

*Д.П. Дубінін, к.т.н., доцент 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*

## ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ ДРІБНОРОЗПИЛЕНИМ ВОДЯНИМ СТРУМЕНЕМ

(представлено д.т.н. Басмановим О.Є.)

Проведено аналіз існуючих технічних засобів для отримання дрібнорозпиленої води, які використовують для гасіння пожеж. Запропоновано установку періодично-імпульсної дії газоводяного гасіння розвинених пожеж в будівлях. Проведенні експериментальні дослідження фізичного принципу установки, який забезпечує створення дрібнорозпиленого водяного струменя з оптимальними значеннями дисперсності крапель води.

**Ключові слова:** технічні засоби, дрібнорозпилена вода, газоводяний струмінь, гасіння пожеж, дисперсність.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день особовий склад пожежно-рятувальних підрозділів (далі – ПРП) під час гасіння 90 % пожеж застосовує воду. Причиною тому є те, що вода є найбільш поширеною вогнегасною речовиною. При гасінні пожеж ПРП в житлових будівлях [1, 2] подача води в осередок пожежі здійснюється за допомогою водяних стволів «Б» розпиленими струменями. У результаті гасіння пожежі витрата зі стволів складає від 2,7-3,7 л/с, при цьому, близько 4-6% подається в осередок пожежі, решта проливається марно, приводячи до обвалення конструкцій будівлі, псування майна та обладнання [3, 4].

В даний час найбільш перспективним з напрямків щодо гасіння пожеж в житлових будівлях є застосування технічних засобів, в яких створюються дрібнорозпилені водневі струмені. Такі засоби 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/м<sup>2</sup> до 0,017 л/м<sup>2</sup>. Цим забезпечується прискорене зниження температури в закритих приміщеннях від критичної 1000°C до 40°C [5].

Існуючі засоби пожежогасіння дрібнорозпиленим водяним струменем забезпечують переважно гасіння локальних осередків пожеж або пожеж на початковій стадії розвитку. Для гасіння розвинених пожеж в будівлях, відповідні технічні засоби не передбачені, що робить використання існуючих засобів не достатньо ефективним. Таким чином, проблема полягає у обґрунтуванні вимог та розробленні компактних технічних засобів пожежогасіння дрібнорозпиленим водяним струменем середньої потужності з оптимальними значеннями дисперсності крапель води. Ця проблема може бути вирішена шляхом розроблення установок пожежо-

гасіння періодично-імпульсної дії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанню отримання дрібнорозпиленої води приділялося й приділяється дуже багато уваги. Існують способи розпилення рідини: гідравлічний, механічний, пневматичний, пульсаційний, ультразвуковий, електростатичний, акустичний, електрогідравлічний та комбінований метод [6, 7]. Кожний з них має свої переваги й недоліки, але в плані практичного застосування особливим складом ПРП при гасінні пожеж в будівлях найбільший інтерес представляють гідравлічний, механічний, пневматичний та пульсаційний способи.

При гідравлічному розпиленні основним енергетичним джерелом, який приводить до розпаду рідини на краплини, є тиск нагнітання. Реалізація гідравлічного способу на практиці здійснюється за допомогою стволів розпилювачів високого тиску зображених на рис. 1 [8–10]. Цей спосіб потребує наявності постійного вододжерела, насосів високого тиску, а дисперсність краплин, які утворюються при розпиленні води складає близько 150–300 мкм.



Рис. 1. Стволи розпилювачі високого тиску: а) СРВД-2/300; б) НДР 1; в) НЕPIRO

При механічному способі рідина отримує енергію внаслідок тертя об робочий елемент, що швидко обертається. Реалізація механічного способу на практиці здійснюється за допомогою пристроїв зображених на рис. 2 [9–12]. Він дозволяє отримувати дрібнорозпилену воду із розміром крапель 200–600 мкм. Недоліками при реалізації гідравлічного способу є те, що форсунки є дорогими, складними у виготовленні та експлуатації, мають високу енергоємність та не дозволяють отримувати дрібнорозпилену воду.

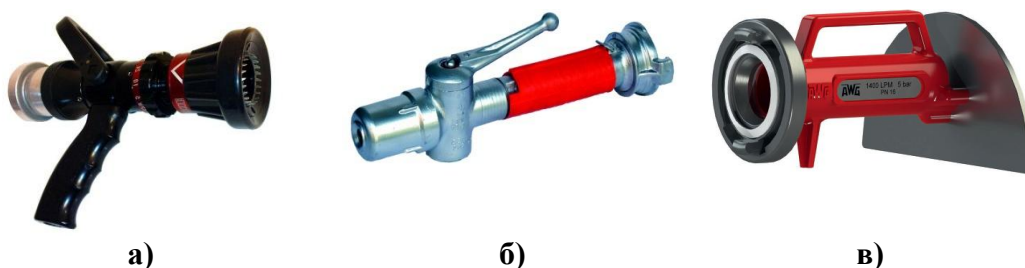


Рис. 2. Переносні пожежні стволи: а) PRO JET I; б) WASSERSCHILD; в) СРК-50

При пневматичному способі розпилення енергія підводиться до рідини в наслідок динамічної взаємодії рідини з потоком газу (повітрям).

Реалізація пневматичного способу на практиці здійснюється за допомогою технічних засобів зображених на рис. 3 [13, 14]. Дисперсність при пневматичному способі розпилення лежить в межах 40–300 мкм. Недоліком застосування пневматичного способу є не висока продуктивність розпилювача, необхідність у розпилювальному агенті і в додатковому обладнанні для його подачі, що зменшує сферу його застосування, а також необхідна значна кількість газу для розпилення води.

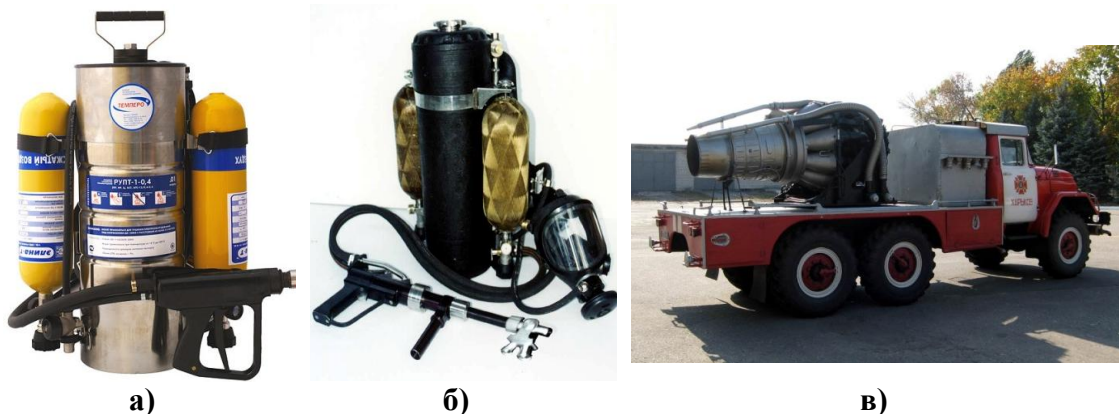


Рис. 3. Ранцеві та мобільні установки пожежогасіння: а) РУПТ-1-0,4; б) ИГЛА-1-0,4; в) автомобіль газоводяного гасіння АГВГ-150

При пульсаційному способі відбувається накладення пульсацій тиску або витрати (частіше – і того, й іншого) на потік рідини, що розпилюється. Реалізація пульсаційного способу на практиці здійснюється за допомогою імпульсних установок пожежогасіння зображених на рис. 4 [5, 7, 15]. Дисперсність крапель лежить в межах 100–150 мкм.

Однак, ці конструкції мають істотні недоліки, а саме: зміна параметрів витікання при зменшенні тиску в пневмогідроакумуляторі, високе значення відношення часу заповнення пневмогідроакумулятора до часу витікання, необхідність наявності високого тиску повітря, палива та вогнегасної речовини для забезпечення функціонування установки.

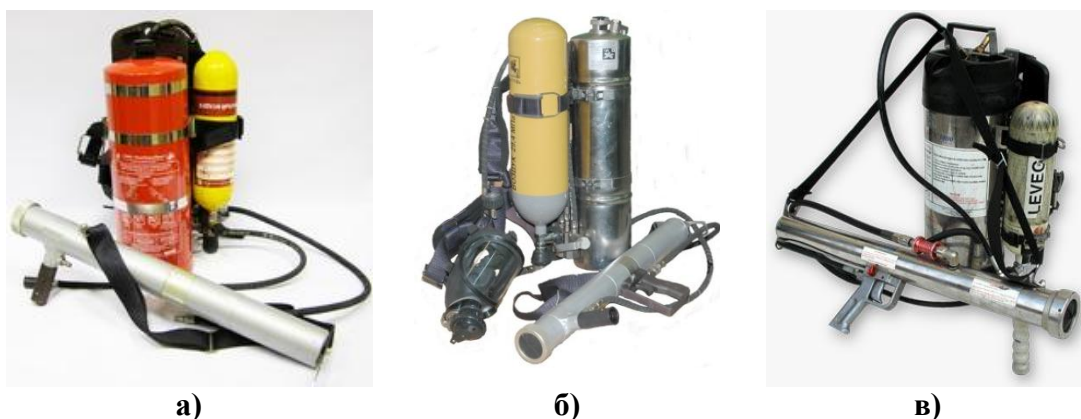


Рис. 4. Імпульсні ранцеві установки пожежогасіння: а) ТАЙФУН-1-10; б) ВИТЯЗЬ УПТ 10/1(0,4)-2; в) IFEX 3000

Отримання та доставка дрібнорозпиленої води в осередок пожежі здійснюється за допомогою технічних засобів, які працюють від пожеж-

них автомобілів та із застосуванням ранцевих установок пожежогасіння, які потребують високого тиску повітря. Тому для підвищення ефективності гасіння пожеж в житлових будівлях дрібнорозпиленою водою необхідно об'єднати наведені технічні засоби для створення установки періодично-імпульсної дії з відсутністю вищезазначених недоліків.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою роботи є обґрунтування нової установки пожежогасіння дрібнорозпиленою водою імпульсно-періодичної дії.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

– обґрунтувати фізичний принцип установки пожежогасіння, який забезпечить отримання дрібнорозпиленого водяного струменя з оптимальними значеннями дисперсності крапель води;

– провести дослідження параметрів установки пожежогасіння дрібнорозпиленою водою імпульсно-періодичної дії.

Для реалізації імпульсно-періодичного способу отримання дрібнорозпиленої води розроблена установка пожежогасіння, конструкція якої зображена на рис. 5.

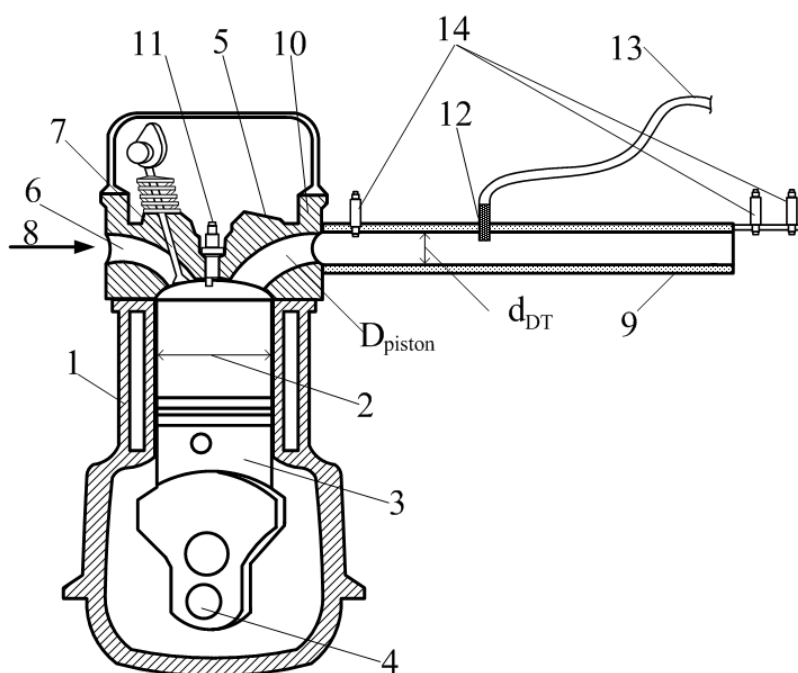


Рис. 5. Схема установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії: 1 – поршневий компресор; 2 – циліндр; 3 – поршень; 4 – кривошипно-шатунний механізм; 5 – кришка компресора; 6 – впускний патрубок; 7 – клапан; 8 – система подачі палива; 9 – ствол; 10 – патрубок; 11 – свічка запалення; 12 – клапан для подачі води; 13 – шланг для подачі води, 14 – датчики тиску

Принцип роботи установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії полягає в наступному. За рахунок зовнішнього приводу поршень 3 приводиться до зворотно-поступального руху в циліндрі 2 компресора 1. Зовнішній привід пов'язаний з кривошипно-шатунним механізмом 4, що забезпечує зворотно-поступальний рух. У процесі руху поршня 3 від верхньої мертвої точки (ВМТ) до нижньої мертвої точки (НМТ) відкри-

вається впускний клапан 7, і в циліндр 2 компресора 1 нагнітається горюча газова суміш через впускний патрубок 6 в кришці 5 за допомогою системи подачі палива 8.

Для забезпечення прискорення та дріблення води продуктами детонації, співвідношення площ задано таким чином, що в процесі роботи установки виконується умова

$$\frac{S_{piston}}{S_{DT}} > \frac{c}{4 \cdot U_{piston}}. \quad (1)$$

де,  $S_{DT}$  – площа поперечного перерізу внутрішнього каналу детонаційної труби-ствола,  $S_{piston}$  – площа поршня поршневого компресора,  $U_{piston}$  – середня швидкість руху поршня,  $c$  – швидкість звуку, м/с [16].

Після досягнення НМТ впускний клапан 7 закривається. За рахунок заданого співвідношення зазначених площ під час подальшого руху поршня 3 від НМТ до ВМТ із заданою швидкістю відбувається стиснення горючої суміші в циліндрі 2 компресора 1 і в детонаційній трубі-стволі 9, елементом якої є патрубок 10. Це призводить до підвищення густини, температури і тиску в горючій суміші поблизу закритого торця детонаційної труби-ствола 9 і в самій трубі-стволі. З наближенням поршня до ВМТ горюча суміш запалюється свічками 11. Далі відбувається швидкий перехід горіння в детонацію в детонаційній трубі-стволі 9. Через клапан 12 здійснюється подача води по шлангу 13 від джерела води. Вихід дрібнорозпиленої води зі ствола 9 здійснюється за короткий час, доки поршень знаходиться поблизу ВМТ. Далі процес повторюється. Загальний вид установки та її робота показана на рис. 6.



Рис. 6. Загальний вид дослідної установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії в роботі

Особливість розробленої установки пов'язана з надшвидким наповненням ствола горючою сумішшю під високим тиском. При такому наповненні до моменту ініціювання детонації горюча суміш в патрубку 10 і частини труби-ствола 9 знаходиться під тиском, що перевищує атмосферний тиск. За результатами числового моделювання отримано

розподіл надлишкового тиску на момент ініціювання детонації показаний, який показано на рис. 7.

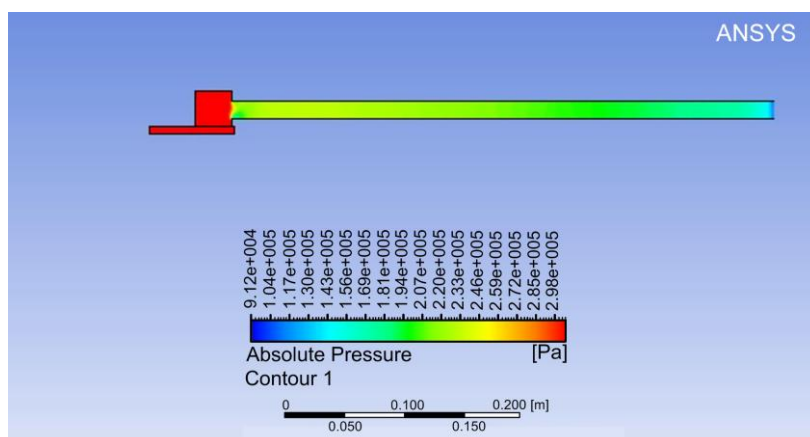


Рис. 7. Розподіл надлишкового тиску на момент ініціювання детонації

Використання компресору та іскрове запалювання з підвищеною енергією розряду дозволяють стабільно отримувати детонацію на горючих сумішах із значним відхиленням від стехіометричного складу.

Це забезпечує подрібнення водяних струменів у стволі установки потоком продуктів детонації та у результаті отриманий дрібнорозпилений газоводяний струмінь подається для гасіння пожеж.

Результати вимірювання тиску в точці *a* за допомогою датчика ADZ-10 представлені на рис. 8 і 9.

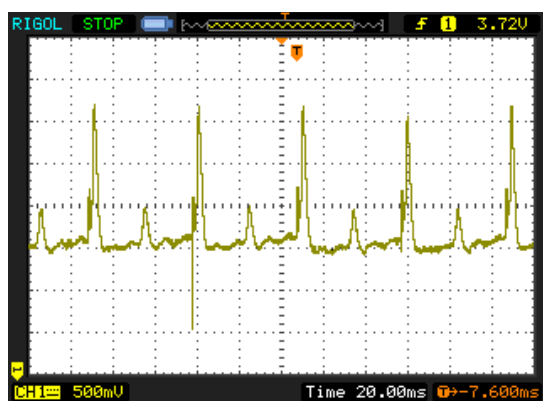


Рис. 8. Тиск в точці *a*

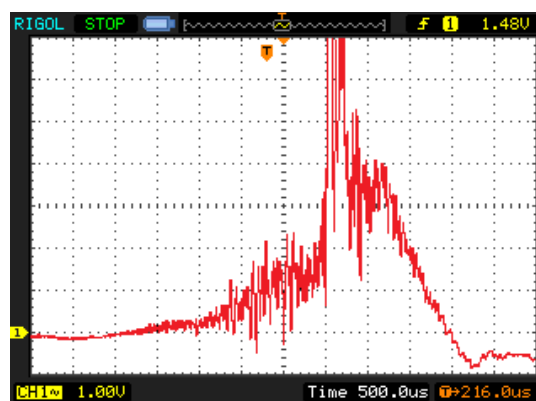


Рис. 9. Зміна тиску в період вибухового згорання в точці *a*

Так як установка призначена для подачі вогнегасної речовини, а саме води, то цикл виходу води чергується з циклом продувки. Амплітудно надлишковий тиск газів в точці *a* без згорання перевищив 0,3 МПа, в результаті згорання тиск зростав більш, ніж в 3–4 рази. На осцилограмі тиску маємо відповідну послідовність хвиль тиску, що відображають дані цикли. Більш детальне дослідження зміни тиску в точці *a* за допомогою п'єзодатчика показало наявність вибухового згорання. При цьому, тривалість такого згорання становить кілька сотень мікросекунд. Перед кожним циклом вибухового згорання маємо скачок, викликаний наводкою від блоку іскрового запалювання. Оцінка осцилограми показала, що

час затримки між іскрою і вибухом становить близько 2 мс.

Проведено вимірювання часу проходження хвилі тиску між п'єзодатчиками тиску в точках *b* і *c*. Датчик *b* встановлювався на відстані 1 см від торця труби-ствола. Відстань між датчиками *b* і *c* дорівнювало 5 см (рис. 10, 11).

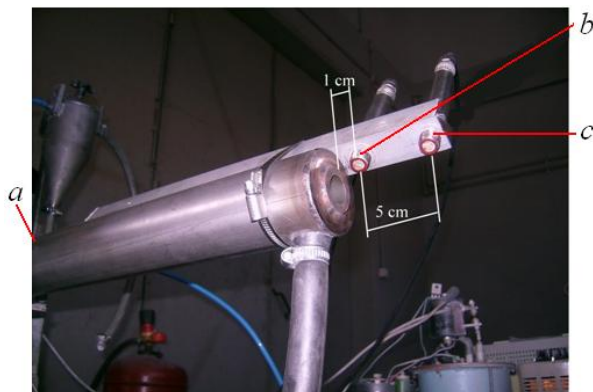


Рис. 10. Розміщення датчиків в точках *a*, *b* і *c*



Рис. 11. Результати зміни тиску в точках *b* і *c*

За результатами вимірювань отримано стрибкоподібну зміну тиску на датчиках. При цьому, час проходження хвилі між датчиками за результатами багаторазових вимірювань склало 29–30 мкс. Це відповідає швидкості хвилі 1667–1724 м/с. Згідно з експериментальними даними швидкість детонації в пропано-повітряної суміші становить 1800 м/с.

Повна оцінка витрат на нагрівання і подачу стислої горючої суміші на один детонаційний цикл склало до 500 Дж при ККД систем підготовки не більше 60 %. Температура горючої суміші, яка подається в передкамеру, склала близько 150 °С. Частота детонаційних циклів перевищує 20 Гц.

Розрахункова вихідна потужність становить 50 кВт. Відомо, що критичний діаметр труби-ствола, при якому може здійснюватися перехід горіння в детонацію, дорівнює розміру  $\lambda$  детонаційної осередки. У пропано-повітряної суміші  $\lambda \approx 50$  мм. Так як внутрішній діаметр труби-ствола дорівнює 20 мм, то перехід горіння в детонацію стався за рахунок стиснення і нагрівання горючої суміші.

Подача води у ствол 9 здійснювалося безперервно з витратою 500 гр/с. Проведення дослідження, щодо встановлення діаметру крапель води (дисперсності) здійснювалося методом уловлювання крапель води. В металевий піддон розмірами 2000×1000×50 мм наливалось моторне мастило. При подачі дрібнорозпиленого газозводного струменя зі ствола установки, краплі розпиленої рідини осідали на мастило. Краплі води при попаданні на поверхню мастила не розчинялися досить довго при цьому не тонули і не злипалися між собою та зберігали при цьому свою сферичну форму. Це надало змогу провести вимірювання розміру крапель води за допомогою масштабної лінійки та встановити середній їх діаметр. За проведеними результатами дослідження встановлено, що розмір крапель води склав в діапазоні 60–100 мкм. В роботах [6, 7] встановлено, що най-

більшою вогнегасною здатністю володіє струмінь води, розпилений до дрібних крапель менше, ніж 100 мкм. За допомогою установки пожежогасіння дрібнорозпиленою водою створені краплі потрібного діаметру. Отримані результати дослідження є дуже перспективними та потребують проведення подальшої роботи в цьому напрямку.

**Висновки.** Запропоновано установку пожежогасіння дрібнорозпиленою водою імпульсно-періодичної дії для гасіння розвинених пожеж в будівлях. Розглянуто та наведено принцип роботи установки пожежогасіння дрібнорозпиленим водяним струменем з оптимальним значенням дисперсності крапель води. Конструкція установки розроблена таким чином, що в неї створені умови для забезпечення прискорення та дріблення води продуктами детонації. Проведені експериментальні дослідження, щодо встановлення параметрів роботи установки пожежогасіння дрібнорозпиленою водою. Встановлені, основні параметри, що дозволяють здійснювати подрібнення водяних струменів у стволі установки потоком продуктів детонації. Отримана дисперсність дрібнорозпиленого водяного струменя методом уловлювання крапель води, що склала в межах 60–100 мкм. Встановлено оптимальну подачу води 0,5–1 л/с в установку, яка залежить від площі пожежі.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Дубінін Д.П. Дослідження розвитку пожеж в приміщеннях житлових будівель / Д.П. Дубінін, А.А. Лісняк // VII Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист». тези доповідей. – ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2017. – С. 60-62. Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5065>.

2. Дубінін Д.П. Розроблення експериментальної установки для дослідження розвитку пожежі в закритому приміщенні / Д.П. Дубінін, А.А. Лісняк // 19-а Всеукраїнська науково-практична конференція „Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку”. тези доповідей. – ІДУЦЗ, 2017. – С. 157-160. Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5064>.

3. Довідник керівника гасіння пожежі / За загальною редакцією Кропивницького В.С. – К.: ТОВ "Літера-Друк", 2016. – 320 с.

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

5. IFEX [Electronic resource]: [Web site]. – Mode of access: <https://www.ifex3000.com> (дата звернення 30.01.2018) – Screen title.

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

7. Тарахно О.В. Фізико-хімічні основи використання води в поже-



жній справі: Навчальний посібник / О.В. Тарахно, А.Я. Шаршанов. – Х.: АЦЗУ, 2004. – 252 с.

8. Minimax [Electronic resource]: [Web site]. – Mode of access: <http://www.minimax.ch> (дата звернення 30.01.2018) – Screen title.

9. Rosenbauer [Electronic resource]: [Web site]. – Mode of access: [www.rosenbauer.com](http://www.rosenbauer.com) (дата звернення 30.01.2018) – Screen title.

10. AWG [Electronic resource]: [Web site]. – Mode of access: <http://www.awg-fittings.com/de/news.html> (дата звернення 30.01.2018) – Screen title.

11. КАМАТ [Electronic resource]: [Web site]. – Mode of access: <https://www.kamat.de> (дата звернення 30.01.2018) – Screen title.

12. ДСТУ 2112-92 (ГОСТ 9923-93) Стволи пожежні ручні. Технічні умови. – Введ. 1994–01–01.–К.: ТК 25 "Пожежна безпека і протипожежна техніка", 1992. – 15 с.

13. Янкевич Н. С. Газодисперсные технологии на службе в МЧС / Н.С. Янкевич, Ю.И. Шавель // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: – М., 2012. – № 1 (31). – С. 91 – 98.

14. Кайзер Ю.Ф. Автомобиль газо-водяного тушения / Ю.Ф. Кайзер, А.В. Лысянников, Р.Б. Желукевич и др. // Современные проблемы науки и образования: – П., 2014. – № 5. – С. 203.

15. Установка импульсного пожаротушения ранцевая «ВИТЯЗЬ УИП-1" Руководство по эксплуатации ЗР 500.00.00.00 РЭ ТТЗ. Зак. 698.

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

*Отримано редколлегією 10.03.2018*

Д.П. Дубинин, К.В. Корытченко, А.А. Лисняк

#### **Технические средства пожаротушения мелкораспыленной водяной струей**

Проведен анализ существующих технических средств для тушения пожаров с использованием мелкораспыленной воды. Предложено для развитых пожаров в зданиях применять установку периодически-импульсного действия газовойодяного тушения. Проведены экспериментальные исследования физического принципа установки, который обеспечивает создание мелкораспыленной водяной струи с оптимальным значением дисперсности капель воды.

**Ключевые слова:** технические средства, мелкораспыленная вода, газовойодяная струя, тушение пожаров, дисперсность.

D. Dubinin, K. Korytchenko, A. Lisnyak

#### **Technical means of fire explosion by drybroscoped water structures**

The analysis of existing technical means for extinguishing fires with the use of finely dispersed water is carried out. It has been proposed for the developed fires in buildings to use a device for periodically pulsing the action of gas-water quenching. Experimental studies of the physical principle of the installation have been carried out, which ensures the creation of a finely dispersed water jet with an optimum value for the dispersion of water droplets.

**Keywords:** technical means, finely dispersed water, gas-water jet, fire extinguishing, dispersity.