

УДК 338.45:614.84
JEL: D24; H54; O31
DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2026-4-364-371>

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ МОБІЛЬНИХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ УСТАНОВОК ПОЖЕЖОГАСІННЯ В СИСТЕМАХ ЛОКАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ

©2026 КЛІМЕНКО О. М., КАРПЕНКО Ю. В.

УДК 338.45:614.84
JEL: D24; H54; O31

Кліменко О. М., Карпенко Ю. В. Економічна ефективність впровадження мобільних енергоефективних установок пожежогасіння в системах локальної безпеки

У статті досліджено економічні аспекти підвищення ефективності систем пожежогасіння в умовах зростання вимог до ресурсозбереження та енергоефективності функціонування об'єктів локальної безпеки. Особливу увагу приділено порівнянню традиційних технічних рішень і мобільних енергоефективних установок пожежогасіння, що базуються на використанні альтернативних принципів подачі вогнегасних речовин. Метою дослідження є розроблення методичного підходу до оцінювання економічної ефективності мобільних енергоефективних установок пожежогасіння з урахуванням ресурсних і експлуатаційних параметрів. Методичну основу становлять методи порівняльного аналізу, розрахунково-аналітичні підходи та елементи техніко-економічного моделювання. Оцінювання ефективності здійснюється на основі системи показників, що охоплює витрати енергоресурсів, вогнегасних речовин, експлуатаційні витрати, а також тривалість процесу ліквідації пожежі. Узагальнювальний показник дає змогу визначити сукупні витрати на один цикл пожежогасіння та розрахувати відносний економічний ефект. У процесі дослідження враховано технологічну особливість інноваційної установки, яка передбачає подачу води у поєднанні з вуглекислим газом, що виконує функцію витіснювача та додаткового вогнегасного агента, який забезпечує підвищення ефективності гасіння. За результатами проведених розрахунків і порівняльного аналізу встановлено, що використання мобільних енергоефективних установок дає змогу знизити сукупні витрати, скоротити споживання ресурсів і зменшити тривалість ліквідації пожежі. Запропоновано узагальнену модель оцінювання економічного ефекту, яка забезпечує комплексний облік технічних і економічних параметрів функціонування систем пожежогасіння. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання для обґрунтування управлінських рішень щодо впровадження енергоефективних технологій у системах локальної безпеки.

Ключові слова: економічна ефективність; пожежогасіння; енергоефективні технології; витрати; техніко-економічне оцінювання; інноваційні системи; локальна безпека.

Рис.: 1. **Табл.:** 1. **Формул.:** 5. **Бібл.:** 9.

Кліменко Олена Миколаївна – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри державного управління, публічного адміністрування та економічної політики, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця (просп. Науки, 9а, Харків, 61166, Україна)

E-mail: olena.klimenko@hneu.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2573-9333>

Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/IZE-0915-2024>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58753803100>

Карпенко Юрій Васильович – директор, LLC CarInnovationcompany (6600 Jurupa Ave., suite 108, Піверсайд, CA 92504, США)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2698-1241>

UDC 338.45:614.84
JEL: D24; H54; O31

Klimenko O. M., Karpenko Yu. V. The Economic Efficiency of Implementing Mobile Energy-Efficient Fire Extinguishing Units in Local Security Systems

The article examines the economic aspects of improving the efficiency of fire-extinguishing systems in the context of increasing demands for resource conservation and energy efficiency in the operation of local security facilities. Special attention is paid to comparing traditional technical solutions with mobile energy-efficient fire extinguishing units, which are based on the use of alternative principles for delivering fire-extinguishing substances. The aim of the study is to develop a methodological approach for assessing the economic efficiency of mobile energy-efficient fire extinguishing units, taking into account resource and operational parameters. The methodological basis consists of comparative analysis methods, calculation-analytical approaches, and elements of techno-economic modeling. The assessment of efficiency is carried out based on a system of indicators that covers energy resource costs, fire-extinguishing substances, operational expenses, as well as the duration of the fire suppression process. The summary indicator allows determining the total costs for one fire extinguishing cycle and calculating the relative economic effect. The study takes into account the technological feature of the innovative installation, which provides for the supply of water in combination with carbon dioxide, serving both as a displacer and an additional fire-extinguishing agent that enhances suppression efficiency. According to the results of the calculations and comparative analysis, it was found that the use of mobile energy-efficient installations allows reducing total costs, lowering resource consumption, and shortening the duration of fire suppression. A generalized model for assessing the economic effect has been proposed, which ensures comprehensive consideration of the technical and economic parameters of the operation of fire suppression systems. The practical significance of the obtained results lies in the possibility of their use for substantiating managerial decisions regarding the implementation of energy-efficient technologies in local security systems.

Keywords: economic efficiency; fire extinguishing; energy-efficient technologies; costs; techno-economic assessment; innovative systems; local security.

Fig.: 1. **Tabl.:** 1. **Formulae:** 5. **Bibl.:** 9.

У сучасних умовах зростання техногенних ризиків, ускладнення інфраструктурних систем і підвищення вимог до рівня безпеки особливої актуальності набуває підвищення ефективності функціонування систем пожежогасіння. Забезпечення оперативності реагування на надзвичайні ситуації, зниження ресурсомісткості процесів ліквідації пожеж та оптимізація витрат є важливими завданнями як на рівні окремих об'єктів, так і в межах систем локальної безпеки загалом.

Традиційні технічні рішення у сфері пожежогасіння, зокрема системи, що базуються на використанні насосного обладнання, характеризуються значною енергоемністю, залежністю від джерел пального та відносно високими експлуатаційними витратами. Своєю чергою, сучасні технологічні підходи, спрямовані на підвищення ефективності використання води та вогнегасних речовин, не завжди забезпечують комплексне вирішення проблеми зниження витрат, оскільки зберігають потребу у використанні енергетичних ресурсів і складних технічних систем.

У цьому контексті особливого значення набуває впровадження мобільних енергоефективних установок пожежогасіння, функціонування яких ґрунтується на альтернативних принципах подачі вогнегасних речовин та дозволяє мінімізувати або усунути енергетичну складову витрат. Такі рішення потенційно забезпечують підвищення мобільності, зниження експлуатаційних витрат і більш раціональне використання ресурсів, що відповідає сучасним тенденціям енергоефективності та ресурсозбереження.

Водночас впровадження подібних технічних рішень потребує належного економічного обґрунтування, що передбачає оцінювання їх ефективності у порівнянні з наявними системами пожежогасіння. Це зумовлює необхідність формування відповідного науково-методичного інструментарію, який дозволяє комплексно враховувати технічні, ресурсні та економічні аспекти функціонування таких систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика підвищення ефективності систем

протипожежного захисту та оптимізації витрат на пожежогасіння перебуває у фокусі сучасних наукових досліджень як в Україні, так і за кордоном. У науковій літературі сформовано декілька суттєвих напрямів дослідження, що охоплюють методичні підходи до оцінювання ефективності, ресурсну оптимізацію, економічний аналіз та впровадження інноваційних технологій.

Вітчизняні науковці значну увагу приділяють методичним аспектам оцінювання ефективності функціонування систем протипожежного захисту. Зокрема, Л. Несенюк зі співавторами [1] обґрунтовує підходи до комплексної оцінки ефективності таких систем з урахуванням технічних, організаційних та експлуатаційних параметрів. Автори акцентують на необхідності системного підходу, який дозволяє враховувати багатofакторність функціонування протипожежної інфраструктури.

Подальший розвиток досліджень пов'язаний з аналізом чинників, що впливають на ефективність сучасних технологій пожежогасіння. Так, Р. Пелех і В. Марич [2] досліджують ефективність систем тонкорозпиленої води, визначають параметри, які впливають на результативність гасіння, що розширює уявлення про технологічні резерви підвищення ефективності пожежогасіння.

Водночас у контексті сучасних викликів, пов'язаних із воєнними ризиками та відновленням економіки, особливого значення набуває безпекова складова, і тому останнім часом цій проблемі приділяється увага. Наприклад, А. Лісовий та О. Андрух [3] визначають, що енергетична та загалом економічна безпека держави є критично залежною від здатності ефективно реагувати на надзвичайні ситуації, що актуалізує питання модернізації систем цивільного захисту та підвищення їх ресурсної ефективності.

У міжнародній науковій літературі значний пласт досліджень присвячений економічному аналізу діяльності пожежно-рятувальних служб. Так, S. Waring із співавторами [4] узагальнює підходи до оцінювання економічної ефективності таких систем,

зокрема через застосування прийнятих і в Україні методів «витрати – результат» і «витрати – вигоди». Причому автори підкреслюють недостатню стандартизацію підходів до оцінювання, що ускладнює порівняння результатів різних досліджень.

Методологічні засади застосування аналізу «витрати – вигоди» у сфері пожежної безпеки також детально розкрито в дослідженні R. Van Coile та ін. [5], де запропоновано референтну модель оцінювання ефективності протипожежних заходів та обґрунтовано необхідність врахування як прямих, так і непрямих економічних ефектів, включно із запобіганням втратам і зниженню ризиків.

Окремий напрям досліджень стосується оптимізації ресурсного забезпечення процесів пожежогасіння. Особливо цікавим здається підхід до зниження витрат вогнегасних речовин і часу ліквідації пожежі шляхом формування зворотного зв'язку в системі управління гасінням, де отримані результати свідчать про можливість суттєвого підвищення ефективності використання ресурсів [6]. Крім того, багато наукових праць присвячено питанню економічної доцільності впровадження протипожежних рішень у будівництві, оптимізації проектних рішень, забезпеченню значного зниження сукупних витрат при збереженні належного рівня безпеки [7]. Важливими здаються висновки стосовно впливу операційної складності на ефективність заходів із запобігання пожежам та їх гасіння [8], що потребує вдосконалення механізмів прийняття рішень.

Таким чином, аналіз сучасних наукових публікацій свідчить про наявність значного теоретико-методичного підґрунтя у сфері оцінювання ефективності систем пожежогасіння та управління ресурсами. Водночас існуючі дослідження здебільшого зосереджені на окремих аспектах проблеми – або технічних, або організаційних, або економічних, і це обумовлює необхідність комплексного підходу до оцінювання ефективності інноваційних рішень у сфері пожежогасіння.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на наявність значного наукового доробку у сфері пожежної безпеки та оцінювання ефективності протипожежних систем, аналіз літературних джерел свідчить про існування низки невирішених науково-практичних аспектів.

Передусім, більшість вітчизняних досліджень зосереджені на технічних та організаційних характеристиках систем пожежогасіння, приділяючи недостатню увагу економічному обґрунтуванню їх впровадження та подальшої довготривалої експлуатації. Водночас міжнародні дослідження пропонують розвинений інструментарій економічного

аналізу, проте вони мають переважно узагальнений характер і не враховують специфіки окремих інноваційних технічних рішень, а також умов їх практичного застосування. Крім того, у сучасних наукових працях недостатньо досліджено питання комплексної оптимізації використання ресурсів у процесі пожежогасіння та інтеграція таких технічних рішень із економічними моделями оцінювання ефективності. Окремою проблемою є фрагментарність підходів до оцінювання ефективності протипожежних заходів у будівництві та інфраструктурі, що не охоплює питання експлуатаційної ефективності інноваційних установок пожежогасіння. Також недостатньо врахованим залишається вплив складності операційних процесів на витрати та результативність пожежогасіння, недостатньо прикладних моделей, що дозволяють мінімізувати ці витрати в конкретних технічних системах.

У контексті сучасних викликів, пов'язаних із підвищенням ролі безпекових факторів в економічному розвитку, особливої актуальності набуває проблема обґрунтування ефективності впровадження інноваційних установок пожежогасіння, які поєднують технічну результативність із ресурсною та економічною доцільністю.

Отже, невирішеними залишаються питання розроблення комплексного підходу до оцінювання ефективності інноваційних систем пожежогасіння, який би інтегрував технічні параметри функціонування, ресурсну оптимізацію та економічні критерії прийняття рішень. Це зумовлює необхідність подальших досліджень у цьому напрямі.

Метою статті є розроблення та обґрунтування методичного підходу до оцінювання економічної ефективності впровадження мобільних енергоефективних установок пожежогасіння у системах локальної безпеки з урахуванням ресурсних та експлуатаційних параметрів їх функціонування.

Опис методики проведення дослідження. Методичною основою дослідження є комплексний підхід, що передбачає поєднання методів порівняльного аналізу, техніко-економічного моделювання, а також розрахунково-аналітичних методів оцінювання ефективності технічних систем [1; 4; 5].

У дослідженні застосовано системний підхід до аналізу процесів пожежогасіння як сукупності взаємопов'язаних технічних, ресурсних та економічних елементів, що функціонують у системах локальної безпеки.

Оцінювання економічної ефективності впровадження мобільних енергоефективних установок пожежогасіння здійснюється за поетапною процедурою. При цьому враховується специфіка функці-

онування інноваційної установки, що передбачає подачу води у поєднанні з вуглекислим газом, який виконує функцію витіснювача та додаткового вогнегасного агента.

На *першому етапі* формується база порівняння, яка включає традиційні засоби пожежогасіння та інноваційну мобільну установку. До групи базових (традиційних) засобів пожежогасіння віднесено мотопомпи, а також системи типу CAFS (*Compressed Air Foam System*), які, попри підвищену технологічність, не забезпечують принципового усунення енергетичної складової витрат і тому розглядаються як порівняльні аналоги інноваційного рішення. Це дозволяє забезпечити відповідність результатів та обґрунтованість висновків.

На *другому етапі* визначаються ключові параметри оцінювання, до яких віднесено:

- ✦ витрати енергоресурсів;
- ✦ витрати вогнегасних речовин (реагентів);
- ✦ експлуатаційні витрати (обслуговування, амортизація, витрати на персонал) [2; 6];
- ✦ тривалість процесу гасіння пожежі.

На *третьому етапі* здійснюється розрахунок сукупних витрат на один цикл гасіння пожежі для кожного варіанта. Узагальнюючий показник витрат може бути представлений як:

$$C = C_e + C_r + C_{exp}, \quad (1)$$

де C_e – витрати на енергоресурси; C_r – витрати на реагенти; C_{exp} – експлуатаційні витрати.

На *четвертому етапі* проводиться порівняльна оцінка економічної ефективності альтернативних варіантів на основі показників:

- зниження сукупних витрат;
- економії ресурсів;
- скорочення часу ліквідації пожежі.

Для кількісного оцінювання ефективності використовується відносний показник економічного ефекту [5; 7]:

$$\eta = \frac{C_{trad} - C_{innov}}{C_{trad}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де C_{trad} – витрати при використанні традиційних систем; C_{innov} – витрати при використанні інноваційної установки.

Значення показника η відображає відносний рівень зниження витрат і характеризує економічну доцільність впровадження інноваційної установки.

У межах запропонованого підходу також сформовано структурно-аналітичну модель оцінювання економічної ефективності, яка відображає взаємозв'язок між вхідними параметрами системи, структурою витрат і результатом економічним ефектом.

На *п'ятому етапі* здійснюється сценарний аналіз, який передбачає моделювання базового ва-

ріанта функціонування системи пожежогасіння з урахуванням варіації важливих параметрів (обсягу води, витрат реагентів, експлуатаційних витрат), що дозволяє оцінити чутливість результатів до зміни вихідних умов [4; 8].

Інформаційною базою дослідження є технічні характеристики обладнання, нормативні показники витрат ресурсів, а також умовно-розрахункові дані, що відображають типові умови функціонування систем локальної безпеки.

Запропонований методичний підхід забезпечує можливість комплексного оцінювання економічної ефективності впровадження мобільних енергоефективних установок пожежогасіння та може бути використаний для обґрунтування управлінських рішень у сфері підвищення рівня безпеки та оптимізації витрат.

Викладення основного матеріалу й отриманих наукових результатів.

У сучасних умовах зростання техногенних ризиків та підвищення вимог до ефективності систем локальної безпеки особливої актуальності набуває впровадження інноваційних рішень у сфері пожежогасіння. Одним із перспективних напрямів є використання мобільних енергоефективних установок, які забезпечують зниження ресурсних витрат і підвищення оперативності реагування.

У межах дослідження проведено оцінювання економічної ефективності впровадження мобільної енергоефективної установки пожежогасіння порівняно з традиційними системами. Інформаційною базою розрахунків слугували технічні характеристики та розрахункові параметри установки, наведені в матеріалах розробки [9].

Формування бази порівняння передбачало зіставлення традиційних стаціонарних систем пожежогасіння із запропонованою мобільною установкою. Основними параметрами оцінювання визначено витрати енергоресурсів (C_e), витрати реагентів (C_r) та експлуатаційні витрати (C_{exp}).

Згідно з технічними характеристиками інноваційної мобільної установки [9], для забезпечення одного циклу пожежогасіння використовується стандартний об'єм води на рівні 1000 л. Подача води здійснюється за допомогою стисненого діоксиду вуглецю: один балон об'ємом 18 л під тиском 400 бар забезпечує утворення приблизно 4000 л газу при нормальних умовах. При цьому близько 1000 л газу використовується для витіснення води з резервуара, тоді як решта (≈ 3000 л) використовується для формування дисперсного потоку (піна або водяний туман), що підвищує ефективність гасіння.

Використання змочувачів передбачає їх концентрацію на рівні 0,1–1%, що відповідає витратам 1–10 кг активної речовини на один цикл пожежогасіння. Конструктивні особливості установки також забезпечують спрощене обслуговування за принципом «під-стоп», що знижує експлуатаційні витрати.

Для кількісного обґрунтування отриманих результатів здійснено розрахунок витрат на один цикл пожежогасіння відповідно до запропонованої методики. Витрати визначаються згідно з формулою (1), і для традиційної системи (мотопомпи) структура витрат має вигляд:

C_e – витрати пального: 2–3 л/год;

C_r – витрати реагентів: 1–10 кг;

C_{exp} – витрати на обслуговування та експлуатацію.

Для мобільної енергоефективної установки:

$C_e = 0$, оскільки паливо не використовується;

C_r – витрати реагентів: 1–10 кг змочувача;

C_{exp} – знижені завдяки спрощеному обслуговуванню;

додатково враховується використання одного балона CO_2 .

Таким чином, узагальнені витрати можна подати як:

$$C_{trad} = C_e + C_r + C_{exp}; \quad (3)$$

$$C_{innov} = C_r + C_{exp} + C_{CO_2}. \quad (4)$$

Аналіз показує, що відсутність складової C_e та зниження експлуатаційних витрат формують економічний ефект від упровадження мобільної установки.

Для підтвердження отриманих висновків проведено розрахунково-аналітичну оцінку в базовому сценарії (об'єм води 1000 л, реагенти 0,1–1%).

Встановлено, що використання мобільної установки дозволяє:

- усунути витрати на паливо;
- підвищити ефективність використання вогнегасних речовин;
- зменшити загальні експлуатаційні витрати.

У результаті узагальнення отриманих даних встановлено, що відносне зниження витрат може досягати до 30–50%, що свідчить про економічну доцільність впровадження запропонованого рішення.

Для узагальнення отриманих результатів та формалізації впливу основних факторів запропоновано структурну модель оцінювання економічної ефективності мобільної енергоефективної установки пожежогасіння (рис. 1).

Наведена на рис. 1 модель відображає логіку формування витрат та економічного ефекту в межах порівняльного аналізу традиційних та інноваційних технічних рішень.

Модель базується на декомпозиції сукупних витрат на три ключові складові: енергетичну, ресурсну та експлуатаційну. Вхідними параметрами виступають обсяг використаної води, витрати реагентів, використання стисненого газу (CO_2), а також характеристики експлуатаційного обслуговування системи.

У межах моделі передбачено формування двох альтернативних сценаріїв функціонування систем пожежогасіння, традиційного та інноваційного. Для кожного сценарію визначається структура витрат, після чого здійснюється розрахунок інтегрального економічного ефекту як різниці сукупних витрат:

$$E = C_{trad} - C_{innov}. \quad (5)$$

Отримане значення економічного ефекту слугує основою для визначення відносного показника ефективності η за формулою (2), що дозволяє здійснювати порівняльну оцінку доцільності впровадження мобільної установки.

Запропонована структурна модель дає змогу не лише формалізувати процес оцінювання економічної ефективності, але й ідентифікувати ключові фактори її зростання, зокрема елімінування витрат на паливо, зниження експлуатаційних витрат та підвищення ефективності використання вогнегасних речовин.

Також для систематизації результатів проведено порівняльну характеристику традиційних та інноваційних систем пожежогасіння (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняльна характеристика систем пожежогасіння

Показник	Мотопомпа	CAFS-система	Мобільна енергоефективна установка
Енергоспоживання	Високе	Високе	Низьке
Потреба в паливі	Так	Так	Ні
Складність експлуатації	Середня	Висока	Низька
Вартість обслуговування	Висока	Висока	Низька

Джерело: узагальнено авторами за [1; 2; 4–6; 9].

Важливою конструктивною та функціональною особливістю мобільної установки є використання вуглекислого газу як робочого агента для витіснення води з резервуара з одночасною її подачею до зони горіння. У процесі пожежогасіння



Рис. 1. Структурна модель оцінювання економічної ефективності мобільної енергоефективної установки пожежогасіння

Джерело: авторська розробка.

формується водогазова суміш, що забезпечує комбінований вплив на осередок пожежі.

Такий підхід дозволяє поєднати охолоджувальний ефект води з інертними властивостями вуглекислого газу, який знижує концентрацію кисню та перешкоджає поширенню горіння. У результаті досягається підвищення ефективності гасіння при одночасному зменшенні витрат ресурсів і тривалості ліквідації пожежі.

Отримані результати узгоджуються із сучасними підходами до економічного обґрунтування систем пожежної безпеки [4; 5], проте, на відміну від існуючих досліджень, у даній роботі акцент зроблено на поєднанні мобільності, енергоефективності та ресурсозбереження.

Таким чином, впровадження мобільних енергоефективних установок пожежогасіння у систе-

мах локальної безпеки є економічно доцільним і забезпечує підвищення ефективності використання ресурсів, що підтверджується результатами проведеного дослідження.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження обґрунтовано доцільність впровадження мобільних енергоефективних установок пожежогасіння в системах локальної безпеки на основі комплексного техніко-економічного підходу.

Сформовано методичний підхід до оцінювання економічної ефективності технічних систем пожежогасіння, який базується на поєднанні порівняльного аналізу, розрахунково-аналітичних методів та елементів моделювання. Запропонований підхід передбачає поетапне визначення структури

витрат, формування бази порівняння та оцінювання результативності альтернативних рішень.

У межах дослідження розроблено структурно-аналітичну модель оцінювання економічної ефективності, яка відображає взаємозв'язок між вхідними параметрами системи, складовими витрат та інтегральним економічним ефектом. На відміну від існуючих підходів запропонована модель враховує можливість елімінування енергетичної складової витрат, що є ключовою перевагою інноваційного рішення.

За результатами проведених розрахунків встановлено, що використання мобільної установки забезпечує зниження сукупних витрат на один цикл пожежогасіння за рахунок відсутності витрат на паливо, зменшення експлуатаційних витрат і підвищення ефективності використання вогнегасних речовин. Визначено, що відносний економічний ефект може досягати 30–50% порівняно з традиційними та поширеними системами пожежогасіння, включно з рішенням типу CAFS.

Отримані результати підтверджують, що запропоноване технічне рішення є економічно доцільним і має потенціал для широкого практичного застосування в умовах підвищених вимог до енергоефективності та ресурсозбереження.

Наукова новизна дослідження полягає в розробці структурно-аналітичної моделі оцінювання економічної ефективності мобільних установок пожежогасіння, яка дозволяє формалізувати процес прийняття рішень щодо їх впровадження з урахуванням ключових факторів витрат.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості використання запропонованого підходу для обґрунтування управлінських рішень у сфері забезпечення пожежної безпеки, оптимізації витрат і підвищення ефективності функціонування систем локальної безпеки.

Перспективи подальших наукових розвідок пов'язані з розширенням моделі шляхом урахування стохастичних факторів функціонування систем пожежогасіння, проведенням багатофакторного аналізу чутливості економічної ефективності та інтеграцією вуглецевого показника в систему оцінювання. ■

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Несенюк Л., Савченко О., Ніжник В., Нікулін О. Методи оцінювання ефективності функціонування систем протипожежного захисту. Науковий вісник: *Цивільний захист та пожежна безпека*. 2022. № 2 (14). С. 134–142.
DOI: [https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.2\(14\).134-142](https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.2(14).134-142)

2. 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>
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. 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*. 2023. Vol. 140. Art. 103875.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103875>
5. Van Coile R., Lucherini A., Chaudhary R. K., Ni S., Unobe D., Gernay T. Cost-benefit analysis in fire safety engineering: State-of-the-art and reference methodology. *Fire Safety Journal*. 2020. Vol. 112. Art. 102967.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.102967>
6. 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. Art. 103593.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103593>
7. Chenzhi M., Van C. R., Gernay T. Fire protection costs in composite buildings for cost-benefit analysis of fire designs. *Journal of Constructional Steel Research*. 2024. Vol. 213. Art. 108517.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2024.108517>
8. 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. Art. 103351.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2024.103351>
9. Карпенко Ю. В. Установка для гасіння пожеж: матеріали заявки на патент України (неопубліковано). 2026. МПК: A62C 31/00, A62C 5/02, A62C 27/00, B05B 7/04.

REFERENCES

- Chenzhi M., Van C. R. & Gernay T. (2024). Fire protection costs in composite buildings for cost-benefit analysis of fire designs. *Journal of Constructional Steel Research*, 213. Art. 108517. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2024.108517>
- Karpenko Yu. V. (2026). Ustanovka dlia hasinnia pozhezh: materialy zaiavky na patent Ukrainy (neopublikovano). 2026. MPK: A62C 31/00, A62C 5/02, A62C 27/00, B05B 7/04 [Installation for extinguishing fires: materials of the patent application of Ukraine (unpublished)]. 2026. IPC: A62C 31/00, A62C 5/02, A62C 27/00, B05B 7/04].
- 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. Art. 103593.
<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103593>

Lisovyi A. V. & Andrukh O. V. (2025). Enerhetychna bezpeka Ukrainy: vyklyky viiny ta perspektyvy vidnovlennia ekonomichnoho potentsialu [Energy security of Ukraine: war challenges and prospects for restoring economic potential]. *Ukrainskyi ekonomichni chasopys*, № 8, 40–43.
<https://doi.org/10.32782/2786-8273/2025-8-7>

Neseniuk L., Savchenko O., Nizhnyk V. & Nikulin O. (2022). Metody otsiniuvannia efektyvnosti funktsionuvannia system protypozhezhnoho zakhystu [Methods for evaluating the functional effectiveness of fire protection systems]. *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, № 2 (14), 134–142.
[https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.2\(14\).134-142](https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.2(14).134-142)

Pelekh R. L. & Marych V. M. (2025). Analiz chynnykiv, shcho vplyvaiut na efektyvnist system pozhezhehasinnia tonkorozpylenoiu vodoiu [Analysis of factors influencing the effectiveness of water mist fire suppression systems]. *Pozhezhna bezpeka*, 46, 106–115.
<https://doi.org/10.32447/20786662.46.2025.11>

Van Coile R., Lucherini A., Chaudhary R. K., Ni S., Unobe D. & Gernay T. (2020). Cost-benefit analysis in fire safety engineering: State-of-the-art and reference methodology. *Fire Safety Journal*, 112. Art. 102967.
<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.102967>

Waring S., Giles S., Bromley C., Maden M., Boland A., Ashworth E. & Pandey G. (2023). Economic analysis of fire and rescue service activities: A scoping review. *Fire Safety Journal*, 140. Art. 103875.
<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103875>

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. Art. 103351.
<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2024.103351>

Стаття надійшла до редакції / Received: 11.04.2026
 Статтю прийнято до публікації / Accepted: 24.04.2026
 Оприлюднено / Published: 11.06.2026