

УДК 614.843

*К.В. Коритченко, д.т.н., с.н.с., професор каф., ФВП НТУ «ХПИ»,  
О.В. Сагун, к.б.н., с.н.с., нач. каф., ФВП НТУ «ХПИ»,  
Ю.В. Хілько, викладач, НУЦЗУ,  
Ю.І. Кістерний, к.т.н., пров. наук. співр., ФВП НТУ «ХПИ»,  
Д.В. Кудін, мол. наук. співр., ННЦ ХФТІ*

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОТОТИПУ ГАЗОДЕТОНАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ МЕТАННЯ КОНТЕЙНЕРІВ З ВОГНЕГАСНИМИ РЕЧОВИНАМИ**

(представлено д-ром техн. наук Ключкою Ю.П.)

Представлені результати експериментальних досліджень прототипу установки метання з газодетонаційним зарядом. Визначено ефективність установки метання за параметрами дальності метання, продуктивності та масо-габаритними показниками.

**Ключові слова:** установка метання, контейнери з вогнегасними речовинами, газодетонаційний заряд.

**Постановка проблеми.** Світова статистика лісових пожеж свідчить, що пожежі, які пов'язані з горінням деревини та інших органічних речовин приводять до значних збитків та становлять велику загрозу екології.

Одним із ефективних методів ліквідації пожеж на початковій стадії є метання вогнегасних засобів залпом, або пострілом. Для досягнення даної мети в Україні використовують порохові установки, які реалізовані на серії машин типу «Імпульс – 1», «Імпульс – 2м», «Імпульс – шторм», які забезпечують за 4-5 секунд, ефективно гасіння пожежі залповим пострілом порошкової речовини, масою до 1500 кг. на відстань 50-100 м.

Але головною проблемою таких установок є великий час перезарядки. Саме тому удосконалення метання вогнегасних речовин різної маси на задані відстані для гасіння пожеж великих площ є актуальною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботі [1] приведені основні критерії, котрим повинні відповідати сучасні наземні засоби доставки вогнегасних речовин на великі відстані: здатність доставки вогнегасних речовин на відстань 100-250 м; можливість автоматизації управління; безпечність експлуатації; висока точність та збереження маси вогнегасної речовини в процесі її доставки до осередку пожежі; придатність до застосування на транспортних засобах; малі габарити за високої продуктивності; можливість використання за різних умов обстановки.

З аналізу робіт [1, 2, 3], присвячених створенню засобів доставки вогнегасних речовин, визначено, що найбільш повно приведеним кри-

теріям відповідають установки пожежогасіння контейнерної доставки вогнегасних речовин на основі метання.

У відомих технічних засобах доставки вогнегасних речовин на великій відстані джерелами енергії метання виступають стиснене повітря [4], горючі гази [5] і порохові заряди [6]. До переваг систем метання на стисненому повітрі, перш за все, відноситься їх вибухобезпечність та екологічність [7, 8]. Але за енергоефективністю пневматичні установки метання значно поступаються системам, у яких використовується енергія, що вивільняється під час згорання компонентів заряду. Великі витрати повітря призводять до необхідності застосування великогабаритних балонів високого тиску, що суттєво збільшує габарити та масу установок пожежогасіння.

На практиці для гасіння великих пожеж поширеного застосування набули ствольні установки метання вогнегасних речовин на порохових зарядах [9, 10]. Це викликано тим, що за показниками питомої потужності порохові заряди мають суттєві переваги. За рахунок використання хімічної енергії, ці установки мають відносно малі масо-габаритні показники. Але тривалий час перезарядження таких установок зумовлює суттєве обмеження їх продуктивності у порівнянні з системами на основі газових зарядів. Також, використання порохових зарядів супроводжується значними труднощами. Через обмеження термінів їх зберігання, запаси порохових зарядів потребують періодичного оновлення.

Для підвищення питомої потужності та енергоефективності установок метання, зі збереженням високої продуктивності та низьких масо-габаритних параметрів, нами в попередніх роботах [11, 12, 13] було запропоновано застосування газодетонаційних зарядів. Зокрема, теоретичне дослідження внутрішньобалістичних процесів у газодетонаційній установці метання представлено у роботах [11, 12].

Дана робота є продовженням попередніх досліджень і спрямована на експериментальну перевірку параметрів газової детонаційної установки з точки зору можливості її використання для метання контейнерів з вогнегасними речовинами.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою даної роботи є визначення ефективності установки метання з газодетонаційним зарядом на основі результатів експериментальних досліджень.

**Умови проведення досліджень.** Газодетонаційна установка метання (рис. 1) складається з двох секцій: детонаційної 1 та прискорення 2. Розривна мембрана 8 розділяла секції 1 та 2 між собою, що забезпечувало герметизацію газового заряду. Тестування наявності детонації проводилось за допомогою трьох п'єзодатчиків 3 тиску, що розміщувались у детонаційній секції. Вимірювання початкової швидкості тіла, що метається, здійснювалось за допомогою осцилографа та двох швидкодіючих п'єзоелектричних датчиків 4, які встановлювались на

базисній відстані. Імітування балістики контейнерів з вогнегасною речовиною здійснювалось за допомогою тіл у формі циліндру 5 корисною масою 338 г та 712 г. Напрямок руху тіл, що метаються, було спрямовано на мішень 6. Запалювання газового заряду здійснювалось висковольтною електророзрядною системою 7 ініціювання детонації.

Визначено, що розривання мембрани відбувається під надлишком тиску, що незначно перевищує 0,1 МПа. За таких властивостей мембрани досягається попереднє вакуумування камери та якісне формування горючого газового заряду. При цьому, витрачання енергії, необхідної для розривання мембрани, незначно впливає на балістику тіла, що метається. Як газовий заряд використано суміш пропану-бутану технічного з киснем. В умовах проведених досліджень температура заряду дорівнювала 25° С. Початковий тиск заряду дорівнював атмосферному. Розраховано, що потенційна (хімічна) енергія газового заряду дорівнювала 25 кДж. Відстань між п'єзодатчиками 4 дорівнювала 0,38 м. Окрім визначення швидкості тіла, що метається, за результатами вимірювань п'єзодатчиками тиску, додатково середня швидкість руху тіла визначалась на початковій ділянці траєкторії за результатами відеозйомки з частотою 25 кадр/с. Це підвищило ступінь достовірності отриманих результатів.

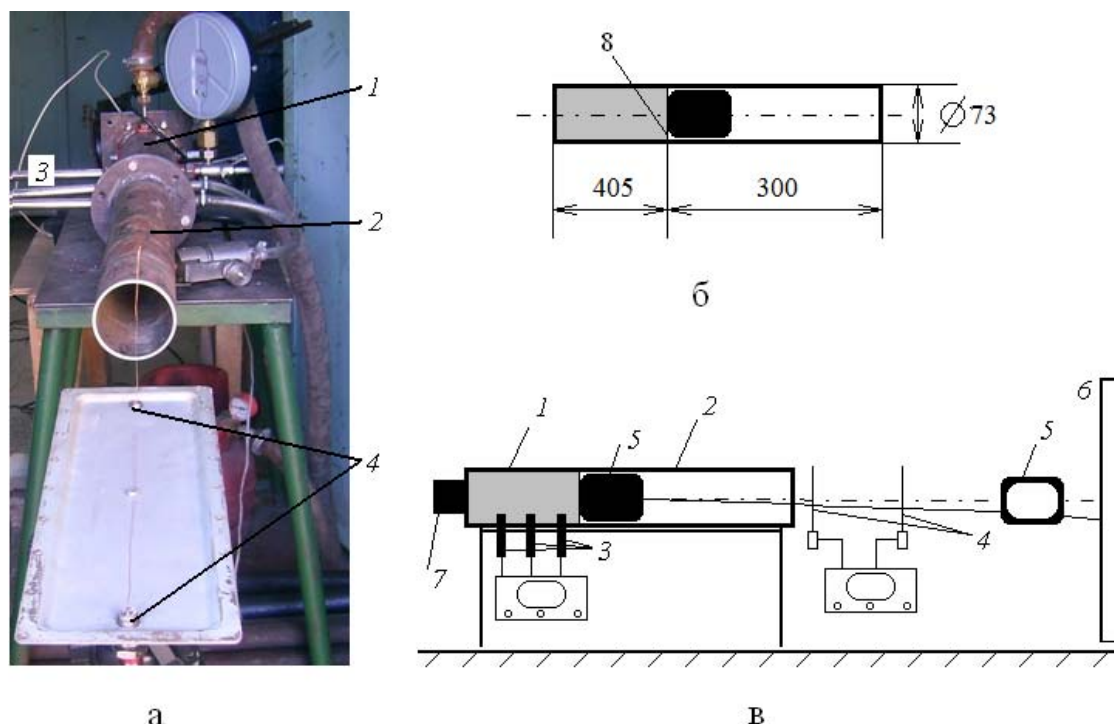
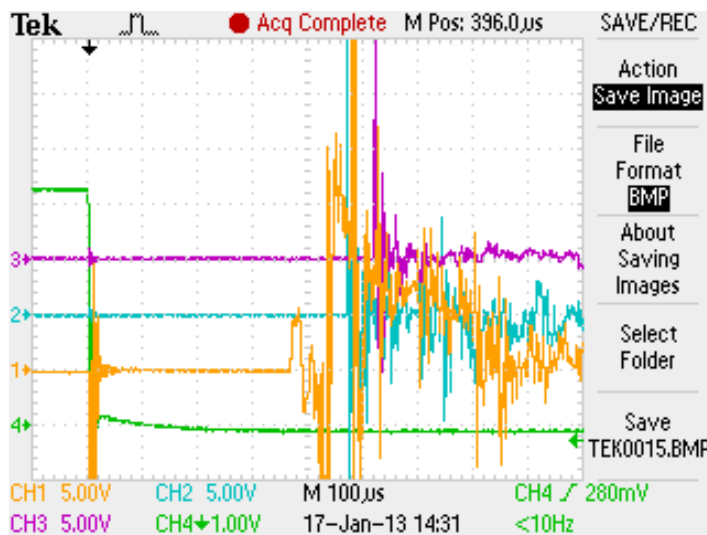


Рис. 1. Загальний вигляд газодетонаційної установки – а; розміри секцій газодетонаційної установки – б; схема проведення експерименту – в: 1 – детонаційна секція; 2 – секція прискорення; 3 – п'єзодатчики тиску; 4 – п'єзодатчики; 5 – тіло, яке метається; 6 – мішень; 7 – система ініціювання детонації; 8 – мембрана

Детальний устрій газодетонаційної установки для метання представлено в роботі [13].

*Результати експериментальних досліджень.* За результатами вимірювань швидкості проходження ударної хвилі між п'єзодатчиками тиску зотримано наступну осцилограму сигналів (рис. 2). Сигнал №4 відображає початок іскрового розряду. Сигнали №1, 2, 3 відображають тиск, що виникає на п'єзодатчиках. При цьому, сигнал №1 відповідає датчику, який найближче розташований до закритого торця труби, сигнал №2 – наступному, і так далі.



**Рис. 2.** Осцилограма сигналів з п'єзодатчиків тиску під час проходження детонаційної хвилі в детонаційній секції установки

Час між появою сигналів з датчиків № 2 та № 3 склав біля 40 мкс, що на відстані 114 мм відповідає швидкості 2800 м/с. Відомо, що швидкість детонації у стехіометричній суміші пропану з киснем за нормальних умов складає близько 2600 м/с. Тобто, в умовах досліджень, що проводилися, виникла перестиснена детонація. При цьому, детонація виникла між датчиками №1 та №2.

Проведено дослідження параметрів електричного кола, за яких досягається ініціювання детонації. Ємність конденсатора дорівнювала 1,65 мкФ. Напруга заряджання конденсатора склала 4,2 кВ. За обробкою результатів осцилографічного дослідження коливань напруги (рис. 3) визначено, що активний опір електричного кола не перевищував 200 мОм, а еквівалентна індуктивність RLC-кола склала 900 нГн. Таким чином, на ініціювання детонації витрачалась енергія, що дорівнювала близько 15 Дж. За таких значень енергії розряду можливе забезпечення високої продуктивності установки метання шляхом періодичного метання контейнерів з вогнегасними речовинами. Зокрема, при частоті метання 5 разів за секунду і метанні контейнерів масою по 0,7 кг продуктивність складе 3,5 кг/с. Основні обмеження стосовно частоти метання пов'язані з часом перезавантаження контейнерів. Стрічкова або револьверна системи перезаряджання забезпечать дану проду-

ктивність. Слід зазначити, що періодичне метання з перерозподілом напрямів та енергії метання забезпечить розподіл вогнегасної величини по площині поверхні, що гаситься. Розрахункова потужність, що споживатиметься електророзрядною системою, складе 75-100 Вт.

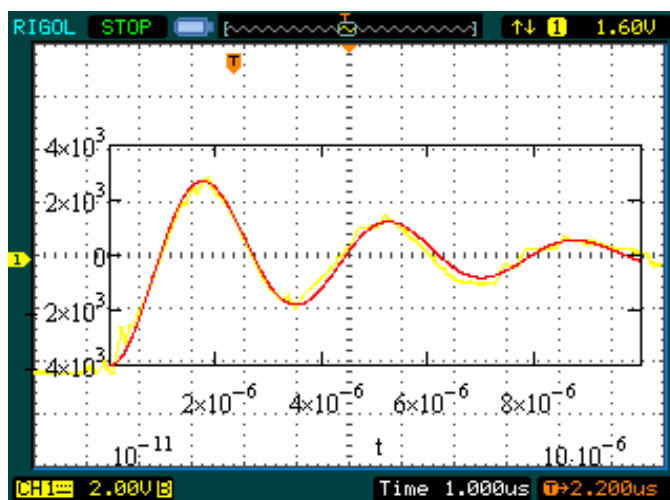


Рис. 3. Осцилограма напруги на конденсаторі (жовта лінія) електророзрядної системи під час ініціювання детонації та крива (червона лінія), що її апроксимує

Осцилограма імпульсів на п'єзодатчиках, яка вимірювалась під час метання тіла масою 712 г представлена (рис. 4). Синхронізація розгортки осцилографа відбувалась за сигналом, що вимірювався. Вважалося, що різке зростання сигналу викликалося досягненням тілом датчика. За цим припущенням маємо, що час здвигу сигналів з п'єзодатчиків склав 3,4 мс, що на базисній відстані 0,38 м відповідає початковій швидкості тіла 112 м/с.



Рис. 4. Осцилограма імпульсів на п'єзодатчиках під час вильоту тіла масою 712 г з газодетонаційної установки: 1 – на п'єзодатчику № 1; 2 – на п'єзодатчику № 2

Також, вимірювання початкової швидкості тіла на початковій ділянці траєкторії здійснене обробкою результатів відео зйомки (рис. 5). Відстань між положеннями тіла на сусідніх кадрах становить  $4 \pm 0,2$  м, що із урахуванням частоти відеозйомки 25 кадр/с відповідає швидкості  $100 \pm 5$  м/с. Це задовільно узгоджується з результатами вимірювання за допомогою п'єзодатчиків. Враховуючи більш високу точність вимірювання за допомогою п'єзодатчиків, перевагу надано цьому методу.



Рис. 5. Кадри польоту тіла, що метається (тіло обведено колом)

За вище визначеними умовами була проведена серія досліджень для тіл відповідної маси та отримані наступні результати (табл. 1). Обробка експериментальних результатів проводилась методом найменших квадратів. При ймовірності, що довіряється, рівній 0,9 маємо коефіцієнт Ст'юдента 2,13.

Табл. 1. Результати вимірювання початкової швидкості тіла, що метається

№ з/п	Виміряна швидкість, м/с			
	виміряне	оброблено	виміряне	оброблено
	при масі тіла, кг			
	0,712		0,338	
1	112	$114 \pm 2,8_{0,9}$	215	$210,2 \pm 7,8_{0,9}$
2	115		201	
3	110		210	
4	117		220	
5	116		205	

Без урахування сили опору повітря, розрахуємо дальність метання за виразом

$$L = \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{g},$$

де  $V_0$  – початкова швидкість тіла;  $\alpha$  – кут метання відносно горизонту;  $g$  – прискорення вільного падіння.

Отримаємо, що за кутом метання 20 градусів дальність метання тіла масою 712 г з початковою швидкістю 114 м/с складе 835 м. Це дає підстави вважати, що з урахуванням опору повітря, на основі установок метання з газовим детонаційним зарядом стає можливим створення засобів метання вогнегасних речовин на відстань понад 100 м.

У варіантах прототипу, що досліджувався, витрати газового заряду на один постріл склали 1,7 л. При цьому, об'ємна частка горючого газу типу СПБТ склала біля 15 %. Властивість зрідження даної газової суміші під високим тиском забезпечує малі габаритно-масові показники паливної системи як складової установки метання. Витрати газової речовини в установці переважно пов'язані з киснем. Зокрема, за наведеними параметрами у разі використання балона зі стисненим киснем під тиском 10 МПа об'ємом 10 л забезпечиться біля 1000 метань вогнегасних зарядів. Тобто, за маси зарядів 0,7 кг газодетонаційна установка метання за прототипом здійснить метання контейнерів загальною масою 700 кг. Подальше удосконалення установки можливе шляхом застосування повітря як окислювача. Зазначені параметри дозволяють застосування установок такого типу на транспортних засобах.

**Висновки.** На основі результатів експериментальних досліджень прототипу установки метання з газодетонаційним зарядом визначено її ефективність за параметрами дальності метання, продуктивності та масо-габаритними показниками. До переваг установок такого типу слід віднести можливість розподілу вогнегасної величини по площині поверхні, що гаситься.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Царев А.М. Ствольные установки пожаротушения контейнерного метания огнетушащих веществ / А.М. Царев // Экология и промышленность России. – 2012. – № 6. – С. 4-9.

2. Каришин А.В. Применение высокодисперсных порошковых огнетушащих составов в контейнерах для метания в установках пожаротушения стволового типа / А.В. Каришин, А.М. Царев, В.С. Степанюченко / Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т.12, №1(9). – С. 2239-2245.

3. Бухтояров Д.В. Установки импульсного пожаротушения / Бухтояров Д.В., Копылов С.Н., Кушук В.А. / Пожарная безопасность 2005. – №3. – С. 89-94.

4. Заявка на изобретение (РФ) 2003120520. Способ доставки огнетушащего вещества в очаг пожара перемещением его в окружающем воздухе / И.В. Холодков. – 2004.

5. Пат. 2264834 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> А 62 С 39/00, F 41 F 1/00. Ствольное метательное устройство / Коротков Ю.А., Амельчугов С.П.; заявитель и патентообладатель ООО Научно-технический

центр “Системы пожарной безопасности” (RU). – № 2004100986/02; заявл. 12.01.2004; опубл. 27.11.2005, Бюл. № 33.

6. Захматов В.Д., Быков С.А., Щербак Н.В. Импульсные огнетушащие устройства / Уголь Украины. – № 6. – 1999. – С. 34-35.

7. Website Rescue Solutions International, Inc. [Электронный ресурс]. – режим доступа к сайту: <http://www.resqmax.com/contact.php>.

8. Website Restech. [Электронный ресурс]. – режим доступа к сайту: <http://restech.no>.

9. Новые импульсные технологии. Специальные системы пожаротушения. [Электронный ресурс]. – режим доступа к сайту: <http://rus.impulse-storm.com>.

10. Пожарные танки СССР. [Электронный ресурс]. – режим доступа к сайту: <http://www.webpark.ru/comment/66540>.

11. Саун А.В. Численное моделирование внутрибаллистических процессов в газодетонационной установке метания тушащих веществ / А.В. Саун, Ю.В. Хилько, К.В. Корытченко // Проблемы пожарной безопасности. – 2014. – Вып. 36. – С. 208 – 217.

12. Саун О.В. Чисельні дослідження динамічних параметрів та термомеханічних навантажень в газодетонаційній установці метання / О.В. Саун, Ю.В. Хилько, К.В. Корытченко / Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Харків: ХУПС, 2014. – №1 (4). – С. 154-157.

13. Саун О.В. Установка для дослідження газової детонаційної системи метання / О.В. Саун, Ю.В. Хилько, К.В. Корытченко / Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ ЗСУ. – К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2014. – №1 (52). – С. 306-313.

К.В. Корытченко, А.В. Саун, Ю.В. Хилько, Ю.И. Кистерный, Д.В. Кудин

**Экспериментальное исследование прототипа газодетонационной установки метания контейнеров с огнетушащими веществами**

Представлены результаты экспериментальных исследований прототипа установки метания с газодетонационным зарядом. Определена эффективность установки метания по параметрам дальности метания, производительности и массогабаритным показателям.

**Ключевые слова:** установка метания, контейнеры с огнетушащими веществами, газодетонационный заряд.

K.V. Korytchenko, O.V. Sakun, Yu.V. Khilko, Yu.I. Kisterny, D.V. Kudin

**Experimental investigation of the prototype gas-detonation device for shooting containers with extinguishing substances**

The results of experimental investigations of the prototype gas-detonation device for shooting with gas-detonation charge were represented. The efficiency of the device for shooting by parameters of throwing distance, performance, weight and dimension indices were defined.

**Keywords:** device for shooting, containers with extinguishing substances, gas-detonation charge.