

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-85-148>

УДК 338.8:614.846:005.591.6

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПОЖЕЖОГАСІННЯ ЯК ФАКТОР ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ СИСТЕМ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

INNOVATIVE FIRE SUPPRESSION TECHNOLOGIES AS A FACTOR IN ENHANCING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF CIVIL PROTECTION SYSTEMS

Мащенко Марина Анатоліївнадоктор економічних наук, професор,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8863-6040>**Карпенко Юрій Васильович**директор,
LLC Car Innovation company
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2698-1241>**Mashchenko Maryna**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

Karpenko Yurii

LLC Car Innovation company

Дослідження присвячене проблемі підвищення економічної ефективності систем цивільного захисту в умовах ресурсної обмеженості шляхом впровадження інноваційних технологій пожежогасіння. Актуальність дослідження обумовлена посиленням вимог до ефективності управління витратами у сфері пожежної безпеки та забезпеченості переходу від фрагментарних підходів до комплексного оцінювання технічних рішень. Систематизовано наукові підходи до оцінки ефективності систем пожежогасіння та визначено їх обмеження щодо врахування сукупних витрат протягом життєвого циклу. Проведено порівняльний аналіз традиційних та інноваційних технологій пожежогасіння за техніко-економічними параметрами, увагу зосереджено на відмінностях в ефективності використання ресурсів, експлуатаційних показниках та структурі витрат. Запропоновано інноваційно-економічний підхід, що інтегрує технічні характеристики систем із економічними показниками ефективності та може бути використаний як аналітична основа прийняття управлінських рішень у сфері цивільного захисту як на місцевому, так і на організаційному рівнях.

Ключові слова: економічна ефективність, вартість життєвого циклу, аналіз витрат, економічне оцінювання, оптимізація ресурсів, системи цивільного захисту, технології пожежогасіння.

This study focuses on enhancing the economic efficiency of civil protection systems under conditions of limited resources through the implementation of innovative fire-extinguishing technologies. The relevance of the study stems from the growing demands for effective cost management in the field of fire safety, as well as the need to move away from piecemeal approaches towards a comprehensive economic assessment of technical solutions. The article systematises scientific approaches to assessing the efficiency of fire-fighting systems and identifies their main limitations, particularly regarding the insufficient consideration of total costs throughout the entire life cycle of a fire-fighting system. Particular attention is paid to a comparative analysis of traditional and innovative fire-fighting technologies based on technical and economic parameters. The analysis focuses on differences in resource efficiency, operational performance indicators and cost structure, which determine the overall efficiency of such systems and influence decision-making processes. An innovation-oriented economic approach to assessing the effectiveness of fire suppression technologies is proposed. This approach is based on the integration of the system's technical characteristics with economic performance indicators, including life-cycle cost assessment and cost analysis, which provides a more comprehensive evaluation of the feasibility of implementation and enhances the soundness of management decisions. The proposed approach also considers the potential reduction in fire-related losses and the improvement in the system's responsiveness. The research findings can be used as an



analytical basis for management decision-making in the field of civil protection at both local and organisational levels, particularly in the context of optimising resource allocation, reducing long-term costs and improving the overall effectiveness of fire safety systems, as well as enhancing the effectiveness of preventive and operational measures. The approach contributes to improving transparency of management processes.

Keywords: economic efficiency, life-cycle cost, cost analysis, economic evaluation, resource optimization, civil protection systems, fire suppression technologies.

Постановка проблеми. У сучасних умовах функціонування національної економіки підвищення ефективності використання ресурсів та забезпечення належного рівня безпеки набувають стратегічного значення. Особливої актуальності ці питання набувають у сфері цивільного захисту, де необхідно поєднати вимоги оперативного реагування на надзвичайні ситуації з обмеженістю фінансових і матеріальних ресурсів.

На рівні державної політики України визначено пріоритети щодо підвищення рівня техногенної та пожежної безпеки, а також модернізації матеріально-технічної бази відповідних служб. Водночас на практиці системи пожежогасіння часто характеризуються високою ресурсомісткістю, значними експлуатаційними витратами та недостатньою економічною ефективністю, що обмежує можливості їх широкого застосування, особливо в умовах децентралізації.

Особливої гостроти проблема набуває для суб'єктів господарювання та органів місцевого самоврядування, які змушені забезпечувати належний рівень безпеки в умовах обмеженого фінансування та необхідності оптимізації бюджетних витрат. За таких умов виникає суперечність між потребою у підвищенні ефективності систем пожежогасіння та обмеженими можливостями ресурсного забезпечення їх функціонування.

Це зумовлює необхідність впровадження інноваційних технологій пожежогасіння, здатних не лише підвищити результативність гасіння пожеж, але й забезпечити зниження сукупних витрат протягом життєвого циклу систем.

Таким чином, актуальним є дослідження інноваційних технологій пожежогасіння як чинника підвищення економічної ефективності та конкурентоспроможності функціонування систем цивільного захисту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика підвищення ефективності функціонування систем пожежогасіння та обґрунтування економічної доцільності їх модернізації активно досліджується в межах міждисциплінарного наукового дискурсу, що поєднує підходи економіки, інженерії

пожежної безпеки, управління публічними ресурсами.

У сучасних дослідженнях значна увага приділяється економічному оцінюванню діяльності служб пожежогасіння та цивільного захисту. Так, у роботах дослідників S. Waring, S. Giles, C. Bromley та їх співавторів [11] здійснено системний аналіз економічних підходів до оцінювання діяльності пожежно-рятувальних служб, обґрунтовується зростання потреби доведення ефективності витрат для прийняття управлінських рішень в умовах обмеженості бюджетних ресурсів. Водночас вчені D. Han, A. Krisman, Y. Gopala, R. Van Coile, A. Lucherini та інші [8; 10; 11] підкреслюють фрагментарність існуючих досліджень та відсутність уніфікованих методик розрахунку витрат і результатів, що ускладнює порівняльний аналіз різних технологій.

Важливим напрямом є дослідження економічної ефективності превентивних заходів і оперативного реагування. Зокрема, емпіричні результати свідчать, що профілактичні заходи демонструють позитивний коефіцієнт вигід/витрат, який у різних країнах перевищує одиницю у декілька разів, як показують у своїх дослідженнях J. Young, E. Belval, B. Gannon та їх співавтори [13]. Аналогічні висновки підтверджуються у дослідженні ефективності програм пожежної безпеки, де встановлено, що зниження кількості пожеж та супутніх збитків безпосередньо впливає на макроекономічні показники та рівень суспільного добробуту, що відображено в роботах S. Waring, S. Giles, C. Bromley, M. Maden, A. Boland, E. Ashworth, G. Pandey, і даних світового статистичного центру [11; 12].

У контексті інженерії пожежної безпеки значний внесок зроблено у розвиток методології аналізу «витрати–вигоди» R. Van Coile, A. Lucherini та ін. [10], сформовано сучасну референтну методіку оцінювання ефективності проєктних рішень у сфері пожежного захисту, яка враховує як прямі, так і непрямі витрати, а також ризики та невизначеність. Визначається, що традиційні підходи часто не дозволяють коректно порівнювати альтернативні технології через різницю у структурі витрат і параметрах ризику.

Розвивається напрям досліджень, присвячених оптимізації витрат вогнегасних речовин та підвищенню ефективності процесів гасіння. Зокрема, вченими G.Kuznetsov, A. Zhdanova, R. Volkov, P. Strizhak [9] доведено, що застосування зворотного зв'язку в системах пожежогасіння дозволяє зменшити витрати агентів і час ліквідації пожежі, що прямо впливає на економічну ефективність систем. Аналогічно, дослідження R. Pelek, V. Maruch [4] в галузі тонкорозпиленої води підтверджують, що підвищення дисперсності потоку забезпечує зниження ресурсомісткості процесу гасіння при збереженні або підвищенні його результативності.

Суттєвий внесок у розвиток економічного підходу до оцінювання пожежної безпеки зроблено у працях, присвячених аналізу витрат у будівельних та інфраструктурних проєктах. Так, дослідження M. Chenzhi із співавторами [7] демонструє, що витрати на системи пожежного захисту є критичним фактором у формуванні загальної вартості проєкту, а їх оптимізація може забезпечити значний економічний ефект. Водночас J. Young та його співавтори [13] підкреслюють, що складність організації процесів гасіння пожеж (особливо природних) призводить до зростання операційних витрат, що потребує впровадження більш ефективних технологічних рішень.

У вітчизняних дослідженнях також простежується зростання уваги до економічних аспектів пожежної безпеки. Зокрема, А. Погребняк, О. Вишкіна та ін. [5] акцентують увагу на необхідності оцінювання пожежних ризиків як передумови оптимізації витрат у сфері безпеки, тоді як О. Чекрыгин, О. Самойлов та Р. Кубанов Р. [6] обґрунтовують економічну доцільність використання сучасних систем пожежної безпеки у будівельних проєктах. Окремо слід відзначити дослідження енергетичної безпеки [3], де підкреслюється взаємозв'язок між енергоефективністю технічних систем та загальною економічною стійкістю держави.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на значний обсяг наукових напрацювань, у сучасній літературі зберігається низка невирішених проблем теоретичного та прикладного характеру.

Передусім, залишається недостатньо розробленим комплексний підхід до оцінювання ефективності інноваційних технологій пожежогасіння, який би враховував повну вартість

життєвого циклу технічних систем, включаючи капітальні, експлуатаційні та сервісні витрати.

По-друге, недостатньо досліджено економічний вплив новітніх технічних рішень на зниження операційних витрат і підвищення оперативності реагування на надзвичайні ситуації, що ускладнює обґрунтування доцільності їх впровадження у практичну діяльність.

По-третє, обмеженою залишається емпірична база щодо використання інноваційних технологій пожежогасіння в діяльності територіальних громад та суб'єктів господарювання, зокрема у контексті оптимізації бюджетних витрат і підвищення ефективності управління ресурсами.

Крім того, у наукових дослідженнях недостатньо уваги приділяється інтеграції технічних параметрів пожежогасіння з економічними показниками ефективності, що обмежує можливість формування обґрунтованих управлінських рішень.

Отже, аналіз наукових джерел свідчить про необхідність розвитку інноваційно-економічного підходу до оцінювання технологій пожежогасіння, який поєднує технічні характеристики систем із показниками їх економічної ефективності, що і визначає подальший напрям дослідження.

Формулювання цілей статті. Метою статті є обґрунтування інноваційно-економічного підходу до оцінювання ефективності технологій пожежогасіння як інструменту зниження витрат та підвищення економічної ефективності функціонування систем цивільного захисту.

Виклад основного матеріалу дослідження. У сучасних умовах підвищення ефективності функціонування систем пожежогасіння потребує застосування інноваційних технологій, здатних оптимізувати витрати на їх впровадження та експлуатацію. У цьому контексті доцільним є використання інноваційно-економічного підходу, що передбачає інтеграцію технічних характеристик систем пожежогасіння з показниками їх економічної ефективності.

Запропонований підхід базується на оцінюванні повної вартості життєвого циклу системи пожежогасіння (Life Cycle Cost firefighting, LCC_{ff}), яка включає сукупність витрат на всіх етапах її функціонування. Створимо модель даного інноваційно-економічного підходу оцінювання повної вартості життєвого циклу за формулою:

$$LCC_{ff} = C_{init} + C_{oper} + C_{maint} + C_{disp}, \quad (1)$$

де: C_{init} – початкові інвестиційні витрати;

C_{oper} – експлуатаційні витрати;

C_{disp} – витрати на обслуговування;

C_{disp} – витрати на утилізацію або модернізацію системи.

Важливо, що застосування даного підходу надає можливість провести комплексний аналіз економічної доцільності впровадження інноваційних рішень.

Варто відміти, що у межах дослідження доцільно розмежувати традиційні та інноваційні системи пожежогасіння. До традиційних систем віднесено технології, що базуються на використанні стандартних засобів подачі вогнегасних речовин (водяні, пінні, порошкові установки) з типовими технічними характеристиками та без застосування елементів автоматизації й оптимізації ресурсоспоживання [4; 9]. Натомість інноваційні системи пожежогасіння характеризуються впровадженням новітніх технічних рішень, зокрема вдосконалених механізмів подачі вогнегасних агентів, підвищеною ефективністю їх використання, автоматизацією процесів управління, а також орієнтацією на зниження експлуатаційних витрат і підвищення оперативності реагування [2; 6; 7; 10].

Таке розмежування дозволяє здійснити коректне порівняння систем за основними техніко-економічними параметрами.

Далі, для визначення ефективності впровадження інноваційних технологій пожежогасіння доцільно використовувати показник інтегрального економічного ефекту (E_{ff}), який враховує як економію витрат, так і підвищення результативності функціонування системи.

Запропоновано таку модель розрахунку інтегрального показника економічного ефекту впровадження інноваційних технологій пожежогасіння:

$$E_{ff} = (C_{trad} - C_{innov}) + \Delta R, \quad (2)$$

де: C_{trad} – витрати при використанні традиційних технологій;

C_{innov} – витрати при впровадженні інноваційних технологій;

ΔR – додатковий ефект від підвищення швидкості реагування та зниження збитків від пожеж.

На основі узагальнення результатів наукових досліджень проведено порівняльну оцінку традиційних та інноваційних систем пожежогасіння за основними техніко-економічними параметрами. Наведені характеристики відображають узагальнені тенденції розвитку сучасних традиційних та інноваційних

систем пожежогасіння та слугують основою для подальшого економічного оцінювання їх ефективності. Порівняння здійснюється не лише за характеристиками систем, але й з урахуванням причин формування відповідних техніко-економічних відмінностей. (табл. 1).

Як свідчать наведені дані, незважаючи на вищий рівень початкових інвестицій, інноваційні системи пожежогасіння забезпечують зниження сукупних витрат у довгостроковій перспективі, що підтверджує їх економічну доцільність.

В даному дослідженні особливу увагу приділено аналізу інноваційної установки пожежогасіння, яка характеризується підвищеною ефективністю подачі вогнегасної речовини, зменшенням витрат ресурсів та скороченням часу реагування на надзвичайні ситуації. Технічні особливості установки забезпечують більш раціональне використання води (або іншого реагента), що безпосередньо впливає на зниження експлуатаційних витрат [2; 7; 9].

Економічний ефект від впровадження запропонованої установки проявляється у:

- зменшенні витрат на використання вогнегасних речовин;
- скороченні витрат на обслуговування обладнання;
- зниженні збитків від пожеж за рахунок підвищення швидкості реагування;
- підвищенні ефективності використання матеріально-технічних ресурсів [6; 10; 11].

Таким чином, впровадження інноваційних технологій пожежогасіння дозволяє забезпечити синергетичний ефект, що поєднує технічне вдосконалення систем із підвищенням їх економічної ефективності. Запропонований підхід може бути використаний як інструмент обґрунтування управлінських рішень у сфері цивільного захисту, діяльності територіальних громад та суб'єктів господарювання.

Прикладну апробацію запропонованого підходу розглянемо за умовним прикладом оцінювання економічної ефективності впровадження інноваційної системи пожежогасіння для об'єкта комунальної інфраструктури. Вихідні дані для розрахунку сформовано на основі матеріалів патентної заявки на інноваційну установку пожежогасіння [2], а також узагальнення результатів сучасних наукових досліджень, міжнародних стандартів у сфері пожежної безпеки та аналітичних звітів щодо оцінювання економічних наслідків пожеж з урахуванням типових техніко-економічних характеристик традиційних та сучасних автоматизованих систем пожежогасіння [1; 7; 10–12]

Таблиця 1

**Порівняльна оцінка традиційних та інноваційних систем пожежогасіння
за техніко-економічними параметрами**

Показник	Традиційні системи пожежогасіння		Інноваційні системи пожежогасіння	
	Характеристика	Причини	Характеристика	Причини
Початкові інвестиційні витрати	Відносно нижчі	Стандартні технологічні рішення та обладнання	Вищі	Нові технології та сучасне обладнання
Експлуатаційні витрати	Високі	Значне ресурсоспоживання	Нижчі	Оптимізації використання ресурсів
Витрати на технічне обслуговування	Стабільно високі	Регулярні часті регламентні роботи	Знижені	Підвищена надійність та довговічність
Рівень автоматизації	Низький або середній	Автоматизовані технології	Високий	Цифрові та автоматизовані технології
Швидкість реагування на пожежу	Середня	Активація системи із технологічною затримкою	Висока	Оперативний запуск систем за цифровими технологіями
Ефективність використання вогнегасної речовини	Обмежена	Нерівномірна подача та перевитрати ресурсів	Підвищена	Раціоналізоване дозування та цільове застосування
Рівень мінімізації збитків	Середній	Нижча ефективність гасіння	Високий	Підвищена ефективність гасіння
Сукупні витрати протягом життєвого циклу	Високі	Значні експлуатаційні витрати	Оптимізовані	Оптимізація витрат на експлуатацію та обслуговування
Економічна ефективність	Обмежена	Високі сукупні витрати та нижча результативність	Підвищена	Сукупна економія витрат та зменшення збитків

Джерело: сформовано авторами на основі [2; 4; 6; 7; 9; 10]

(табл. 2). З огляду на відсутність відкритої статистичної інформації щодо експлуатації новітніх установок, частина показників має умовно-розрахунковий характер і використовується для ілюстрації запропонованого методичного підходу.

Початкові інвестиційні витрати відображають сукупні витрати на придбання та встановлення системи. Річні експлуатаційні витрати включають витрати на енергоспоживання, використання вогнегасних речовин та інші ресурси, необхідні для функціонування системи. Витрати на технічне обслуговування охоплюють витрати на планові огляди, ремонт та підтримання працездатності обладнання [10; 11].

Витрати на утилізацію або модернізацію системи враховують завершальний етап життєвого циклу та відображають витрати, пов'язані з демонтажем, утилізацією або оновленням обладнання [10; 11].

Середньорічні збитки від пожеж характеризують економічні втрати, яких зазнає об'єкт унаслідок пожеж, та розглядаються як інтегральний показник ефективності функціонування системи пожежогасіння. Зазначений показник не входить до складу витрат життєвого циклу, проте враховується при визначенні інтегрального економічного ефекту впровадження інноваційної технології [1; 12].

Термін експлуатації систем прийнято однаковим для забезпечення коректності порів-

Таблиця 2

**Вихідні дані для оцінювання економічного ефекту
впровадження систем пожежогасіння**

Показник	Традиційні системи пожежогасіння	Інноваційні системи пожежогасіння
Початкові витрати, тис. грн	500	750
Річні експлуатаційні витрати, тис. грн	120	70
Річні витрати на обслуговування, тис. грн	60	40
Витрати на утилізацію/модернізацію, тис. грн	50	40
Середньорічні збитки від пожеж, тис. грн	200	120
Термін експлуатації, років	10	10

Джерело: сформовано авторами на основі [1; 2; 7; 10–12]

няльного аналізу та виключення впливу часових факторів на результати оцінювання [7; 10].

Розрахуємо сукупні витрати LCC_{ff} за моделлю (1).

Для традиційної системи пожежогасіння:

$$LCC_{ff-trad} = 500 + (120 + 60) \cdot 10 + 50 = 2350 \text{ тис. грн.} \quad (3)$$

Для інноваційної системи пожежогасіння:

$$LCC_{ff-innov} = 750 + (70 + 40) \cdot 10 + 40 = 1890 \text{ тис. грн.} \quad (4)$$

За моделлю розрахунку інтегрального показника економічного ефекту впровадження інноваційних технологій пожежогасіння (2) розрахуємо економію витрат:

$$\Delta C = 2350 - 1890 = 460 \text{ тис. грн.} \quad (5)$$

та додатковий ефект, або зменшення збитків:

$$\Delta R = (200 - 120) \cdot 10 = 800 \text{ тис. грн.} \quad (6)$$

Тоді інтегральний економічний ефект:

$$E_{ff} = 460 + 800 = 1260 \text{ тис. грн.} \quad (7)$$

Отримані результати свідчать, що, незважаючи на вищі початкові інвестиції у 250 тис. грн., впровадження інноваційної системи забезпечує:

- зниження сукупних витрат на 460 тис. грн;
- скорочення збитків від пожеж на 800 тис. грн;
- формування інтегрального економічного ефекту у розмірі 1260 тис. грн за період експлуатації.

Таким чином, інноваційна система пожежогасіння є економічно доцільною, оскільки забезпечує суттєве підвищення ефективності використання ресурсів та зниження загальних витрат у довгостроковій перспективі.

Висновки. В результаті проведеного дослідження обґрунтовано доцільність застосу-

вання інноваційних технологій пожежогасіння як інструменту підвищення економічної ефективності функціонування систем цивільного захисту в умовах обмеженості ресурсного забезпечення.

Систематизовано наукові підходи до оцінювання ефективності систем пожежогасіння та встановлено, що традиційні методи аналізу не враховують повною мірою сукупні витрати протягом життєвого циклу технічних систем, що обмежує обґрунтованість управлінських рішень.

Запропоновано інноваційно-економічний підхід до оцінювання ефективності технологій пожежогасіння, який базується на інтеграції технічних параметрів систем із економічними показниками, зокрема із застосуванням показника повної вартості життєвого циклу та інтегрального економічного ефекту.

Здійснено порівняльну оцінку традиційних та інноваційних систем пожежогасіння, що дозволило виявити їх основні техніко-економічні відмінності, зокрема щодо рівня витрат, ефективності використання ресурсів та здатності до мінімізації збитків від пожеж.

Розрахунковий приклад підтвердив економічну доцільність впровадження інноваційних систем, які, незважаючи на вищі початкові інвестиції, забезпечують зниження сукупних витрат протягом життєвого циклу та формування додаткового економічного ефекту за рахунок скорочення експлуатаційних витрат і зменшення збитків від пожеж.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання запропонованого підходу органами місцевого самоврядування, суб'єктами господарювання та службами цивільного захисту при обґрунтуванні доцільності впровадження інноваційних

технологій пожежогасіння та прийнятті управлінських рішень щодо оптимізації витрат.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробленням детальніших еко-

номіко-математичних моделей оцінювання ефективності інноваційних систем пожежогасіння з урахуванням факторів ризику, невідзначеності та часової вартості грошей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Аналітичний звіт про пожежі та їх наслідки в Україні. Київ : ДСНС України, 2023. 120 с.
2. Карпенко Ю. В. Установка для гасіння пожеж : заявка на патент України. МПК: А62С 31/00, А62С 5/02, А62С 27/00, В05В 7/04. № u202600687; заявл. 10.02.2026. Неопубл.
3. Лісовий А.В., Андрух О.В. Енергетична безпека України: виклики війни та перспективи відновлення економічного потенціалу. *Український економічний часопис*. 2025. № 8. С. 40–43. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-8273/2025-8-7>
4. Пелех Р.Л., Марич В.М. Аналіз чинників, що впливають на ефективність систем пожежогасіння тонкорозпиленою водою. *Пожежна безпека*. 2025. № 46. С. 106–115. DOI: <https://doi.org/10.32447/20786662.46.2025.11>
5. Погребняк А., Вишнікіна О., Кучер М., Сабіров О., Гриценко А. Дослідження та оцінка пожежних ризиків у готельно-ресторанних закладах України. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*. 2024. № 6 (336). С. 433–439. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-336-67>
6. Чекригін О., Самойлов О., Кубанов Р. Економічна ефективність від використання сучасних систем пожежної безпеки в будівельних проєктах. *Економіка та суспільство*. 2026. № 83. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-83-94>
7. Chenzhi M, Ruben Van C., Thomas G. Fire protection costs in composite buildings for cost-benefit analysis of fire designs. *Journal of Constructional Steel Research*. 2024. Vol. 213. Article 108517. DOI: 10.1016/j.jcsr.2024.108517.
8. Han D., Krisman A., Gopala Y., Zhou X., White J., Xin Y. A model-based approach to estimate sprinkler protections for warehouse storage. 2023. *Fire Safety Journal*. Vol. 140, 103875, ISSN 0379-7112, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103875>.
9. Kuznetsov G.V., Zhdanova A.O., Volkov R.S., Strizhak P.A. Optimizing firefighting agent consumption and fire suppression time in buildings by forming a fire feedback loop. *Fire Safety Journal*. 2022. Vol. 131. Article 103593. DOI: 10.1016/j.firesaf.2022.103593.
10. Van Coile R., Lucherini A., Chaudhary R., Ni S., Unobe D., Gernay T. *Cost-benefit analysis in fire safety engineering: State-of-the-art and reference methodology*. *Safety Science*. 2023. Vol. 163, 106326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106326>
11. Waring S., Giles S., Bromley C., Maden M., Boland A., Ashworth E., Pandey G. Economic analysis of fire and rescue service activities: A scoping review, *Fire Safety Journal*. 2026. Vol. 160. 104624. ISSN 0379-7112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2025.104624>.
12. World Fire Statistics Centre. World Fire Statistics Report No. 28. Geneva, 2023. 32 p.
13. Young J. D., Belval E., Gannon B., Wei Y., O'Connor C., Dunn C., Pietruszka B. M., Calkin D., Thompson M. The cost of operational complexity: A causal assessment of pre-fire mitigation and wildfire suppression. *Forest Policy and Economics*. 2024. Vol. 169. Article 103351. DOI: 10.1016/j.forpol.2024.103351.

REFERENCES:

1. State Emergency Service of Ukraine. (2023). *Analitychnyi zvit pro pozhezhi ta yikh naslidky v Ukraini* [Analytical report on fires and their consequences in Ukraine]. Kyiv: SES of Ukraine.
2. Karpenko, Yu. V. (2026). *Ustanovka dlia hasinnia pozhezhi* [Installation for fire extinguishing: materials of the patent application of Ukraine (application for a patent of Ukraine)]. IPC A62C 31/00, A62C 5/02, A62C 27/00, B05B 7/04, No. u202600687; applied 10.02.2026 (unpublished).
3. Lisovyi, A. V., & Andrukh, O. V. (2025). Energetychna bezpeka Ukrainy: vyklyky viiny ta perspektyvy vidnovlennia ekonomichnoho potentsialu [Energy security of Ukraine: challenges of war and prospects for restoring economic potential]. *Ukrainian Economic Journal*, (8), 40–43. <https://doi.org/10.32782/2786-8273/2025-8-7>
4. Pelekh, R. L., & Marych, V. M. (2025). Analiz chynnykiv, shcho vplyvaiut na efektyvnist system pozhezhasinnia tonkorozpylenoiu vodoiu [Analysis of factors affecting the efficiency of water mist fire extinguishing systems]. *Pozhezha bezpeka* [Fire Safety], (46), 106–115. <https://doi.org/10.32447/20786662.46.2025.11>

5. Pohrebniak, A., Vyshnikina, O., Kucher, M., Sabirov, O., & Hrytsenko, A. (2024). Doslidzhennia ta otsinka pozhezhnykh ryzykiv u hotelno-restorannykh zakladakh Ukrainy [Research and assessment of fire risks in hotel and restaurant establishments of Ukraine]. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*, 6(336), 433–439. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-336-67>
6. Chekryhin, O., Samoilov, O., & Kubanov, R. (2026). Ekonomichna efektyvnist vid vykorystannia suchasnykh system pozhezhnoi bezpeky v budivelnnykh proiektakh [Economic efficiency of using modern fire safety systems in construction projects]. *Ekonomika ta suspilstvo [Economy and Society]*, (83). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-83>
7. Chenzhi, M., Van Coile, R., & Gernay, T. (2024). Fire protection costs in composite buildings for cost-benefit analysis of fire designs. *Journal of Constructional Steel Research*, 213, Article 108517. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2024.108517>.
8. Han, D., Krisman, A., Gopala, Y., Zhou, X., White, J., & Xin, Y. (2023). A model-based approach to estimate sprinkler protections for warehouse storage. *Fire Safety Journal*, 140, Article 103875. <https://doi.org/10.1016/j.fire-saf.2023.103875>
9. Kuznetsov, G. V., Zhdanova, A. O., Volkov, R. S., & Strizhak, P. A. (2022). Optimizing firefighting agent consumption and fire suppression time in buildings by forming a fire feedback loop. *Fire Safety Journal*, 131, Article 103593. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103593>.
10. Van Coile, R., Lucherini, A., Chaudhary, R., Ni, S., Unobe, D., & Gernay, T. (2023). Cost-benefit analysis in fire safety engineering: State-of-the-art and reference methodology. *Safety Science*, 163, Article 106326. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106326>
11. Waring, S., Giles, S., Bromley, C., Maden, M., Boland, A., Ashworth, E., & Pandey, G. (2026). Economic analysis of fire and rescue service activities: A scoping review. *Fire Safety Journal*, 160, Article 104624. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2025.104624>
12. World Fire Statistics Centre. (2023). *World fire statistics report No. 28*. Geneva.
13. Young, J. D., Belval, E., Gannon, B., Wei, Y., O'Connor, C., Dunn, C., Pietruszka, B. M., Calkin, D., & Thompson, M. (2024). The cost of operational complexity: A causal assessment of pre-fire mitigation and wildfire suppression. *Forest Policy and Economics*, 169, Article 103351. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2024.103351>.

Дата надходження статті: 14.04.2026

Дата прийняття статті: 04.05.2026

Дата публікації статті: 12.05.2026