



ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ  
ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

МАТЕРІАЛИ ДРУКУЮТЬСЯ УКРАЇНСЬКОЮ,  
АНГЛІЙСЬКОЮ ТА ПОЛЬСЬКОЮ МОВАМИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

## ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА

ЛДУБЖД

№ 46, 2025

заснований у 2002 році

### РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

**Паснак І.В.**, *головний редактор*, к.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Лавренюк О.І.**, *заступник головного редактора*, д.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Яковчук Р.С.**, *заступник головного редактора*, д.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Пазен О.Ю.**, *відповідальний секретар*, к.т.н., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Баланюк В.М.**, д.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Башинський О.І.**, к.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Вовк С.Я.**, к.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Гащук П.М.**, д.т.н., проф., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Демчина Б.Г.**, д.т.н., проф., Національний університет «Львівська політехніка», Україна; **Домінік А.М.**, к.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Смельяненко С.О.**, к.т.н., старший дослідник, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Кирилів В.І.**, к.т.н., с.н.с., Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка, Україна; **Коваленко В.В.**, к.т.н., с.н.с., Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна; **Ковалишин В.В.**, д.т.н., проф., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Коваль М.С.**, д.пед.н., проф., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Козяр М.М.**, д.пед.н., проф., Член-кореспондент НАПН України, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Костенко В.К.**, д.т.н., проф., Донецький національний технічний університет МОН України, Україна; **Кузик А.Д.**, д.с-г.н., проф., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Лозинський Р.Я.**, к.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Лоїк В.Б.**, к.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Михалічко Б.М.**, д.х.н., проф., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Попович В.В.**, д.т.н., проф., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Придатко О.В.**, к.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Птак Сімон**, PhD, Головна школа пожежної служби, Польща; **Ратушний Р.Т.**, д.т.н., проф., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Ренкас А.А.**, к.т.н., доц., Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Україна; **Тацій Р.М.**, д.ф.-м.н., проф., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна; **Тригуба А.М.**, д.т.н., проф., Львівський національний аграрний університет, Україна; **Шукіс Ріголдас**, PhD, доц., Вільнюський технічний університет ім. Гедіміна, Литва; **Ярош Войцех**, PhD, Головна школа пожежної служби, Варшава, Польща.



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2025

ISSN 2078-6662 (print)  
ISSN 2708-1087 (online)

DOI: 10.32447/20786662.46.2025.00

**ЗАСНОВНИКИ**

Львівський державний університет  
безпеки життєдіяльності (ЛДУБЖД)

Інститут державного управління та наукових  
досліджень з цивільного захисту

**ВИДАВЕЦЬ**

Львівський державний університет  
безпеки життєдіяльності (ЛДУБЖД)

**ЗАРЕЄСТРОВАНО**

Національною радою України з питань  
телебачення та радіомовлення (рішення № 292  
від 08.02.2024, ідентифікатор медіа R30-02253)

**СУБ'ЄКТ У СФЕРІ  
ДРУКОВАНИХ МЕДІА**

Львівський державний університет безпеки  
життєдіяльності (вул. Клепарівська, 35, м. Львів,  
79007, ldubzh.lviv@dsns.gov.ua, тел. (032) 233-00-88)

**ВНЕСЕНО ДО ПЕРЕЛІКУ НАУКОВИХ ФАХОВИХ ВИДАНЬ УКРАЇНИ  
ЯК ДРУКОВАНЕ ПЕРІОДИЧНЕ ВИДАННЯ КАТЕГОРІЇ «Б»**

*(Наказ МОН України від 02.07.2020 року № 886)*

**ВНЕСЕНО ДО БІБЛОГРАФІЧНИХ БАЗ ДАНИХ:**

*«Наукова періодика України» в Національній бібліотеці України  
ім. В.І. Вернадського, «ULRICH'S PERIODICALS DIRECTORY»,  
«Google Scholar» та ін.*

**Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради ЛДУБЖД  
(Протокол № 10 від 04.06.2025 р.)**

**Літературний редактор**

Чудеснова І. М.

**Комп'ютерна верстка**

Клименко Т. О.

**АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:**

ЛДУБЖД, вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007

**Контактний телефон:**

(099) 60 66 532

**E-mail:**

journal.firesafety@gmail.com

Збірник наукових праць «Пожежна безпека» видається з 2002 року. Запланована періодичність: 2 рази на рік. Тематична спрямованість: оригінальні та оглядові праці в галузі безпеки та оборони за спеціальністю Пожежна безпека.

Здано в набір 09.06.2025. Підписано до друку 12.06.2025.  
Формат 60x84<sup>8/8</sup>. Ум. друк. арк. 15,58. Зам. № 0725/546. Наклад 150 прим.  
Гарнітура Times New Roman. Папір офсетний. Цифровий друк.  
Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»  
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1  
Телефон +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08  
E-mail: mailbox@helvetica.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.

## ЗМІСТ

**В. О. Боровиков, О. М. Слуцька,  
Р. Ю. Сукач, Д. П. Войтович**  
ВИКОРИСТАННЯ  
ПЛІВКОУТВОРЮВАЛЬНИХ  
ПІНОУТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ГАСІННЯ  
ПОЖЕЖ У СВІТЛІ ПОЛОЖЕНЬ  
СТОКГОЛЬМСЬКОЇ КОНВЕНЦІЇ ПРО  
СТІЙКІ ОРГАНІЧНІ ЗАБРУДНЮВАЧІ

**Р. Б. Веселівський, Д. В. Смоляк,  
І. М. Поліщук, А. А. Петренко**  
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ  
СПОСОБІВ ЗАКРІПЛЕННЯ  
РЯТУВАЛЬНОЇ МОТУЗКИ  
ЗА КОНСТРУКЦІЮ

**С. Я. Вовк, О. В. Шаповалов,  
А. П. Кушнір, Н. О. Ференц**  
АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ  
ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ

**Т. М. Войтович, В. В. Ковалишин,  
О. П. Войтович, І. І. Калужняк**  
ОГЛЯД СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ  
КОРОЗИЙНОЇ ДІЇ ПІНОУТВОРЮВАЧІВ  
ТА ЇХ РОБОЧИХ РОЗЧИНІВ  
НА ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМ  
ПОЖЕЖОГАСІННЯ

**Н. В. Жезло-Хлевна, О. В. Хлевной,  
Ю. С. Назар, Ю. О. Борзов,  
В. Й. Довбняк**  
ЕВАКУАЦІЯ ОСІБ ІЗ МОДУЛЬНИМИ  
ПРОТЕЗАМИ НИЖНІХ КІНЦІВОК  
ПРИ ПОЖЕЖІ: СУЧАСНИЙ СТАН,  
ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ  
ДОСЛІДЖЕНЬ

**О. І. Лавренюк, Б. М. Михалічко**  
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ  
ВИЗНАЧЕННЯ ТА МАТЕМАТИЧНЕ  
МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ  
ГОРЮЧОСТІ ЕПОКСІАМІННИХ  
КОМПОЗИЦІЙ

## CONTENTS

**V. O. Borovykov, O. M. Slutska,  
R. Yu. Sukach, D. P. Voytovych**  
USE OF FILM-FORMING FOAMING  
AGENTS FOR FIRE EXTINGUISHING  
IN THE LIGHT OF THE PROVISIONS  
OF THE STOCKHOLM CONVENTION  
ON PERSISTENT ORGANIC  
POLLUTANTS

**R. B. Veselivskyi, D. V. Smolyak,  
I. M. Polishchuk, A. A. Petrenko**  
STUDY OF THE EFFECTIVENESS  
METHODS OF FIXING  
OF THE LIFELINE  
TO THE STRUCTURE

**S. Ya. Vovk, O. V. Shapovalov,  
A. P. Kushnir, N. O. Ferents**  
ANALYSIS OF WAYS TO PROVIDE  
FIRE PROTECTION FOR HIGH-RISE  
BUILDINGS

**T. M. Voitovych, V. V. Kovalyshyn,  
O. P. Voitovych, I. I. Kaluzhniak**  
REVIEW OF CURRENT RESEARCH  
ON THE CORROSIVE EFFECTS  
OF FOAM CONCENTRATES  
AND THEIR WORKING SOLUTIONS  
ON FIRE SUPPRESSION SYSTEM  
COMPONENTS

**N. V. Zhezlo-Khlevna, O. V. Khlevnoi,  
Yu. S. Nazar, Yu. O. Borzov,  
V. J. Dovbniak**  
EVACUATION OF PEOPLE  
WITH MODULAR LOWER LIMB  
PROSTHESES IN THE EVENT  
OF A FIRE: CURRENT STATUS,  
PROBLEMS AND RESEARCH  
PROSPECTS

**O. I. Lavrenyuk, B. M. Mykhalichko**  
EXPERIMENTAL STUDY  
AND MATHEMATICAL MODELING  
OF COMBUSTIBILITY INDICATORS  
OF EPOXY-AMINE COMPOSITES

5

20

30

45

53

65

## ЗМІСТ

**О. В. Лазаренко, Р. Ю. Сукач,  
Я. Б. Великий, Б. Я. Бойчук**  
ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ  
ЗАСТОСУВАННЯ  
ДРІБНОРОЗПИЛЕНИХ СТРУМЕНІВ  
ВОДИ ПІД ЧАС ГАСІННЯ ПОЖЕЖ  
У ПІДВАЛЬНИХ ПРИМІЩЕННЯХ

**В. І. Лушч, Р. М. Конанець,  
Я. Б. Великий, Р. С. Ткаченко,  
Н. І. Гузар**  
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ  
ДОСЛІДЖЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ  
ЖИТТЄВИХ ПОКАЗНИКІВ  
ГАЗОДИМОЗАХИСНИКІВ  
ПІД ЧАС ІМІТАЦІЇ ВИКОНАННЯ  
ОПЕРАТИВНИХ ДІЙ НА ПОЖЕЖІ

**В. С. Мирошкін, М. З. Пелешко,  
Вол. В. Ковалишин, І. С. Грідасов**  
НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ  
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ  
ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ ПОХИЛИХ  
ПІДЙОМНИКІВ ДЛЯ ЕВАКУЮВАННЯ  
ЛЮДЕЙ В РАЗІ ПОЖЕЖІ

**В.-П. О. Пархоменко,  
Б. М. Михалічко, О. І. Лавренюк,  
Р. В. Пархоменко, І. П. Кравець**  
ІННОВАЦІЙНІ РОЗРОБКИ  
ТА СУЧАСНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ  
ЕФЕКТИВНОСТІ ВОДНИХ  
ВОГНЕГАСНИХ РОЗЧИНІВ  
ЗА ДОПОМОГОЮ ІНГІБІТОРІВ

**Р. Л. Пелех, В. М. Марич**  
АНАЛІЗ ЧИННИКІВ,  
ЩО ВПЛИВАЮТЬ  
НА ЕФЕКТИВНІСТЬ  
СИСТЕМ ПОЖЕЖОГАСІННЯ  
ТОНКОРОЗПИЛЕНОЮ ВОДОЮ

**В. С. Петренко, О. М. Саух**  
ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВОЇ  
КУЛЬТУРИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ  
У ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ ЗАСОБАМИ  
E-LEARNING

**Ю. О. Терлецький, О. Ю. Пазен,  
Р. М. Тацій, А. С. Лин**  
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ  
ПАРАМЕТРІВ ПОЖЕЖІ  
НА НАГРІВАННЯ ОРІЄНТОВАНО-  
СТРУЖКОВИХ ПЛИТ

## CONTENTS

**O. V. Lazarenko, R. Yu. Sukach,  
Y. B. Velykyi, B. Ya. Boichuk**  
QUALITATIVE ASSESSMENT  
OF WATER MIST JETS APPLIED  
DURING EXTINGUISHING FIRES  
IN BASEMENT

**V. I. Lushch, R. M. Konanets,  
Ya. B. Velykyi, R. S. Tkachenko,  
N. I. Huzar**  
EXPERIMENTAL STUDIES  
FOR DETERMINING THE VITAL  
PARAMETERS OF SMOKE  
DIVERS DURING SIMULATION  
OF OPERATIONAL ACTIONS  
AT THE FIRE

**V. S. Myroshkin, M. Z. Peleshko,  
V. V. Kovalishyn, I. S. Gridasov**  
REGULATORY AND LEGAL  
PROVISION OF SAFETY  
WHEN USING INCLINED LIFTS  
FOR EVACUATION OF PEOPLE  
IN THE EVENT OF FIRE

**V.-P. O. Parkhomenko,  
B. M. Mykhalichko, H. I. Lavrenyuk,  
R. V. Parkhomenko, I. P. Kravets**  
INNOVATIVE DEVELOPMENTS AND  
MODERN METHODS FOR ENHANCING  
THE EFFICIENCY OF WATER-BASED  
FIRE EXTINGUISHING SOLUTIONS  
USING INHIBITORS

**R. L. Pelekh, V. M. Marych**  
ANALYSIS OF FACTORS  
THAT INFLUENCE  
ON THE EFFICIENCY OF FIRE  
EXTINGUISHING SYSTEMS WITH  
FINE SPRAY WATER

**V. S. Petrenko, O. M. Saukh**  
FORMATION OF DIGITAL FIRE  
SAFETY CULTURE AMONG  
STUDENTS USING E-LEARNING  
MEANS

**Yu. O. Terletsnyi, O. Yu. Pazen,  
R. M. Tatsiy, A. S. Lyn**  
RESEARCH ON THE INFLUENCE  
OF FIRE PARAMETERS  
ON THE HEATING OF ORIENTED-  
STAINLESS STEEL BOARDS

DOI <https://doi.org/10.32447/20786662.46.2025.07>

*О. В. Лазаренко, Р. Ю. Сукач, Я. Б. Великий, Б. Я. Бойчук*  
*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,*  
*м. Львів, Україна*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0500-0598> – О. В. Лазаренко

<https://orcid.org/0000-0003-4174-9213> – Р. Ю. Сукач

<https://orcid.org/0009-0002-3241-5211> – Я. Б. Великий

<https://orcid.org/0000-0003-4343-8822> – Б. Я. Бойчук



[o.lazarenko@ldubgd.edu.ua](mailto:o.lazarenko@ldubgd.edu.ua)

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДРІБНОРОЗПИЛЕНИХ СТРУМЕНІВ ВОДИ ПІД ЧАС ГАСІННЯ ПОЖЕЖ У ПІДВАЛЬНИХ ПРИМІЩЕННЯХ

**Вступ.** Типові проекти житлових будинків передбачають розміщення у підвалах підсобних приміщень, які можуть бути заха́рачені самими мешканцями, утворюючи велике пожежне навантаження, що здатне викликати пожежу за необережного поводження з вогнем сторонніх осіб. Гасіння пожеж у підвальних приміщеннях завжди пов'язане з низкою складнощів. Завжди є ризик вибуху через прокладені там різноманітні магістральні мережі. Складність гасіння полягає також у невеликій площі приміщення та його місцезнаходженні. Слід враховувати вузькі проходи та низькі стелі, що може ускладнювати прохідність та евакуацію.

**Мета та задачі дослідження.** Метою роботи є оцінка ефективності використання дрібно розпиленого струменя води, генерованого системою високого тиску, на температурні показники в приміщенні під час пожежі.

Для досягнення поставленої мети в роботі проведено аналіз ефективності використання дрібно-розпиленних струменів води для осадження продуктів горіння та безпосереднього гасіння пожежі в огороженні; підготовлено матеріальну базу, підвальне приміщення та технічні засоби для проведення експериментального дослідження; здійснено безпосереднє експериментальне дослідження з реальним задимленням та температурними показниками, близькими до реальних умов розвитку пожежі в огороженні.

**Методи.** Для досягнення мети роботи було проведено експериментальні дослідження з умовами, максимально наближеними до реальних (температура, полум'я, задимлення). Отримані результати експериментальних досліджень було зафіксовано за допомогою повіреного обладнання та в подальшому узагальнено з використанням відповідного програмного забезпечення (Microsoft Excel).

**Результати.** Експериментальні дослідження довели ефективність використання ствола-пробійника для зниження температури в приміщенні, зокрема в підвальних та напівпідвальних приміщеннях, що не вимагає залучення особового складу в зоні дії високих температур.

**Висновки.** Використання ствола-пробійника під високим тиском дає змогу знизити середню температуру в приміщенні об'ємом 12 м<sup>3</sup> на 300–350 °С впродовж 2–3 хвилин. Тактика використання ствола-пробійника як основного технічного засобу для гасіння пожеж в огороженні за умови високих температур, складного планування та обмеженого простору повинна стати основоположною і в подальшому замінити застарілі методи гасіння подібних пожеж.

**Ключові слова:** розпилена вода, гідравлічний струмінь, зниження температури, тактика гасіння, ствол-пробійник, дрібнодисперсні струмені, підвальне приміщення.



## QUALITATIVE ASSESSMENT OF WATER MIST JETS APPLIED DURING EXTINGUISHING FIRES IN BASEMENT

**Introduction.** Typical designs of residential buildings provide for the placement of utility rooms in basements, which can be cluttered by the residents themselves, creating a large fire load, all of which can cause a fire if unauthorized persons handle the fire carelessly. Extinguishing fires in basements is always associated with several difficulties. There is always a risk of explosion due to the various main networks. The difficulty of extinguishing also lies in the small area of the room and its location. Narrow passages and low ceilings should be considered, which can complicate passage and evacuation.

The purpose and objectives of the study. The work aims to assess the effectiveness of using a finely atomized water jet generated by a high-pressure system on temperature indicators in a room during a fire. To achieve the goal, the work analyzed the effectiveness of using finely atomized water jets to deposit combustion products and directly extinguish a fire in an enclosure; prepared the material base, basement and technical means for conducting an experimental study; carried out a direct experimental study with real smoke and temperature indicators close to the real conditions of fire development in an enclosure.

**Methods.** To achieve the goal of the work, experimental studies were conducted with conditions as close as possible to real ones (temperature, flame, smoke). The obtained results of the experimental studies were recorded using certified equipment and subsequently summarized using appropriate software (Microsoft Excel).

**Results.** Experimental studies have proven the effectiveness of using a fognail to reduce the temperature in a room, in particular in basements and semi-basement rooms, without requiring the involvement of personnel in the area of high temperatures.

**Conclusions.** The use of a high-pressure fognail allows you to reduce the average temperature in a room with a volume of 12 m<sup>3</sup> by 300-350 °C within 2-3 minutes. The tactic of using a fognail as the main technical means for extinguishing fires in enclosures under conditions of high temperatures, complex planning and limited space should become fundamental and, in the future, replace outdated methods of extinguishing such fires.

**Key words:** water mist, hydraulic jet, temperature reduction, extinguishing tactics, fine jets, basement.

**Вступ.** За статистикою, більше 90 % пожеж трапляються в житловому секторі [1]. Переважними місцями виникнення пожеж у житловому секторі є житлові кімнати або місця зберігання побутових речей власників, зокрема підвальні приміщення. В холодну пору ймовірність виникнення пожеж у підвальних приміщеннях підвищується у зв'язку з перебуванням там безхатків та можливості розведення неконтрольованих осередків горіння. Водночас підвальні приміщення – це найбільш поширена локація для розміщення там цільових побутових приміщень, таких як лазні, сушильні камери, що значно підвищує пожежну небезпеку таких приміщень та збільшує в декілька разів пожежне навантаження на приміщення.

**Постановка проблеми.** Питання гасіння пожеж у підвальних приміщеннях є одним з найскладніших з точки зору пожежогасіння [2]. З огляду на складну конфігурацію підвальних приміщень, обмежену вентиляцію та невеликий об'єм самих приміщень вільний розвиток горіння в підвальних приміщеннях буде насамперед характеризуватися стрімким зростанням температури. Доволі часто температура в підвальному приміщенні може досягати більше +1000 °C

з одночасним сильним задимленням всієї площі. Відповідні небезпечні фактори пожежі унеможливають виконання стандартних процедур оперативно-рятувальними підрозділами.

З огляду на складну тактичну обстановку під час пожежі необхідно вживати додаткових заходів щодо зниження температури в підвальному приміщенні та видалення продуктів горіння, зокрема необхідно проводити тактичну вентиляцію [3; 4] з використанням повітряних нагнітачів (ПН), повітряно-механічної піни (ПМП) високої кратності або залученням спеціального аварійно-рятувального обладнання. Використання ПН або ПМП за умови дії високої температури може бути мало-ефективним, оскільки встановлення ПН вимагає наявності ланки газодимозахисної служби в безпосередній близькості до приміщень з високою температурою. Водночас дія високої температури буде руйнувати ПМП і не давати бажаного ефекту. Відповідно, зазначені тактичні рішення будуть ефективними за умови безпосереднього зниження температури продуктів згорання до межі 100–200 °C.

З огляду на особливості та унікальні теплофізичні параметри води єдиними засобами,

здатними ефективно знизити температуру середовища, залишаються вода та водні розчини. Ефективність використання води як основного охолоджуючого та вогнегасного засобу підтверджена значною кількістю практичних та теоретичних досліджень [5–9].

Так, зокрема, в роботі [5] наведено результати комп'ютерного моделювання (FDS/PyroSim) щодо ефективності використання дрібнорозпиленої води під час гасіння умовної пожежі в промислових будівлях. Встановлено, що загальний час гасіння умовної пожежі зменшується за умови величини водяної краплі 30 мкм та витрати води до 40 л/хв.

У дослідженнях [6; 7] наведені результати ефективності пароутворюючої здатності залежно від величини водяної краплі. Зокрема, розглядаються краплі від 100 до 1000 мкм. Відповідно, у джерелі [7] встановлено, що оптимальний розмір краплі повинен становити  $\leq 200$  мкм. Водночас робота [6] дає чітке розуміння, що загальний процес ефективності пароутворення безпосередньо залежатиме від потужності джерела теплового випромінювання та загальної температури в приміщенні.

Щодо використання ручних пожежних стволів як основного технічного засобу генерування дрібно розпиленого струменя води під час гасіння пожеж в огороженні можна виокремити стволи-пробійники різного гатунку, зокрема такі системи, як “Cobra” [9].

Ефективність використання ствола-пробійника, що працював під тиском 0,8 МПа, добре відображена в роботі [10]. Експериментальні

дослідження, які проводилися в приміщенні загальною площею 25 м<sup>2</sup> з висотою стелі 2,5 м, показали, що застосування відповідного ствола дає змогу знизити загальну температуру приміщення на 250–300 °С (з першопочаткової температури +400–500 °С) впродовж 50–100 секунд.

Отже, основним показником ефективності використання води як охолоджувального засобу є ефективний розмір водяної краплі, а також інтенсивність (продуктивність) подачі води в осередок горіння. Водночас ефективність застосування дрібнорозпиленого струменя залежатиме від геометричних розмірів приміщення та температурних показників середовища.

#### Постановка мети та завдань дослідження.

Відповідно до аналізу наукових публікацій та останніх наукових досягнень, метою роботи є оцінка ефективності використання дрібно розпиленого струменя води, генерованого системою високого тиску, на температурні показники в приміщенні під час пожежі.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- здійснити аналіз ефективності використання дрібнорозпилистих струменів води для осадження продуктів горіння та безпосереднього гасіння пожежі в огороженні;
- підготувати відповідне підвальне приміщення та технічні засоби для проведення експериментального дослідження;
- здійснити безпосереднє експериментальне дослідження з реальним задимленням та температурними показниками, близькими до реальних умов розвитку пожежі в огороженні.

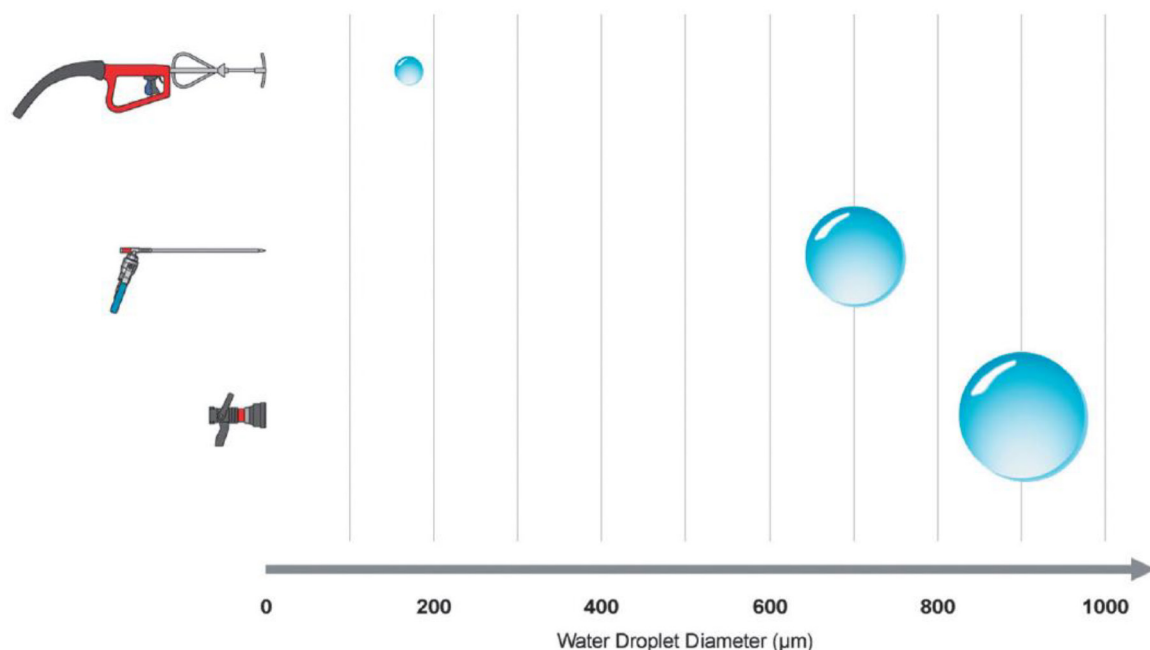


Рис. 1. Мінімальний діаметр крапель залежно від виду пожежного ствола [9], що працюють під тиском більше 2 МПа

**Виклад основного матеріалу.** Експериментальні дослідження проводилися на базі тренувального полігону м. Тінглев Данського агентства з надзвичайних ситуацій.

Завдяки можливостям полігону для проведення експериментальних досліджень було вибрано напівпідвальне приміщення загальним розміром  $2 \times 3 \times 2$  (ширина  $\times$  довжина  $\times$  висота) в цегляному будинку із залізобетонним перекриттям (рис. 2). Пожежна навантага в приміщенні було сформована відповідно до правил [11] (ОСБ панелі та солома) загальною потужністю теплового випромінювання 2–3 МВт.

Для визначення температурних показників було використано термопари з безпосереднім виводом даних на персональний комп'ютер. Термопари розміщувалися на висоті стелі та на 1,5 метри від підлоги приміщення. Як основний засіб для зниження температури в приміщенні було вибрано ствол-пробійник (рис. 3) з можливістю подачі дрібно-розпиленого струменя води під високим тиском в діапазоні від 1–2 МПа.

Детальні характеристики ствола наведені в табл. 1.

Таблиця 1

**Тактико-технічні характеристики ствола-пробійника високого тиску**

| Параметр                         | Величина |
|----------------------------------|----------|
| Довжина, м                       | 0,52     |
| Діаметр отворів насадка, м       | 0,019    |
| Вага, кг                         | 1,1      |
| Дальність подачі струменя        | до 8 м   |
| Максимальний робочий тиск, МПа   | 2        |
| Витрата (за тиску 0,6 МПа), л/хв | 70       |

Відповідно до задач дослідження порядок експерименту був таким.

- 1) Перш за все здійснювалося запалювання пожежного навантаження в приміщенні підвалу.
- 2) Спостереження за вільним розвитком (перебігом) горіння та зняття показників температури в приміщенні.



а



б

**Рис. 2. Зображення матеріальної бази для проведення експериментальних досліджень:**  
а) загальний вигляд будинку з підвальним приміщенням; б) мобільна лабораторія для зняття температурних показників



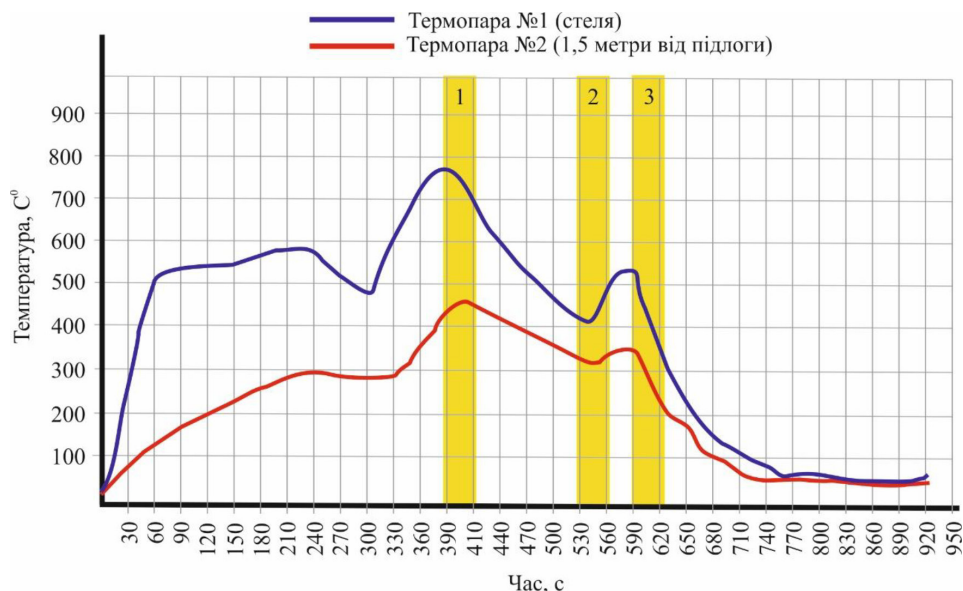
а



б

**Рис. 3. Ствол-пробійник високого тиску: а) загальний вигляд ствола; б) насадки ствола**





**Рис. 4. Графік зміни температурних показників всередині приміщення внаслідок використання ствола-пробійника та подальших дій з гасіння пожежі**

3) Після досягнення температурних показників до 600–800 °C здійснюється подача дрібнорозпиленого струменя води під високим тиском (не менше 1 МПа) від ствола-пробійника впродовж 10–20 секунд до моменту пониження середніх температурних показників в приміщенні до межі 150–100 °C.

4) Після пониження загальної температури в приміщенні ланка газодимозахисної служби здійснює безпосереднє гасіння з використанням ручного пожежного ствола.

За результатами експериментальних досліджень було отримано графічну залежність відображення температурних показників всередині напівпідвального приміщення внаслідок застосування ствола-пробійника та дій ланки газодимозахисної служби щодо подальшого гасіння пожежі (рис. 4).

Відповідно до рис. 4 можна стверджувати, що максимальна температура в приміщенні впродовж вільного розвитку горіння (7 хвилин) зросла практично до 800 °C. Такі температурні показники унеможливають роботу ланок газодимозахисної служби та сприяють безпосередньому поширенню горіння на верхні поверхи. Безпосередня подача дрібнорозпиленої води (рис. 4, сектор № 1) під високим тиском (1–1,5 МПа) з використанням ствола-пробійника впродовж 2,6 хвилин (рис. 4, сектор № 2) дала змогу знизити середню температуру в приміщенні на 350 °C. Варто зауважити, що при цьому був відсутній вільний доступ кисню в приміщення.

Повторна подача дрібнорозпиленої води (рис. 4, сектор № 3) впродовж 2 хвилин дала змогу знизити температуру до 100 °C і створила безпечні умови для застосування ланки газодимозахисної служби, яка здійснила остаточне гасіння та повну

ліквідацію горіння.

Загальний час проведення експериментального дослідження від моменту вільного розвитку пожежі до ліквідації горіння склав приблизно 13 хвилин, а безпосередній час реагування з застосуванням стволів та ланки ГДЗС – 5,5 хвилин.

Враховуючи отриманні результати експериментальних досліджень, можемо стверджувати, що використання ствола-пробійника є доволі ефективним для зниження температури в приміщенні, зокрема в підвальних та напівпідвальних приміщеннях. Додатково не вимагається залучення особового складу в зоні дії високих температур.

**Висновки.** Відповідно до мети дослідження можна дійти таких висновків:

- використання ствола-пробійника під високим тиском дає змогу знизити середню температуру в приміщенні об'ємом 12 м<sup>3</sup> на 300–350 °C впродовж 2–3 хвилин;
- тактика використання ствола-пробійника як основного технічного засобу для гасіння пожежі в огороженні за умови високих температур, складного планування та обмеженого простору повинна стати основоположною і в подальшому замінити застарілі методи гасіння подібних пожеж.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні за 11 місяців 2024 року. URL: <https://dsns.gov.ua/upload/2/2/8/5/6/0/7/analytichna-dovidka-pro-pojeji-112024.pdf>
2. Луц В. І. Полігон для підготовки газодимозахисників до ведення оперативних дій у важких умовах. *Пожежна безпека*. 2013. № 22. С. 177–182.
3. Луц В. І., Лазаренко О. В. Гідравлічна вентиляція та антивентеляція на пожежі. *Надзвичайні*

ситуації: попередження та ліквідація. 2023. Т. 7. № 1. С. 45–55. DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.1.45.55>

4. Лушч В. І., Штангрет Н. О. Експериментальні дослідження впливу видимості на виконання робіт ланкою ГДЗС. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*. 2021. Т. 5. № 2. С. 51–57. DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2021.5.2-51-57>

5. M. Samy El Saadany, A. Sharaf Eldin, M. G. Higazy, M. A. El Samanody, M. F. Abd Rabbo. Fire suppression analysis for industrial buildings using water mist. *Engineering research journal*. 2021. Vol. 1. No. 48. P. 46–58. DOI: <https://doi.org/10.21608/erjsh.2021.227962>

6. Shruti Ghanekar, Rajavasanth Rajasegar. In-situ measurement of water-vapor in fire environments using a real-time tunable diode laser-based system. *Fire Safety Journal*. 2021. Vol. 120. 103114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103114>

7. Mahmud, H. M. I., Thorpe, G., Moinuddin, K. A. M. The behavior of water-mists in hot air induced by a room fire: effect of the initial size of droplets. *Fire*. 2022. № 5. P. 116. DOI: <https://doi.org/10.3390/fire5040116>

8. Zhu, P., Xu, Z., Zhang, J., Shao, Q., Chen, W., Ai, H. Numerical study on fire suppression by water mist in aircraft cargo compartments: effects of spray pattern, droplet size, and nozzle layout. *Fire*. 2024. № 7. P. 481. DOI: <https://doi.org/10.3390/fire7120481>

9. Norbert Tuśnio, Paweł Wolny. New techniques and a new approach to the effective extinguishing of fully developed fires in enclosed spaces. *Internal security*. 2016. Vol. 8, 1. P. 213–224. DOI: <http://dx.doi.org/10.5604/20805268.1231596>

10. Gałaj, J., Wójcik, B. Assessment of the Impact of Extinguishing with a Low-Pressure Fog Lance on a Fire Environment. *Sustainability*. 2022. № 14. P. 6731. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14116731>

11. John W. Regan. Heat Release Rate Characterization of NFPA 1403 Compliant Training Fuels. *Fire Technology*. 2021. Vol. 57. P. 1847–1867. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10694-021-01092-3>

12. Armatec. URL: <https://armatec.pl/produkt/lanca-fognail-atak-obrona>

## REFERENCES

1. DSNS Ukrainy. (2024). *Analitichna dovidka pro pozhezhi ta yikh naslidky v Ukraini za 11 misyatsiv 2024 roku* [Analytical report on fires and their consequences in Ukraine for 11 months of 2024]. Retrieved from <https://dsns.gov.ua/upload/2/2/8/5/6/0/7/analitichna-dovidka-pro-pojeji-112024.pdf> [in Ukrainian].

2. Lushch, V. I. (2013). *Polihon dlia pidhotovky hazodymozakhysnykiv do vedennia operatyvnykh dii u vazhkykh umovakh* [Training ground for gas and smoke

protection units for operations in difficult conditions]. *Pozhezhna bezpeka – Fire Safety*, (22), 177–182. [in Ukrainian].

3. Lushch, V. I., & Lazarenko, O. V. (2023). *Hidravlichna ventyliatsiia ta antyventyliatsiia na pozhezhi* [Hydraulic ventilation and anti-ventilation during fire]. *Nadzvychni sytuatsii: poperedzhennia ta likvidatsiia – Emergencies: Prevention and Elimination*, 7 (1), 45–55. <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.1.45.55> [in Ukrainian].

4. Lushch, V. I., & Shtanhret, N. O. (2021). *Eksperymentalni doslidzhennia vplyvu vydymosti na vykonannia robot lankoiu HDZS* [Experimental research on the impact of visibility on the performance of GDZS unit tasks]. *Nadzvychni sytuatsii: poperedzhennia ta likvidatsiia – Emergencies: Prevention and Elimination*, 5(2), 51–57. <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2021.5.2-51-57> [in Ukrainian].

5. ElSaadany, M. S., SharafEldin, A., Higazy, M. G., El Samanody, M. A., & Abd Rabbo, M. F. (2021). Fire suppression analysis for industrial buildings using water mist. *Engineering Research Journal*, 1(48), 46–58. <https://doi.org/10.21608/erjsh.2021.227962>

6. Ghanekar, S., & Rajasegar, R. (2021). In-situ measurement of water-vapor in fire environments using a real-time tunable diode laser-based system. *Fire Safety Journal*, 120, 103114. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103114>

7. Mahmud, H. M. I., Thorpe, G., & Moinuddin, K. A. M. (2022). The behaviour of water-mists in hot air induced by a room fire: Effect of the initial size of droplets. *Fire*, 5(4), 116. <https://doi.org/10.3390/fire5040116>

8. Zhu, P., Xu, Z., Zhang, J., Shao, Q., Chen, W., & Ai, H. (2024). Numerical study on fire suppression by water mist in aircraft cargo compartments: Effects of spray pattern, droplet size, and nozzle layout. *Fire*, 7(12), 481. <https://doi.org/10.3390/fire7120481>

9. Tuśnio, N., & Wolny, P. (2016). New techniques and a new approach to the effective extinguishing of fully developed fires in enclosed spaces. *Internal Security*, 8(1), 213–224. <http://dx.doi.org/10.5604/20805268.1231596>

10. Gałaj, J., & Wójcik, B. (2022). Assessment of the impact of extinguishing with a low-pressure fog lance on a fire environment. *Sustainability*, 14(11), 6731. <https://doi.org/10.3390/su14116731>

11. Regan, J. W. (2021). Heat release rate characterization of NFPA 1403 compliant training fuels. *Fire Technology*, 57, 1847–1867. <https://doi.org/10.1007/s10694-021-01092-3>

12. Armatec. (n.d.). *Lanca Fognail – Atak / Obrona* [Fognail lance – Attack / Defense]. Retrieved from <https://armatec.pl/produkt/lanca-fognail-atak-obrona>

© О. В. Лазаренко, Р. Ю. Сукач, Я. Б. Великий, Б. Я. Бойчук

**Науково-методична стаття**

Надійшла до редакції 25.04.2025

Прийнято до публікації 04.06.2025