, що подача вогнегасної речовини відбувається не постійним потоком, а високошвидкісними імпульсними пострілами зі ствола, які приводяться в дію стисненим повітрям. У стволі знаходиться швидкодіючий клапан, який під тиском 2,5 МПа відкривається лише на 20 мс. Конструкцію ствола IFEX Impulse зображено на рис. 2.

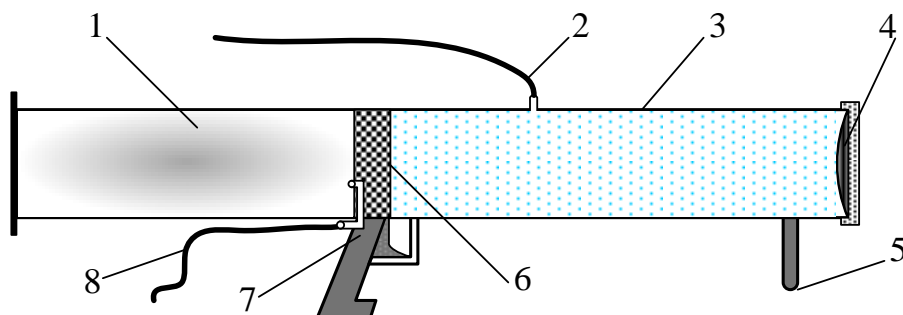


Рис. 2. Ствол для системи IFEX Impulse: 1 – камера стисненого повітря, 2 – шланг для подачі вогнегасної речовини (води), 3 – камера вогнегасної речовини, 4 – гумова мембрана, 5 – рукоятка, 6 – швидкодіючий клапан, 7 – пусковий механізм, 8 – шланг для подачі стисненого повітря

Клапан розділяє камери стисненого повітря і вогнегасної речовини, яка в момент "пострілу" виходить зі ствола зі швидкістю 110 м/сек. За рахунок зіткнення з молекулами повітря вода розпилюється на краплі середнього розміру, дисперсність яких знаходиться в межах 2 – 200 мкм [5, 6]. Установки "IFEX" забезпечують зростання ефективності використання води, з відповідним зменшенням витрати води. Це досягається за рахунок того, що під час застосування дрібнорозпиленої води поверхня охолодження збільшується, в залежності від дисперсності, з 0,18 л/м² до 0,017 л/м².

Гасіння пожежі за допомогою установки "IFEX" здійснюється за рахунок інтенсивного охолодження осередку горіння великою кількістю дрібнорозпилених крапель води. Також забезпечується прискорене зниження температури в закритих приміщеннях від критичної 1000 °С до 40 °С. Таким чином, застосування невеликої кількості води дозволяє майже повністю уникнути побічних збитків, який часто перевищує прямий збиток, що наноситься пожежею [7, 8].

Здійснимо оцінку ефективності використання повітряного заряду у установці IFEX. Розрахуємо енергію пострілу, використовуючи рівняння кінетичної енергії у вигляді [9]

$$Q = \frac{m \cdot U_0^2}{2}, \quad (1)$$

де m – маса вогнегасної речовини, л; U_0 – швидкість вильоту вогнегасної речовини зі ствола, м/с.

За параметрами установки, що заявляється ($m = 1$ кг, $U_0 = 110$ м/с) отримуємо енергію $Q = 6$ кДж.

Враховуючи те, що у рекламних джерелах виробника IFEX не вказується, до саме яких з наведеного переліку установок відноситься швидкість струменю, здійснимо розрахунок для установки, параметри якої наведено у табл. 1.

Табл. 1. Характеристика IFEX-установки

Параметри	Од. вим.	Характеристика
Діаметр ствола	м	0,07
Довжина ствола	м	0,8
Об'єм вогнегасного речовини у стволі	л	1
Швидкість вильоту вогнегасної речовини зі ствола	м/с	120
Тиск у стволі	МПа	2,5
Тиск у балоні з стисненим повітрям	МПа	30
Об'єм вогнегасної речовини в балоні	л	13
Об'єм стисненого повітря в балоні	л	2

Повний об'єм камери ствола цієї установки дорівнює біля $V_{\text{п}} = 3$ л. Об'єм камери V_0 зі стисненим повітрям не вказаний. Але за розташуванням клапану можливо припустити, що цей об'єм набуває значень у діапазоні 0,5-1,5 л. Таким чином, ступень розширення дорівнює $\varepsilon = 2-6$. Звідси, об'єм камери зі стисненим повітрям можливо представити у вигляді $V_0 = V_{\text{п}}/\varepsilon$ [9]. Робота адіабатичного розширення у цьому випадку визначиться

$$A = \frac{P_0 \cdot V_{\text{повн}}}{\varepsilon(\gamma - 1)} [1 - \varepsilon^{1-\gamma}], \quad (2)$$

де P_0 – тиск у стволі установки; V – повний об'єм камери ствола, м³; γ – показник адіабати,; ε – ступень розширення.

Залежність роботи A розширення від ступеню розширення ε за $P_0 = 2,5$ МПа та $\gamma = 1,4$, набуває вигляд (рис. 3).

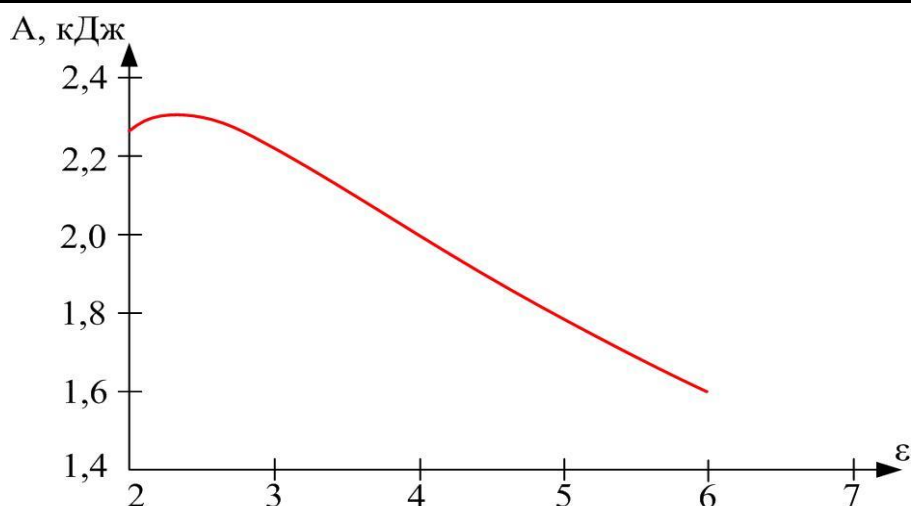


Рис. 3. Залежність роботи розширення від ступеню розширення в установці IFEX

З аналізу цієї залежності можливо припустити, що ступінь розширення відповідає максимуму роботи, та має значення $\varepsilon = 2,4$. Звідси, об'єм камери зі стисненим повітрям ймовірно дорівнює $V_0 = 1,25$ л. За значення роботи розширення, що дорівнює $A = 2,3$ кДж, максимальна початкова швидкість струменю не перевищує $U_0 = 67$ м/с.

Розрахунок масової витрати стисненого повітря на постріл здійснимо за рівнянням [9]:

$$m = \frac{\mu \cdot P_0 \cdot V_0}{R \cdot T}, \quad (3)$$

де μ – молярна маса; P_0 – тиск у стволі установки; V_0 – об'єм камери зі стисненим повітрям, м^3 ; R – універсальна газова стала; T – температура газового заряду, К.

Звідси, маса повітря, що витрачається на постріл, дорівнює $m = 36$ г. В розрахунках приймалось, що для повітря $\mu = 29$ г/моль. Проведемо розрахунок кількості пострілів, що можливо здійснити з даної установки.

За об'ємом балону 2 л та початковим тиском 30 МПа за кімнатної температури маса повітря за виразом (3) дорівнює $m_f = 698$ г. Врахуємо, що в балоні після здійснення всіх пострілів залишається повітря, яке не може бути використано із-за недостатнього тиску. За остаточним тиском 3 МПа маса цього повітря дорівнює 70 г. Таким чином, об'єму балона вистачає на $(698-70)/36 = 17$ пострілів.

У разі використання стисненого повітря кімнатної температури максимальна швидкість метання не може перевищувати критичну швидкість звуку, яка для даного газу становить не більше 300 м/с.

Подальше підвищення характеристик даної технології гасіння потребує переходу на інше джерело прискорення води. Це пов'язано з тим, що максимальна швидкість подачі дрібнорозпиленого водяного струменя з установки обмежується швидкістю звуку в газі метального заряду.

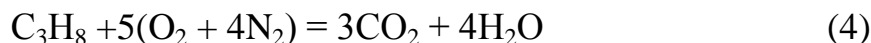
Установки пожежогасіння з газодетонаційним принципом прискорення рідини. Використання в якості метального заряду горючого газу дозволяє досягти більш високої швидкості при подачі дрібнорозпилено-

го водяного струменя. А детонаційне згорання таких зарядів створює умови для отримання стабільних параметрів імпульсних струменів.

Підвищення температури і тиску в металевому заряді призводить не тільки до збільшення дисперсності крапель водяного струменя, але і до підвищення далекобійності та ефективності гасіння. Використання хімічної енергії згорання пального газу замість потенційної енергії стисненого газу призводить до багаторазового зниження витрат газу на постріл.

Розглянемо можливість покращення параметрів цієї установки за рахунок використання горючих газових сумішей замість стисненого повітря. Наприклад, згорання суміші пропану з повітрям у замкненому об'ємі забезпечує зростання тиску у 7–8 разів. Таким чином, для отримання тиску 2,5 МПа початковий тиск суміші складе біля 0,35 МПа. Відповідно, ще зменшує витрату повітря у 7–8 разів.

Розрахуємо витрату повітря для проведення пострілу за допомогою суміші пропану з повітрям. Рівняння згорання пропану набуває вигляд:



Звідси, у стехіометричній суміші об'ємна частка пропану у повітря складає 3,85 %. Тому в оціночному розрахунку нехтуємо складовою пропану. За рівнянням (3) масова витрата повітря на постріл складе 100 г/постр. Масова частка пропану у стехіометричній суміші пропану з повітрям складає 5,8 %. Звідси, витрата пропану на постріл буде дорівнювати 5,8 г/постр.

Робота установки пожежогасіння з газодетонаційним принципом прискорення рідини представлена на рис. 4.



Рис. 4. Принцип роботи установки з газодетонаційним принципом прискорення рідини

Устрій установки імпульсного пожежогасіння з газодетонаційним принципом прискорення рідини представлено на рис. 5. В зарядній секції 3 формувалася газодетонаційний металевий заряд за рахунок заповнення його сумішшю пропану-бутану технічного (далі – СПБТ) з киснем у стехіометричному співвідношенні. Вода заливалася в прискорювальну секцію 5 через отвір 4. Ініціювання газодетонаційного металевого заряду в зарядній секції 3 здійснювалося за допомогою свічки запалювання 7.

На відміну від установки IFEX, виключається необхідність використання швидкодіючого клапану на контактній поверхні рідина-газ. Достатньо застосування клапану значно меншого перетину для подавання горючої суміші під меншим тиском. Це знижує технічні вимоги до кла-

пану, з відповідним зниженням вартості установки.

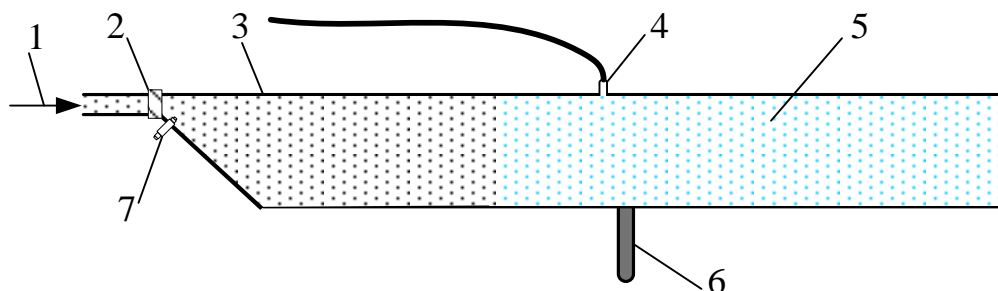


Рис. 5. Устрій установки пожежогасіння з газодетонаційним принципом прискорення рідини: 1 – подача СПБТ; 2 – клапан; 3 – зарядна секція; 4 – шланг для подачі вогнегасної речовини (води), 5 – прискорювальна секція з вогнегасною речовиною (водою), 6 – рукоятка, 7 – свічка запалювання

Проведені експериментальні дослідження установки пожежогасіння з газодетонаційним принципом прискорення рідини. Отримані результати роботи розробленої установки наведені в табл. 2.

Табл. 2. Характеристика установки пожежогасіння з газодетонаційним принципом прискорення рідини

Параметри	Од.вим.	Характеристика
Тип заряду	–	Пропано-повітряний / пропано-кисневий
Діаметр ствола	мм	71
Об'єм вогнегасного заряду в стволі	л	1-2
Об'єм горючого газового заряду	л	1,7
Надлишковий тиск заряду	МПа	0-0,3
Довжина зарядної секції	м	0,38
Довжина прискорювальної секції	м	0,6

При тиску пропано-кисневого заряду 0,1 МПа та куті нахилу ствола 30 градусів далекобійність водяного струменя перевищила 15 м з максимальним радіусом розкриття струменя до 3 м. Отримані попередні результати дають підстави вважати про доцільність продовження досліджень і робіт зі створення установок пожежогасіння по IFEX-технології з газодетонаційним принципом прискорення рідини.

Висновки. Основною перевагою IFEX-технології є зниження витрат води на 80% при збереженні високої ефективності гасіння, дозволяє її розглядати як перспективну на заміну традиційним водяним системам пожежогасіння. Для поліпшення характеристик імпульсних установок пожежогасіння щодо далекобійності, ефективної дальності гасіння, підвищення дисперсності струменя потрібен перехід роботи таких систем на горючий газовий металний заряд. Попередні результати досліджень установки пожежогасіння з газодетонаційним принципом прискорення рідини показали доцільність подальшого розвитку таких систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дубінін Д.П. Технічні засоби пожежогасіння дрібнодисперсним водяним струменем/ Д.П. Дубінін, К.В. Коритченко, А.А. Лісняк, // Про-

блемы пожарной безопасности. – Харків, 2018. – № 43. – С. 45-53. Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/7022>.

2. Лісняк А.А. Підвищення ефективності гасіння пожеж твердих горючих матеріалів в будівлях / А.А. Лісняк, П.Ю. Бородич // Проблеми пожарной безопасности. – Х., 2013. – № 34. – С. 115–119. Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1063>.

3. IFEX [Electronic resource]: [Web site]. – Mode of access: <https://www.ifex3000.com/en/home/> (дата звернення 11.02.2019) – Screen title.

4. Zakhmatov V. D. Overview of impulse fire-extinguishing system applications / V. D. Zakhmatov, M. V. Silnikov, M. V. Chernyshov // Journal of Industrial Pollution Control: – Х., 2016. – № 32 (2). – P. 490 – 499.

5. Абрамов Ю.А. Моделирование процессов в пожарных стволах / Ю.А. Абрамов, В.Е. Росоха, Е.А. Шаповалова. – Х.: Фолио, 2001. – 195 с.

6. Тарахно О. В., Шаршанов, А. Я. Фізико-хімічні основи використання води в пожежній справі: навч. посіб. Харків, 2004. 252 с.

7. Дубінін Д. П. Дослідження розвитку пожеж в приміщеннях житлових будівель [Текст] / Д. П. Дубінін, А. А. Лісняк // VII Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «НС: Б та З». – 2017. – С. 60–62. Режим доступу: URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5065>.

8. Дубінін Д.П. Застосування установки періодично-імпульсної дії для гасіння пожеж в будівлях дрібнорозпиленою водою / Д.П. Дубінін, А.А. Лісняк // Матеріали 20 Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку». Тези доповідей. – К.: XVII Міжнародний виставковий форум «Технології захисту / ПожТех – 2018». – С. 172–175. Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/7474>.

9. Соколович, Ю. А. Фізика [Текст] / Ю. А. Соколович, Г. С. Богданова. – Х.: Ранок, 2010. – 384 с.

Отримано редколегією 12.03.2019

Д.П. Дубинин, К.В. Корытченко, А.А. Лисняк, Е.Н. Криворучко

Тенденции развития импульсных огнетушащих систем для тушения пожаров тонкораспыленными водяными струями

Проведен анализ параметров импульсных огнетушащих систем, использующих IFEX-технологию. Разработано дальнейшее направление усовершенствования характеристик импульсных систем. Представлены характеристики установки пожаротушения с газодетонационным принципом ускорения жидкости.

Ключевые слова: установка импульсного пожаротушения, тонкораспыленная водяная струя, газодетонационный заряд.

D. Dubinin, K. Korytchenko, A. Lisnyak, E. Krivoruchko

Trends in the development of pulsed fire extinguishing systems for extinguishing fires with sprayed water jets

The analysis of the parameters of pulsed fire extinguishing systems using IFEX-technology. Developed a further direction to improve the characteristics of pulse systems. The characteristics of the fire extinguishing installation with the gas-detonation principle of fluid acceleration are presented.

Keywords: impulse fire extinguishing installation, fine-dispersed water jet, gas-detonating charge.