

DOI <https://doi.org/10.32447/20786662.48.2026.11>

В.-П. О. Пархоменко, Б. М. Михалічко, О. І. Лавренюк
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,
м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7431-4801> – В.-П. О. Пархоменко

<https://orcid.org/0000-0002-5583-9992> – Б. М. Михалічко

<https://orcid.org/0000-0003-4509-2896> – О. І. Лавренюк

✉ vpo2018@gmail.com

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ КЛАСІВ В ТА F АЕРОЗОЛЯМИ ВОДНИХ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН

Вступ. Технологічний прогрес людства супроводжується активним впровадженням нових матеріалів, які характеризуються підвищеною пожежною небезпекою і високими температурами горіння. У зв'язку з цим особливо актуальним є підвищення ефективності засобів пожежогасіння. Найпоширенішою вогнегасною речовиною залишається вода. Проте вона має низку недоліків: високий поверхневий натяг, низьку в'язкість, недостатню змочувальну. Це негативно впливає на ефективність гасіння пожеж, а зокрема пожеж класів В та F, призводить до збільшення витрат вогнегасної речовини, часу ліквідації пожежі та теплового навантаження на особовий склад пожежно-рятувальних підрозділів. З метою усунення цих недоліків дедалі ширше застосовують водні вогнегасні речовини, модифіковані різними добавками. Розробка нових водних вогнегасних речовин і постійне удосконалення їх рецептур викликає необхідність об'єктивної оцінки їх вогнегасної ефективності в реальних умовах застосування. У зв'язку з цим існуючі методики випробувань водних вогнегасних речовин потребують удосконалення.

Мета. Удосконалити методику проведення експериментальних досліджень ефективності модифікованих водних вогнегасних речовин для гасіння пожеж класів В та F.

Методи. Аналітичний метод досліджень, який базується на обробці інформації щодо методик проведення експериментальних досліджень з визначення ефективності гасіння пожеж водними вогнегасними речовинами.

Результати. Проаналізовано існуючі методики визначення ефективності гасіння модельних вогнищ класів В та F. Розроблено установку для аерозольного подавання ВВР, що складається з ємності (резервуару) для ВВР, насадки-розприскувача для подачі аерозолю ВВР, композитного балону з повітрям ємністю 6,8 л, оснащеного манометром. Сформульовано детальні алгоритми підготовки, проведення вогневих випробувань та оформлення протоколів для обох класів пожеж з урахуванням вимог безпеки. Визначено основне обладнання для експериментів: металеві дека (циліндричні та прямокутні), нагрівальні пристрої, засоби фіксації (відео, секундомір), захисний одяг. Запропоновано співвідношення води та пального (1:2), тривалість попереднього горіння (60 с для класу В, 120 с для класу F), параметри подачі аерозолю. Розроблено критерії успішного гасіння (повне гасіння полум'я, відсутність повторного займання протягом 20 хв.). Показано переваги аерозольного способу подачі порівняно з компактними струменями.

Висновки. Розроблена установка та методика дають змогу об'єктивно оцінювати ефективність нових модифікованих водних вогнегасних речовин для гасіння пожеж класів В та F. Запропонований підхід є актуальним як у мирний час, так і в умовах воєнного стану, сприяє підвищенню безпеки рятувальників, скороченню витрат вогнегасної речовини та часу ліквідації пожеж. Подальші дослідження передбачають синтез нових водних вогнегасних речовин та їх практичне вогневе випробування за розробленою методикою.

Ключові слова: пожежі класу В та F, гасіння пожеж, водні вогнегасні речовини, вогнегасна ефективність.

IMPROVING FIREFIGHTING TECHNIQUES FOR CLASSES B AND F FIRES BY AQUEOUS FIRE EXTINGUISHING AGENTS IN AEROSOL FORM

Introduction. Technological progress has been accompanied by the widespread adoption of new materials characterized by increased fire hazard and high combustion temperatures. In this context, improving the effectiveness of fire extinguishing agents is particularly important. Water remains the most common fire extinguishing agent. However, it has a number of drawbacks: high surface tension, low viscosity, and insufficient wetting ability. This negatively affects the effectiveness of fire suppression, particularly for Class B and F fires, leading to increased consumption of the extinguishing agent, longer fire suppression times, and a greater thermal load on fire and rescue personnel. To address these shortcomings, water-based fire extinguishing agents modified with various additives are increasingly being used. The development of new water-based fire extinguishing agents and the continuous improvement of their formulations necessitate an objective assessment of their fire-extinguishing effectiveness under real-world conditions. In this regard, existing testing methods for aqueous fire extinguishing agents require improvement.

Purpose. The aim of this study is to improve the methodology for conducting experimental research to determine the fire-extinguishing effectiveness of modified aqueous fire-extinguishing agents for extinguishing Class B and F fires.

Methods. An analytical research method was employed, based on the analysis of information regarding experimental research methodologies for determining the effectiveness of fire suppression using water-based fire extinguishing agents.

Results. Existing methods for determining the effectiveness of extinguishing Class B and F model fires have been analyzed. A setup for the aerosol application of fire-retardant agents has been developed, consisting of a portable fire extinguisher (5 L), a compressed air cylinder (6.8 L), and a spray nozzle. Detailed algorithms for preparing, conducting fire tests, and documenting test reports for both fire classes have been formulated, taking safety requirements into account. The primary equipment for the experiments has been identified: metal trays (cylindrical and rectangular), heating devices, recording equipment (video, stopwatch), and protective clothing. A water-to-fuel ratio (1:2), the duration of pre-combustion (60 s for Class B, 120 s for Class F), and aerosol delivery parameters are proposed. Criteria for successful extinguishment were developed (complete extinguishment of the flame, no re-ignition within 20 minutes). The advantages of the aerosol delivery method compared to compact jets were demonstrated.

Conclusion. The developed apparatus and methodology make it possible to objectively evaluate the effectiveness of new modified aqueous fire extinguishing agents for extinguishing Class B and F fires. The proposed approach is relevant both in peacetime and under martial law, contributing to increased safety for rescue personnel, reduced consumption of fire extinguishing agents, and shorter fire suppression times. Further research will involve the synthesis of new aqueous fire-extinguishing agents and their practical fire testing using the developed methodology.

Key words: class B and F fires, fire extinguishing, aqueous fire-extinguishing agents, fire extinguishing effectiveness.

Вступ. Технологічний прогрес людства супроводжується активним впровадженням нових матеріалів, які характеризуються підвищеною пожежною небезпекою і високими температурами горіння. Тому є нагальна потреба в розробці нових ефективних вогнегасних речовин та засобів, які б давали змогу дієво ліквідувати пожежі, зумовлені горінням різних класів речовин, мінімізуючи при цьому теплове навантаження на особовий склад пожежно-рятувальних підрозділів і забезпечуючи швидке охолодження осередку горіння. Серед великої кількості вогнегасних речовин важливе місце посідають водні вогнегасні речовини (ВВР), які завдяки своїм унікальним фізико-хімічним властивостям та доволі низькій вартості, мають неабияку перспективу використання в практиці пожежогасіння.

ВВР є найбільш доступними, екологічно безпечними та універсальними засобами пожежогасіння в основному завдяки значній розчинності деяких неорганічних солей у воді та їх інгібувальному впливу на полум'я, а також завдяки високій теплоємності самої води та її здатності поглинати теплову енергію в процесі пароутворення. Використання ВВР в пожежогасінні забезпечує зниження температури горіння та запобігає повторному займанню горючих речовин, ВВР можна застосовувати на значних площах без надмірних матеріальних витрат. Тому ВВР є основними вогнегасними засобами для особового складу оперативно-рятувальної служби цивільного захисту [1–4].

Необхідність удосконалення ВВР зумовлена можливістю суттєвого підвищення їх вогнегасних

характеристик шляхом введення спеціальних хімічних добавок, які зменшують поверхневий натяг, уповільнюють випаровування та покращують змочувальну здатність. Такі модифіковані розчини демонструють вищу проникну здатність у пористі матеріали, ефективність тепловідведення та стабільність у широкому діапазоні температур, що дає змогу гасити горіння різних класів горючих речовин з мінімальною витратою ВВР.

Отже, подальша розробка нових ВВР є не лише актуальною, а й економічно виправданою, оскільки гарантує підвищення безпеки рятувальників, скорочення часу ліквідації пожеж і адаптацію до викликів сучасності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні дослідження [5–8] свідчать про значну перспективність використання ВВР з додаванням добре розчинних у воді неорганічних солей. Найчастіше використовують такі органічні солі як калій хлорид (KCl), натрій хлорид (NaCl), полігексаметиленгуанідин (ПГМГ), амоній фосфат ((NH₄)₃PO₄) та амоній сульфат ((NH₄)₂SO₄). Використання в пожежогасінні таких ВВР забезпечує зниження витрати ВВР до 20 %, запобігає повторному займанню горючих речовин, скорочує час гасіння пожеж до 40 %, знижує температуру осередків горіння та рівень токсичності продуктів горіння та проявляє адаптивність до різних умов гасіння пожеж.

Додавання до води аніонних, неіоногенних, амфотерних чи цвіттер-іонних поверхнево-активних речовин (ПАР) у концентраціях 0,1–5 % знижує її поверхневий натяг до 15–25 мН/м, скорочуючи час гасіння на 20–50 % і витрату до 1/3. Використання ПАР забезпечує ефективне гасіння пожеж класів А та В, пожеж в екосистемах і пожеж за участю літій-іонних елементів електроживлення. Відомі також ВВР, які містять гелеутворювальні (Ecofloc A-07), флуорвмісні AFFF (Aqueous Film Forming Foam) та антикорозійні добавки [9–10]. Аналіз літератури свідчить про значну вогнегасну ефективність розчинених у воді неорганічних солей *d*-металів (CuCl₂), які за умов використання технологій аерозольного пожежогасіння здатні ефективно інгібувати полум'я пожеж класу В. Багато пишуть про солі купруму, але на практиці їх не використовують.

Значний вплив на ефективність гасіння пожеж різних класів має спосіб подачі ВВР в полум'я. В роботах [11–13] описано ефективність подачі струменя ВВР у вигляді аерозолу. Причому час гасіння пожеж безпосередньо залежить від типу насадки розприскувача та діаметра крапель аерозолу. Встановлено, що при зменшенні розміру крапель аерозолу ВВР від 50 до 400 мкм та

застосування форсунок із завихренням ефективність гасіння займань суттєво підвищується.

Визначення оптимальних умов та параметрів використання вогнегасних аерозолів для гасіння горіння легкозаймистих та горючих рідин на відкритому просторі за допомогою стаціонарних установок пожежогасіння висвітлено в роботі [14]. В цій роботі представлені результати вогневих випробувань з гасіння модельного вогнища 55 В за допомогою генератора вогнегасних аерозолів (ГВА). У дослідженні також проаналізовано динаміку змін площі покриття аерозолем та густоти крапель аерозолу в різних зонах конуса потоку. Показано, що густина крапель аерозолу в усіх зонах конуса перевищує значення необхідної густоти для ефективного вогнегасіння. Розроблено методику визначення параметрів ефективного використання аерозольних систем пожежогасіння на відкритих просторах. Встановлено, що успішне гасіння модельного вогнища досягається шляхом подачі аерозолу з ГВА зарядом 2800–2880 г з висоти 4,5 метра під прямим кутом. Було визначено оптимальну швидкість подачі аерозолу (160 г/с) та густина крапель аерозолу в потоці (140–180 г/м³). Тривалість подачі аерозолу становить 18–20 секунд, час утримання аерозольної хмари – 50–60 секунд, а кінцева концентрація аерозолу в хмарі – 97 г/м³.

Метою роботи є розроблення методики проведення експериментальних досліджень щодо визначення ефективності гасіння пожеж класів В та F водними вогнегасними речовинами з використанням технологій аерозольного пожежогасіння.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні задачі:

- проаналізувати існуючі вітчизняні та міжнародні методики для дослідження ефективності подачі ВВР;
- визначити та обґрунтувати необхідність обладнання для проведення експериментальних досліджень;
- розробити нову методику проведення експериментального дослідження.

Методи дослідження. Аналітичний метод досліджень, який базується на обробці інформації щодо методик проведення експериментальних досліджень з визначення ефективності гасіння пожеж водними вогнегасними речовинами.

Результати дослідження. Одним із суттєвих недоліків води як вогнегасного засобу є її низька в'язкість, високе значення поверхневого натягу та недостатня змочуваність поверхонь більшості твердих горючих матеріалів. Унаслідок низької адгезії вода погано утримується на поверхні

горючого матеріалу, швидко стікає з неї, що суттєво знижує ефективність охолодження та ізолювання зони горіння [15–17].

Подолання зазначених обмежень досягається шляхом додавання до води невеликої кількості спеціальних ПАР, які істотно підвищують ефективність ВВР.

До основних механізмів припинення горіння належать:

- перешкоджання надходженню окисника (кисню повітря) до осередку горіння;
- зниження концентрації кисню в повітрі шляхом розведення його негорючими газоподібними речовинами;
- охолодження зони горіння до температури, нижчої за температуру займання;
- зменшення концентрації горючих речовин шляхом їх розведення негорючими компонентами;
- інгібування хімічних реакцій в полум'ї;
- механічний зрив полум'я потужним струменем вогнегасної речовини.

Реалізація цих механізмів за допомогою вогнегасних речовин, що подаються технічними засобами пожежогасіння, забезпечує можливість припинення процесу горіння. Вибір конкретних способів гасіння пожеж, типу вогнегасної речовини, а також способів і засобів її доставки в осередок горіння здійснюється в кожному конкретному випадку з урахуванням масштабу пожежі, фізико-хімічних особливостей горючих матеріалів і стадії розвитку пожежі [18–21]. Тому розробка методики проведення досліджень є надзвичайно важливим аспектом проведення експериментальних досліджень, який буде впливати на ефективність ВВР.

При огляді літературних джерел та різноманітних інтернет-ресурсів зустрічається багато нормативних джерел, де описано методику випробування вогнегасних речовин та їх ефективності. Сферою нашого дослідження є огляд літературних джерел щодо випробування та ефективності вогнегасних речовин на водній основі для гасіння пожеж різних класів.

Так, нормативні документи описані в [22, 23] регламентують методику проведення експериментальних досліджень для визначення величини зниження поверхневого натягу ВВР, підвищення проникнення та вогнегасної ефективності ВВР із ПАР для гасіння пожеж класів А та В.

Для здійснення експериментального дослідження для гасіння займання класу В використовують металеве деко квадратної форми розміром 3,05 м × 6,10 м (оригінальна метрична система 10 футів × 20 футів) і глибиною 203,2 мм

(8 дюймів). Піддон заповнюється водою, глибина шару води становить 101,6 мм (4 дюйми). Як горючу речовину використовують *n*-гептан, глибина шару *n*-гептану – 50,8 мм (2 дюйми), що становить 246,06 літрів (65 галонів). Перед поданням ВВР модельне вогнище запалюють та очікують 60 секунд для нагрівання легкозаймистої рідини (ЛЗР). ВВР з ПАР об'ємом 9,5 л знаходиться у переносному водяному вогнегаснику та подається в осередок горіння за допомогою насадки-розпилювача при тиску 0,6 bar, із середньою витратою 37,9 л/хв, при цьому фіксується час гасіння.

Схожа методика випробування ВВР для гасіння пожеж різних класів представлена в документах [24–26], де, на відміну від вищевикладеної методики, використовують не лише прямокутні, але і циліндричні деко певних розмірів залежно від виду модельного вогнища. Також є відмінність у співвідношенні ЛЗР до води. В якості горючого навантаження використовують *n*-гептан у співвідношенні 2:1 до води. Цей нормативний документ встановлює межі мінімального часу подачі ВВР в осередок горіння залежно від типу модельного вогнища, які становлять від 8 до 15 с. Кількість вогнегасної речовини, яка знаходиться у вогнегаснику, повинна бути від 2 до 9 літрів залежно від типу вогнегасника.

В свою чергу в цій міжнародній документації регламентується випробування ВВР для гасіння займань класу К – займання кухонних олій та природних жирів згідно американської класифікації пожеж. Цей клас відповідає європейській класифікації пожеж класу F згідно з ДСТУ EN 2:2014. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT) [27].

Згідно з методикою дослідження використовують комерційні фритюрниці, типові для використання у ресторанному бізнесі, які мають різний об'єм (понад 5 літрів залежно від моделі фритюрниці). Для проведення експерименту рослинну олію запалюють та витримують час вільного горіння впродовж 60 с до температури приблизно 360–380 °С. ВВР, яка знаходиться у вогнегаснику, подають через насадку-розпилювач для формування дрібнодисперсного струменя. Під час досліду засікають час, за який буде здійснено гасіння, при цьому звертають увагу на розбрикування киплячої олії, та після гасіння витримують олію протягом 20 хв для перевірки можливості виливання олії.

Крім міжнародних європейських та американських стандартів також зустрічаються локальні, наприклад прийнятий у Великій Британії [28], що регламентує методику проведення досліджень

гасіння пожеж класів А, В, С, D та F. Методика проведення випробувань гасіння займань класу В є аналогічною з попередніми методиками [22–26], різниця полягає лише в розмірах циліндричних деко, які використовуються для наповнення їх ЛЗР та водою, а саме понад 920 мм.

Що стосується вітчизняних нормативно-правових актів, які б регламентували методику проведення експериментальних досліджень для гасіння пожеж класів В та F, існує лише один акт [29]. Відповідно до вимог цього документу модельні вогнища пожежі класу В мають виготовлятися у вигляді набору циліндричних дек, зварених зі сталевих листів з внутрішнім діаметром від 920 до 1670 мм з висотою стінки 150 мм та від 1 890 до 3 000 мм з висотою стінки 200 мм. В деко потрібно заливати воду, а на шар води – шар пального від 21 до 233 літрів в такій пропорції: 1/3 води, 2/3 пального. Експеримент можна проводити як на свіжому повітрі, так і в приміщенні, але тоді повинні бути дотримані вимоги для розмірів приміщення та мінімальної площі майданчика для вогневих випробувань. Також однією з умов є те, що для кожного досліду слід використовувати свіже палне та воду. В подальшому методика проведення дослідження є схожою з представленими вище.

Для гасіння займань класу F використовують фритюрницю та металеві деко, розміри яких залежать від типу модельного вогнища. Деко модельного вогнища пожежі 5F, виготовлене зі сталевих листів завтовшки $2,0 \pm 0,25$ мм та заввишки 170 ± 10 мм, встановлене на сталевій опорній конструкції. Дека модельних вогнищ пожежі 25F, 40F та 75F, виготовлені зі сталевих листів завтовшки $2,0 \pm 0,25$ мм та заввишки 250 ± 10 мм.

Для спостереження за температурою олії встановлюють термопару на глибині 25 ± 5 мм від поверхні олії (перед її нагріванням) з таким розрахунком, щоб спай термопари знаходився на відстані не менше ніж 75 мм від стінок дека модельного вогнища пожежі. Це дає змогу реєструвати реальну температуру самозаймання олії при її нагріванні. Палаюча речовина не повинна викидатися за межі вогнища. Полум'я має бути погашено, повторного займання олії в модельному вогнищі пожежі не повинно бути. Впродовж 20 хв після повного розрядження вогнегасника не повинно відбуватися переливання горючої речовини через бортик. Вогнегасну ефективність ВВР визначають за часом гасіння полум'я модельного вогнища.

Провівши аналіз закордонних та вітчизняних методик для визначення вогнегасної ефективності ВВР для гасіння займань класів В та F можна

виділити основне обладнання для проведення експериментальних вогневих досліджень:

клас В:

- захисний одяг;
- металеві деко для наповнення водою та ЛЗР;
- джерело займання;
- установка для подачі ВВР під постійним тиском в осередок горіння;
- вода та ЛЗР, в якості горючого навантаження;
- засоби фото- та відеофіксації експерименту;
- секундомір.

клас F:

- захисний одяг;
- нагрівальний пристрій;
- металеве деко або фритюрниця;
- рослинна олія;
- установка для подачі ВВР під постійним тиском в осередок горіння;
- засоби фото- та відеофіксації експерименту;
- секундомір.

Для проведення вогневих випробувань оператор повинен бути одягнений у захисний одяг для забезпечення його від можливих небезпек, що будуть спричинені дією теплового та вогневого впливу ЛЗР. Комплект захисного одягу повинен складатись із куртки, штанів, рукавиць та каски із забралом для створення безпечних умов для оператора.

Відповідно до існуючої методики [29] в якості дека слід використовувати циліндричну ємність заповнену на 2/3 ЛЗР та на 1/3 водою. Настил під деко має бути виготовлений із твердого негорючого матеріалу і мати рівну площину.

Джерело займання може бути довільним, але повинно відповідати безпековій складовій оператора, для уникнення можливих негативних наслідків.

Нагрівальні пристрої для підігріву рослинної олії можуть бути газовими або електричними залежно від джерела живлення.

Замість класичного вогнегасника в роботі запропоновано установку (рис. 1) для аерозольного вогнегасіння, що складається з ємності для ВВР, насадки-розприскувача для подачі аерозолу ВВР, композитного балону з повітрям ємністю 6,8 л, оснащеного манометром. При відкритті запірної вентиляції балона повітря, під постійним тиском, подається в ємність з ВВР де виштовхує її через насадку-розприскувач в осередок займання.

Для проведення експериментальних досліджень в якості ЛЗР використовували бензин марок А-92, А-95 та А-100 Євро-5 Е5 [30] та дизельне паливо [31]. Для ВВР визначали середній час гасіння (Δt , с) та середній об'єм ВВР витраченої на гасіння (V , мл) порівняно із водогінною водою.

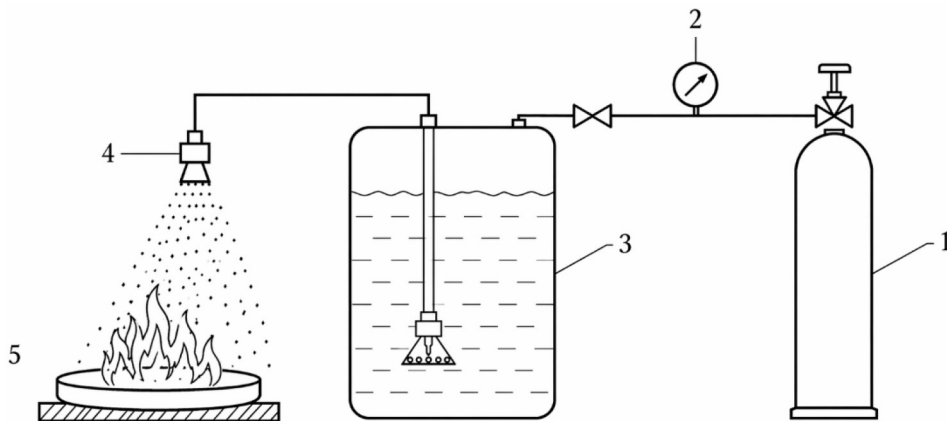


Рис. 1. Схема установки для проведення вогнегасних випробувань ВВР:

1 – балон із стиснутим повітрям, 2 – манометр, 3 – ємність для ВВР, 4 – насадка-розприскувач, 5 – деко з горючою рідиною (вогнище класу «В»)

В якості засобів фото- та відеофіксації експерименту використовували мобільний телефон закріплений на стаціонарному тримачі на безпечній відстані, приблизно 2 м від деко.

Для фіксації часу слід використовувати електронний чи механічний секундомір із точністю вимірювання не більше 1 с.

Алгоритм дій, на якому базується методика проведення експериментального дослідження для визначення ефективності гасіння пожеж класу В ВВР, є наступним.

1. Проводяться підготовчі заходи для проведення дослід: вибір захисного одягу, вибір модельного вогнища, підбір ЛЗР необхідного об'єму для відповідного типу модельного вогнища, складання установки для аерозольного пожежогасіння.

2. Підбір хімічних речовин та приготування ВВР.

3. Підготовка місця проведення вогневих випробувань: вибір місця проведення (приміщення або відкрита місцевість), температура довкілля має становити від 0 °С до 30 °С; швидкість вітру повинна бути не більше ніж 3 м/с; в деко потрібно заливати воду, а на шар води – шар пального в пропорції: 1/3 води, 2/3 пального, при чому загальний об'єм рідини повинен відповідати типу модельного вогнища; підготовка засобів фото- та відеофіксації.

4. Проведення вогневих випробувань: оператор одягнений в захисний одяг підпалює ЛЗР джерелом запалювання і витримує час вільного горіння 1 хв (це відповідає моменту, коли горіння модельного вогнища можна вважати таким, що встановилося і не пізніше ніж через 10 с приступити до його гасіння), засікаємо час початку гасіння. Далі оператор повинен привести установку для аерозольного гасіння у дію і спрямувати струмінь на модельне вогнище пожежі. Оператор фіксує

кінцевий час, коли модельне вогнище пожежі буде погашено або коли установка буде повністю розряджена. Дослід вважався успішним, коли полум'я буде повністю погашене. Для забезпечення відтворюваності та достовірності результатів проводять щонайменше 3 випробування для кожного варіанту умов експерименту.

5. Оформлення документації: оператор оформляє протокол проведення дослід, де вказує: дату проведення випробувань, умови, місце проведення випробувань, замовника випробувань, інформацію про об'єкт випробувань, методику випробувань, характеристики вимірювальних приладів та результати випробувань.

Алгоритм дій на якій базується методика проведення експериментального дослідження для визначення ефективності ВВР для гасіння пожеж класу F є наступним.

1. Проводяться підготовчі заходи для проведення дослід: вибір захисного одягу, вибір модельного вогнища, підбір необхідного об'єму рослинної олії для відповідного типу модельного вогнища, складання установки для аерозольного гасіння.

2. Підбір хімічних речовин та приготування ВВР.

3. Підготовка місця проведення вогневих випробувань: вибір місця проведення (приміщення або відкрита місцевість), температура довкілля має становити від 0 °С до 30 °С; швидкість вітру повинна бути не більше ніж 3 м/с; в деко або фритюрницю потрібно попередньо встановити термопару та налити необхідний об'єм рослинної олії, відповідно до типу модельного вогнища; підготовка засобів фото- та відеофіксації.

4. Проведення вогневих випробувань: оператор одягнений в захисний одяг вмикає нагрівальний пристрій, до моменту samozагоряння олії без стороннього втручання, samozагоряння має відбутися у проміжку часу не більше ніж 3,5 год від початку

нагрівання. Далі оператор має відімкнути джерело нагрівання і витримати час вільного горіння олії протягом 120 с. Після цього оператор повинен привести установку для аерозольного гасіння у дію і спрямувати струмінь на модельне вогнище пожежі з безпечної відстані тільки в одному напрямку або з одного боку дека модельного вогнища пожежі. Оператор фіксує кінцевий час, коли модельне вогнище пожежі буде погашено або коли установка буде повністю розряджена. Дослід вважається успішним, коли полум'я буде повністю погашене.

5. Оформлення документації: оператор оформляє протокол проведення досліду, де вказує дату проведення випробувань, умови, місце проведення випробувань, замовника випробувань, інформацію про об'єкт випробувань, методику випробувань, характеристики вимірювальних приладів та результати випробувань.

Висновки. У роботі обґрунтовано актуальність розроблення нових ВВР та способів їх подачі для ліквідації пожеж класів В та F, що набуває особливого значення в умовах підвищених ризиків, зокрема під час дії воєнного стану. Створено експериментальну установку та удосконалено методику аерозольного гасіння пожеж, яка забезпечує контрольовані умови проведення досліджень та відтворюваність результатів. Запропонована методика дає змогу здійснювати швидко первинну оцінку вогнегасної ефективності ВВР у вигляді аерозолі. Її застосування забезпечує раціоналізацію процесу відбору перспективних композицій за принципом «експрес-скринінг → відбір → стандартизовані випробування», що суттєво скорочує витрати часу та ресурсів на початкових етапах досліджень. Це створює підґрунтя для подальших досліджень, спрямованих на визначення ефективності нових ВВР для гасіння осередків пожеж класів В та F, оптимізацію параметрів їх подачі та впровадження нових технологічних рішень у практику пожежогасіння.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Карвацька М. Я., Пастухов П. В., Петровський В. Л., Лавренюк О. І., Михалічко Б. М. Вогнегасні випробування концентрованого водного розчину ферум(III) сульфату. *Пожежна безпека: зб. наук. праць*, 2022. №40. С. 55–60. URL: <https://doi.org/10.32447/20786662.40.2022.06>
2. Mykhalichko B., Lavrenyuk H., Mykhalichko O. New water-based fire extinguishant: Elaboration, bench-scale tests, and flame extinguishment efficiency determination by cupric chloride aqueous solutions. *Fire Safety Journal*, 2019. 105. 188–195. URL: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.03.005>
3. Карвацька М. Я., Лавренюк О. І., Михалічко Б. М. Сучасний стан і напрями вдосконалення водних вогнегасних речовин. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*, 2023. № 1 (15) С. 92–100. URL: [https://doi.org/10.33269/nvcz.2023.1\(15\).92-100](https://doi.org/10.33269/nvcz.2023.1(15).92-100)
4. Anatolii Kodrik, Oleksandr Titenko, Sergiy Zhartovskyi, Andriy Borisov, Andriy Shvydenko Theoretical Prerequisites for Creating a Fire-Extinguishing Solution Based on Water-Absorbing Polymer Ecoflocf-07 for Extinguishing Fires in Ecosystems. *Key Engineering Materials*, 2022. Volume 927. P. 87–104. URL: <https://doi.org/10.4028/p-647f1v>
5. Дадашов Ільгар Фірдосі огли Розвиток наукових основ гасіння горючих рідин твердими пористими матеріалами та гелеутворюючими системами: дис. на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук: 21.06.02. Харків, 2019. 391 с.
6. Магльована Т.В. Фізико-хімічні властивості водних вогнегасних речовин на основі полігексаметиленгуанідину. *Пожежна безпека: теорія і практика: зб. наук. праць*, 2014. № 17. С. 67–72.
7. Mark Vuozzo Fire inhibitor formulation. Patent US9920250B. USA, 2018.
8. Скоробагатько Т. М., Антонов А. В., Боровиков В. О. Особливості процесів горіння дизельного біопалива, його сумішей з нафтовим дизельним паливом та процесів взаємодії вогнегасних речовин з полум'ям під час їх гасіння. *Інтернаука: Міжнародний науковий журнал*. 2 т. Розділ Технічні науки, 2019. № 11 (73). С. 52-63. URL: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2019-11>
9. Стилик І. Г., Кодрик А. І., Борисов А. В., Тітенко О. М., Куценко М. А. Щодо можливості використання розчинів на основі сополімерів акриламідів для створення загороджувальних смуг під час пожеж в екосистемах. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*, 2024. № 2 (18) С. 75–81. URL: [https://doi.org/10.33269/nvcz.2024.2\(18\).75-81](https://doi.org/10.33269/nvcz.2024.2(18).75-81)
10. Maglyovana T., Nyzhnyk T., Stas S., Kolesnikov D., Strikalenko T. Improving the efficiency of water fire extinguishing systems operation by using guanidine polymers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020. 1/10 (103). P. 20–25. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.196881>
11. Hengrui Liu, Cheng Wang, Ivan Miguel De Cachinho Cordeiro, Anthony Chun Yin Yuen, Qian Chen, Qing Nian Chan, Sanghoon Kook, Guan Heng Yeoh, Guan Heng Yeoh Critical assessment on operating water droplet sizes for fire sprinkler and water mist systems. *Journal of building engineering*. Vol. 28. 2020. pp 100999. URL: <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2019.100999>
12. Pei Zhu, Ziheng Xu, Jianguo Zhang, Quan Shao, Weiwang Chen, Hongzhou Ai Numerical Study on Fire Suppression by Water Mist in Aircraft Cargo Compartments: Effects of Spray Pattern, Droplet Size, and Nozzle Layout. *Fire*. 2024. Vol. 7, Iss: 12, pp. 481–481. URL: <https://doi.org/10.3390/fire7120481>
13. Vilfayeau S., Myers T., Marshall A., Trouvé A. Large eddy simulation of suppression of turbulent line

fires by base-injected water mist. *Proceedings of the Combustion Institute*. Volume 36, Issue 2, 2017, Pages 3287–3295. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proci.2016.06.058>

14. Balanyuk V., Myroshkin V., Kopystynsky Y., Garasimiuk O., Girskiy O., Gyzar N. Study of Efficiency Parameters for Using Fire-Extinguishing Aerosols to Suppress Flammable Liquid Fires in Open Spaces. *Key Engineering Materials*. 2025. Vol. 1020. 141–151. URL: <https://doi.org/10.4028/p-7xOPiH>

15. Jiazheng Lu, Liang Ping, Chen Baohui, Wu Chuanping, Zhou Tiannian Investigation of the Fire-Extinguishing Performance of Water Mist with Various Additives on Typical Pool Fires. *Combustion Science and Technology*. 2019. Vol. 192, Iss: 4, pp. 592–609. URL: <https://doi.org/10.1080/00102202.2019.1584798>

16. Litao Liu, Zhenmin Luo, Tao Wang, Xi Yang, Bin Su, Yang Su Inhibitory effects of water mist containing alkali metal salts on hydrogen-natural gas diffusion flames. *International Journal of Hydrogen Energy*. Volume 51, 2024, Pages 754–764. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.03.457>

17. Badhuk P., Ravikrishna R. Flame inhibition by aqueous solution of Alkali salts in methane and LPG laminar diffusion flames. *Fire Safety Journal*. Volume 130, 2022, 103586. URL: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103586>

18. Fanbao Chen, Bin Yao, Wan Shan Guo, Guoqing Zhu, Tingting Xu, Tao Deng, Zhen hua Jiang, Ziyang Wang, Min Peng, Xinyu Wang Experiment study on fire extinguishing effects of airflow-water synergistic jet. *Case Studies in Thermal Engineering*. Volume 49, 2023, 103367. URL: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103367>

19. Hao-wei Yao, You-Xin Li, Ke-feng Lv, Dong Wang, Jin-guang Zhang, Zhenyu Zhan, Zhenyu Wang, Xiaoge Wei, Heng-jie Qin Numerical Simulation Analysis of the Transformer Fire Extinguishing Process with a High-Pressure Water Mist System under Different Conditions. *Computer Modeling in Engineering & Sciences* 2023, 136(1), 733-747. URL: <https://doi.org/10.32604/cmes.2023.022155>

20. Robinet, A., Chetehouna, K. A Review of Additives for Water Mist Fire Suppression Systems. *Fire Technol*. 2024. Vol. 60, 2923-2961. URL: <https://doi.org/10.1007/s10694-024-01570-4>

21. Sravan Bokka, Srungarpu N. Achary, Anirban Chowdhury A simple and economical fire test setup for examining the fire retardancy/extinguishing ability of water additive fire-retardant materials on class A fires. *Fire and Materials*. 2023. Vol. 48 (1). URL: <https://doi.org/10.1002/fam.3169>

22. NFPA 18 Standard on Wetting Agents, 2021.

23. NFPA 18A Standard on Water Additives for Fire Control and Vapor Mitigation, 2022.

24. ISO 7165:2017 Firefighting – Portable fire extinguishers – Performance and construction

25. NFPA 10 Standard for Portable Fire Extinguishers, 2026.

26. UL 711-2018 UL Standard for Safety Rating and Fire Testing of Fire Extinguishers.

27. ДСТУ EN 2:2014 Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT).

28. BS EN 3-7:2004+A1:2007 Portable fire extinguishers – Characteristics, performance requirements and test methods.

29. ДСТУ EN 3-7:2014 Вогнегасники переносні. Частина 7. Характеристики, вимоги до робочих параметрів і методи випробувань (EN 3-7:2004+A1:2007, IDT).

30. ДСТУ 7687:2015 Бензини автомобільні Євро. Технічні умови.

31. ДСТУ 7688:2015 Паливо дизельне Євро. Технічні умови.

REFERENCES

1. Karvatska, M. Ya., Pastukhov, P. V., Petrovskii, V. L., Lavreniuk, O. I., & Mykhalichko, B. M. (2022). Vohnehasni vyprobuvannya kontsetrovanoho vodnoho rozchynu ferum(III) sul'fatu [Fire-extinguishing tests of concentrated aqueous solution of iron(III) sulfate]. *Pozhezhna bezpeka*, 40, 55–60. <https://doi.org/10.32447/20786662.40.2022.06> [in Ukrainian].

2. Mykhalichko, V., Lavrenyuk, N., & Mykhalichko, O. (2019). New water-based fire extinguishant: Elaboration, bench-scale tests, and flame extinguishment efficiency determination by cupric chloride aqueous solutions. *Fire Safety Journal*, 105, 188–195. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.03.005>

3. Karvatska, M. Ya., Lavreniuk, O. I., & Mykhalichko, B. M. (2023). Suchasnyi stan i napriamy vdoskonalennia vodnykh vohnehasnykh rehovyn [Current state and directions for improving water-based fire-extinguishing agents]. *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, 1(15), 92–100. [https://doi.org/10.33269/nvcz.2023.1\(15\).92-100](https://doi.org/10.33269/nvcz.2023.1(15).92-100) [in Ukrainian].

4. Kodrik, A., Titenko, O., Zhartovskyi, S., Borisov, A., & Shvydenko, A. (2022). Theoretical prerequisites for creating a fire-extinguishing solution based on water-absorbing polymer Ecoflocf-07 for extinguishing fires in ecosystems. *Key Engineering Materials*, 927, 87–104. <https://doi.org/10.4028/p-647f1v>

5. Dadashov, I. F. (2019). Rozvytok naukovykh osnov hasinnia horiuchykh ridyn tverdymy porystymy materialamy ta helevtoriuiuchymy systemamy [Development of scientific foundations for extinguishing flammable liquids using porous materials and gel-forming systems] (Doctoral dissertation). Kharkiv. [in Ukrainian] [in Ukrainian].

6. Mahlova, T. V. (2014). Fyzyko-khimichni vlastyvoli vodnykh vohnehasnykh rehovyn na osnovi poliheksametylenhuanidynu [Physicochemical properties of water-based fire extinguishing agents based on polyhexamethylene guanidine]. *Pozhezhna bezpeka: teoriia i praktyka*, 17, 67–72. [in Ukrainian].

7. Vuozzo, M. (2018). Fire inhibitor formulation. US Patent No. 9920250B.

8. Skorobahatko, T. M., Antonov, A. V., & Borovykov, V. O. (2019). Osoblyvosti protsesiv horinnia dyzelnoho biopalyva ta yoho sumishei [Combustion processes of diesel biofuel mixtures and interaction with extinguishing agents]. *Internauka: Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal*, 11(73), 52–63. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2019-11> [in Ukrainian].
9. Stylyk, I. H., Kodrik, A. I., Borisov, A. V., Titenko, O. M., & Kutsenko, M. A. (2024). Shchodo mozhlivosti vykorystannia rozchyniv na osnovi sopolimeriv akrylamidu [On the possibility of using acrylamide copolymer solutions]. *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, 2(18), 75–81. [https://doi.org/10.33269/nvcz.2024.2\(18\).75-81](https://doi.org/10.33269/nvcz.2024.2(18).75-81) [in Ukrainian].
10. Mahlovana, T., Nyzhnyk, T., Stas, S., Kolechnikov, D., & Strikalenko, T. (2020). Improving efficiency of water fire extinguishing systems using guanidine polymers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/10(103), 20–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.196881>
11. Liu, H., Wang, C., Cordeiro, I. M. D. C., Yuen, A. C. Y., Chen, Q., Chan, Q. N., Kook, S., & Yeoh, G. H. (2020). Critical assessment on operating water droplet sizes for fire sprinkler and water mist systems. *Journal of Building Engineering*, 28, 100999. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2019.100999>
12. 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. *Fire*, 7(12), 481. <https://doi.org/10.3390/fire7120481>
13. Vilfayeau, S., Myers, T., Marshall, A., & Trouvé, A. (2017). Large eddy simulation of suppression of turbulent line fires by water mist. *Proceedings of the Combustion Institute*, 36(2), 3287–3295. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2016.06.058>
14. Balanyuk, V., Myroshkin, V., Kopystynsky, Y., Garasimiuk, O., Girskiy, O., & Gyzar, N. (2025). Study of efficiency parameters for fire-extinguishing aerosols. *Key Engineering Materials*, 1020, 141–151. <https://doi.org/10.4028/p-7xOPiH>
15. Lu, J., Ping, L., Chen, B., Wu, C., & Zhou, T. (2019). Fire-extinguishing performance of water mist additives. *Combustion Science and Technology*, 192(4), 592–609. <https://doi.org/10.1080/00102202.2019.1584798>
16. Liu, L., Luo, Z., Wang, T., Yang, X., Su, B., & Su, Y. (2024). Inhibitory effects of water mist containing alkali metal salts. *International Journal of Hydrogen Energy*, 51, 754–764. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.03.457>
17. Badhuk, P., & Ravikrishna, R. (2022). Flame inhibition by aqueous alkali salts. *Fire Safety Journal*, 130, 103586. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103586>
18. Chen, F., Yao, B., Guo, W. S., Zhu, G., Xu, T., Deng, T., Jiang, Z., Wang, Z., Peng, M., & Wang, X. (2023). Airflow-water synergistic jet fire extinguishing. *Case Studies in Thermal Engineering*, 49, 103367. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103367>
19. Yao, H. W., Li, Y. X., Lv, K. F., Wang, D., Zhang, J. G., Zhan, Z., Wang, Z., Wei, X., & Qin, H. J. (2023). Numerical simulation of transformer fire extinguishing. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 136(1), 733–747. <https://doi.org/10.32604/cmescs.2023.022155>
20. Robinet, A., & Chetehouna, K. (2024). A review of additives for water mist fire suppression systems. *Fire Technology*, 60, 2923–2961. <https://doi.org/10.1007/s10694-024-01570-4>
21. Bokka, S., Achary, S. N., & Chowdhury, A. (2023). Fire test setup for water additive materials. *Fire and Materials*, 48(1). <https://doi.org/10.1002/fam.3169>
22. NFPA. (2021). *NFPA 18 Standard on wetting agents*.
23. NFPA. (2022). *NFPA 18A Standard on water additives for fire control and vapor mitigation*.
24. ISO. (2017). *ISO 7165: Firefighting – Portable fire extinguishers – Performance and construction*.
25. NFPA. (2026). *NFPA 10 Standard for portable fire extinguishers*.
26. Underwriters Laboratories. (2018). *UL 711 Rating and fire testing of fire extinguishers*.
27. DSTU EN 2:2014 *Classification of fires*. [in Ukrainian].
28. *BS EN 3-7:2004+A1:2007 Portable fire extinguishers*.
29. *DSTU EN 3-7:2014 Portable fire extinguishers – Characteristics and tests*. [in Ukrainian]
30. *DSTU 7687:2015 Automotive gasoline Euro*. [in Ukrainian].
31. *DSTU 7688:2015 Diesel fuel Euro. Specifications* [in Ukrainian].

© В.-П. О. Пархоменко, Б. М. Михалічко, О. І. Лавренюк

Оглядова стаття

Дата першого надходження статті до видання: 08.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 05.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026