



DOI <https://doi.org/10.32447/20786662.47.2025.05>

Д. П. Войтович, Р. Ю. Сукач

*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,
м. Львів, Україна*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2280-5585> – Д. П. Войтович

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

✉ science_ukr@ukr.net

АНАЛІЗ НЕДОЛІКІВ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Вступ. Статтю присвячено аналізу особливостей гасіння пожеж на енергетичних об'єктах в умовах воєнних дій і специфіки нормативно-правового забезпечення протипожежного захисту.

Мета дослідження – виявлення проблемних аспектів функціонування систем пожежогасіння енергетичної інфраструктури в умовах війни та визначення шляхів удосконалення нормативної бази з урахуванням міжнародного досвіду. Під час наукового дослідження використовувалися загальнонаукові методи пізнання: аналіз, синтез, порівняння, узагальнення та системний підхід.

Результати дослідження показують, що міжнародна практика протипожежного захисту енергетичних об'єктів ґрунтується на комплексному поєднанні активних і пасивних заходів. Зокрема, зроблено акцент на вивченні стандарту NFPA 850, де досліджено вимоги щодо впровадження сучасних активних систем пожежогасіння, як-от водяний туман, піна, газові установки та системи швидкого скидання тиску. Це дає змогу мінімізувати ризики вибухів і поширення вогню. Поряд із цим показано, що стандарт ІЕС 61936-1 визначає більш детальні аспекти щодо дотримання відстаней між трансформаторами, класифікації рідин, вимог до вогнестійкості стін і врахування сейсмостійкості. Досліджено, що українська нормативна база є достатньо розвиненою, містить «Інструкцію з гасіння пожеж на енергетичних об'єктах» та інші документи, які регламентують порядок дій у разі загоряння трансформаторів, кабельних тунелів і генераторів. Значна увага приділяється безпеці персоналу, застосуванню діелектричних засобів захисту, а також правилам використання води, інертних газів і піни. Водночас показано, що вітчизняні норми розроблялися переважно в умовах мирного часу, через що вони не враховують сучасних викликів. Недостатньо врегульованими залишаються питання вибухостійкості стін, необхідності використання систем швидкого зниження тиску, сучасної класифікації трансформаторів та екологічних обмежень щодо застосування вогнегасячих речовин. Для забезпечення практичної цінності дослідження запропоновано конкретні напрями вдосконалення нормативної бази, а саме: запровадження вимог до систем швидкого скидання тиску; деталізація параметрів автоматичних систем пожежогасіння; установлення норм вибухостійкості протипожежних стін; введення екологічних обмежень щодо піноутворювачів; інтеграція пожежної автоматики із системами керування енергетичними об'єктами й уточнення класифікації трансформаторів за типом діелектричних рідин.

Ключові слова: енергетичні об'єкти, пожежогасіння, війна, нормативна база, захисні споруди.

D. P. Voytovych, R. Yu. Sukach

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

ANALYSIS OF SHORTCOMINGS IN THE FIRE PROTECTION OF CRITICAL INFRASTRUCTURE FACILITIES

Introduction. The article focuses on analyzing the peculiarities of fire extinguishing at energy facilities under wartime conditions and the specifics of regulatory and legal support for fire protection.

The purpose of the study is to identify problematic aspects in the functioning of fire extinguishing systems within the energy infrastructure during war and to determine ways of improving the regulatory framework with consideration of international experience.

The research employed general scientific methods of cognition: analysis, synthesis, comparison, generalization, and a systematic approach. The findings demonstrate that international fire protection practices for energy facilities are based on a comprehensive combination of active and passive measures. Particular attention is given to the NFPA 850 standard, which addresses requirements for implementing modern active fire suppression systems, such as water mist, foam, gas installations, and rapid pressure relief systems. These measures help minimize the risks of explosions and fire spread. At the same time, IEC 61936-1 specifies more detailed aspects related to transformer spacing, fluid classification, fire resistance requirements for walls, and seismic resistance considerations. The study shows that the Ukrainian regulatory framework is relatively developed and includes the "Instruction on extinguishing fires at energy facilities" and other documents that regulate procedures in case of transformer, cable tunnel, and generator fires. Significant attention is devoted to personnel safety, the use of dielectric protective equipment, and the rules for applying water, inert gases, and foam. However, it is demonstrated that domestic standards were mainly developed in peacetime and therefore do not address current challenges. Issues such as explosion resistance of walls, the necessity of rapid pressure reduction systems, modern transformer classification, and environmental restrictions on fire suppression agents remain insufficiently regulated. For the study's practical value, several specific directions for improving the regulatory framework have been proposed, namely: introducing requirements for rapid pressure-relief systems; specifying the parameters of automatic fire-extinguishing systems; establishing explosion-resistance standards for fire barriers; implementing environmental restrictions on foam-forming agents; integrating fire-protection automation with control systems of energy facilities; and refining the classification of transformers based on the type of dielectric liquids.

Key words: energy facilities, fire extinguishing, war, regulatory framework, protective structures.

Постановка проблеми. В умовах воєнної агресії проти України енергетична інфраструктура стала однією з головних цілей масованих атак противника. Руйнування трансформаторних парків, розподільчих підстанцій та інших елементів енергосистеми не лише загрожує стабільності енергопостачання, але й створює критичні ризики для національної безпеки. У відповідь на ці виклики розпочалося широке впровадження інженерних захисних споруд, які підвищують стійкість енергетичних об'єктів до ураження, але водночас змінюють умови організації та проведення тактики їх гасіння. Таким чином, виникає потреба в комплексному науковому аналізі поєднання заходів фізичного захисту та систем протипожежної безпеки.

Особливу актуальність дослідження визначає необхідність інтеграції міжнародних стандартів та практик із національними нормативними документами. Міжнародні регламенти (зокрема, NFPA 850 та IEC 61936-1) пропонують систематизовані підходи до організації протипожежного захисту, які базуються на багаторівневих технічних і організаційних рішеннях. Водночас українська нормативна база розроблялася в мирний час і не враховує специфіки воєнного середовища, де додаткові інженерні укриття можуть ускладнювати доступ пожежно-рятувальних підрозділів і роботу стаціонарних систем. Це зумовлює потребу в порівняльному аналізі та формуванні рекомендацій щодо вдосконалення існуючих підходів.

Аналіз останніх наукових досліджень і публікацій. Питання особливостей гасіння енергетичних об'єктів в умовах війни є достатньо

дослідженим як у вітчизняній, так і в зарубіжній науковій літературі, адже проблематика безпеки критичної інфраструктури набула особливої актуальності у зв'язку з воєнними діями проти України. Значний внесок у розвиток теми зробили вітчизняні дослідники, серед яких варто відзначити В. М. Баланюка, В. С. Мирошкіна, Н. І. Гузар, О. І. Гарасим'юка та Ю. О. Копистинського [1], які запропонували підвищення ефективності гасіння пожеж на відкритих електричних підстанціях шляхом використання вогнегасних аерозолів, що є особливо важливим в умовах дефіциту ресурсів під час воєнного стану. Нормативні аспекти відображені в методичних рекомендаціях Генерального штабу Збройних Сил України [2] та інструкції Міністерства юстиції України [3], де визначено технічні й організаційні засади ліквідації пожеж на енергетичних об'єктах.

Серед зарубіжних авторів важливими є праці Р. Anakhov [5], який аналізує способи захисту критичної енергетичної інфраструктури від терористичних і воєнних загроз, та М. Betuš, М. Konček, М. Šofranko, J. Čambal і М. Ondov [6], які дослідили методи гасіння пожеж на об'єктах із високою напругою, підкреслюючи потребу в адаптації технологій до екстремальних умов. Міжнародні стандарти також відіграють значну роль у формуванні сучасної системи пожежної безпеки: IEC 61936-1 [7] та NFPA 850 [8] встановлюють загальні вимоги і практичні рекомендації для високовольтних електроустановок та електростанцій.

Особливу увагу заслуговує публікація J. Przybylak [9], яка висвітлює ризики експлуатації атомних електростанцій у зонах бойових дій, та

дослідження М. Schmitt [10], де розглянуто правові аспекти атак на енергетичну інфраструктуру в контексті міжнародного гуманітарного права. Додатково праця О. Василюка, Е. Сімонова, А. Давидової, В. Колодежної та Я. Спінової [11] висвітлює екологічні наслідки руйнування енергетичних об'єктів, що прямо впливають на безпечність проведення аварійно-рятувальних робіт.

Попри достатню кількість літератури із цієї теми, відчувається нестача систематизованого матеріалу щодо особливостей гасіння пожеж на енергетичних об'єктах у воєнних умовах, а тому з використанням різних методів наукового пізнання було проаналізовано, згруповано й узагальнено інформацію і подано її у світлі теми дослідження.

Методологія та методи. Методологічна основа дослідження ґрунтується на поєднанні нормативно-аналітичного підходу, порівняльного аналізу міжнародних (NFPA 850, IEC 61936-1) та національних регламентів [1–8], а також застосуванні базових інженерних моделей оцінювання пожежних ризиків для енергетичних об'єктів. У роботі використано методи кількісного порівняння характеристик пожежної безпеки, зокрема розрахунок радіаційного теплового потоку, аналіз впливу геометрії інженерних укриттів на час доступності до трансформаторів та оцінювання відповідності меж вогнестійкості й мінімальних протипожежних відстаней різних нормативних систем. Для обґрунтування висновків проведено систематизацію вимог нормативних документів, моделювання критичних сценаріїв пожеж та їхнього впливу на можливості гасіння в умовах бойових дій. Такий комплексний підхід забезпечив інтеграцію теоретичного аналізу, інженерних розрахунків та нормативної оцінки з метою виявлення структурних прогалин і формування практичних рекомендацій щодо адаптації протипожежного захисту енергетичних об'єктів у воєнний період.

Мета статті полягає у стислому аналізі міжнародних і національних нормативів пожежогасіння енергетичних об'єктів із врахуванням сучасних умов війни та визначенні напрямів їх удосконалення. У межах дослідження вирішуються завдання: вивчення міжнародної практики протипожежного захисту (NFPA 850, IEC 61936-1), оцінка української нормативної бази з виокремленням її сильних сторін і прогалин, а також встановлення специфіки пожежогасіння в умовах воєнних загроз з окресленням потреби в адаптації чинних інструкцій до нових реалій.

Виклад основного матеріалу. В умовах війни об'єкти енергетичної інфраструктури України стали найбільш уразливими цілями, на які здійснюються систематичні та масовані атаки з боку

противника. Руйнування трансформаторних парків, розподільчих підстанцій та інших елементів енергосистеми безпосередньо загрожує стабільності роботи енергетичного сектору та національній безпеці загалом.

У відповідь на цю загрозу Міністерством та Генеральним штабом Збройних Сил України були розроблені й оприлюднені Методичні рекомендації з інженерного захисту будівель, споруд та дахів об'єктів критичної інфраструктури [2]. Цей документ став основою для широкого впровадження інженерних захисних споруд на всіх ключових енергетичних об'єктах. У практиці вже застосовуються різноманітні конструктивні рішення, класифіковані та подані в табл. 1.

Разом із тим постає важливе питання: попри наявність багаторівневого інженерного захисту, прямі влучання боєприпасів залишаються неминучими, а отже, виникають пожежі, які потребують негайної локалізації та ліквідації. У цій ситуації ключовим є з'ясування, наскільки різні типи захисних споруд сприяють або, навпаки, ускладнюють процес гасіння пожеж. Доступ до критичного обладнання (трансформаторів, вимикачів, шинних систем) може бути обмежений, що потребує адаптації як стаціонарних, так і мобільних систем пожежогасіння.

Для того щоб оцінити доцільність та ефективність впроваджених інженерних рішень, необхідним є аналіз нормативних джерел, які визначають вимоги до засобів гасіння, дистанцій доступу та технічних заходів безпеки [3; 8; 7]. Саме із цього починається дослідження проблеми – вивчення міжнародних і національних стандартів, що визначають принципи організації систем протипожежного захисту в умовах підвищеної воєнної небезпеки.

Аналіз міжнародної практики (табл. 2) організації протипожежного захисту енергетичних об'єктів демонструє наявність усталених стандартів, що регламентують як технічні, так і організаційні заходи пожежної безпеки. Серед них особливе значення мають NFPA 850 (США) та IEC 61936-1 (ЄС), які визначають підходи до безпечної експлуатації трансформаторів та інших високовольтних установок [8; 7].

У документі NFPA 850: Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations (2020) визначено комплексну систему протипожежного захисту електрогенеруючих станцій і підстанцій. Основна концепція цього стандарту полягає у мінімізації наслідків аварій і запобіганні поширенню пожежі від одного трансформатора на інші елементи інфраструктури чи будівлі.

Види захисних споруд для енергетичних об'єктів

№	Тип захисної споруди	Короткий опис конструкції	Пожежна безпека та можливості гасіння
1	Перешкоди з рухомого складу / контейнерів	Списані вагони або контейнери, розташовані в 1–2 яруси, заповнені піском / ґрунтом; додатково біг-беги зверху	Складність доступу до КЕ. Для гасіння – залишати проходи (0,7 м). Застосовувати стаціонарні системи пожежогасіння (піна / вода / газ) або подавати воду ззовні через спеціальні отвори
2	Перешкоди з біг-бегів / габіонів / плит	Стіни з бетонних плит (зварюються) або насипи з біг-бегів і габіонів у 2–3 яруси, вище КЕ	Добре локалізують вибух і уламки. Для гасіння потрібні стаціонарні трубопроводи з насадками або переносні стволи через вузькі проходи. Внутрішні стіни можна викласти мішками з піском для зниження уламків
3	«Саркофаг» (метал + ґрунт)	Каркас зі сталевих колон і ферм, обшитий металевими листами, з проміжками, засипаними ґрунтом; дах із плит і канатних елементів	Максимальна перешкода для доступу. Пожежогасіння організовують через стаціонарні системи пожежогасіння всередині укриття (спринклери, газове). Потрібні люки / проходи для подачі води / піни
4	Ланцюгові екрани	Підвішені на опорах ЛЕП ланцюги / троси, які збивають БПЛА / ракети	На пожежогасіння не впливають, доступ відкритий. Використовуються як бар'єр на підходах
5	Пасивний захист зі сталевих опор і сітки	Високі стійки з натягнутою металевою та полімерною сіткою (20–100 м). Змінює траєкторію засобів ураження	Доступ до КЕ зберігається. Гасіння можливе звичайними методами (водяні стволи, системи піноутворення). Обмеження – складність доступу техніки під сіткою
6	Просторові каркаси з сітками	Металеві / дерев'яні каркаси, перекриті дротовою чи геотекстильною сіткою; висота $\geq 2,5$ м над дахом споруди	Пожежогасіння можливе, але ускладнене. Потрібно передбачити спеціальні отвори для прокладання рукавів і доступу стволів
7	Кутові відбивачі (металеві «кути»)	Металеві тригранні відбивачі для спотворення РЛС-картини (на землі, на воді)	Не впливають на пожежогасіння, оскільки не перекривають доступ до обладнання
8	Ґрунтові вали	Насипи піску / ґрунту (1:1), ущільнені котками; висота більша за КЕ. Можливе нарощування контейнерами чи біг-бегами	Можуть ускладнювати доступ, але дають добру ізоляцію. Для гасіння – стаціонарні системи пожежогасіння або прокладання спеціальних каналів / люків у валу для подачі води

Примітка: систематизовано авторами на основі [2].

Акцент робиться на активних системах пожежогасіння. Для трансформаторів дозволяється використання води, піни, водяного туману, інертних газів та навіть аерозольних систем. Особливе місце посідають технології швидкого скидання тиску (fast depressurization systems), які реагують за мілісекунди та запобігають вибуховому руйнуванню бака трансформатора. Завдяки цьому значно знижується ризик масштабної пожежі й забезпечується збереження дорогого обладнання. У низці випадків також передбачається можливість введення спеціальних речовин (наприклад, вуглецевих матеріалів), що пригнічують процес горіння.

Документ встановлює жорсткі вимоги до розташування трансформаторів. Маслонаповнені трансформатори повинні мати протипожежні

відстані від кількох метрів (для невеликих установок) до 15 м (для великих агрегатів). Якщо таке розміщення неможливе, передбачається встановлення протипожежних стін (firewalls) з межею вогнестійкості не менше ніж 2 години. Такі стіни повинні перевищувати габарити трансформатора і виступати мінімум на 0,6 м за його межі. Крім того, обов'язковими є системи уловлювання масла (oil containment systems), що перешкоджають розтіканню горючої рідини та її займання на суміжних ділянках.

Окрему увагу NFPA 850 приділяє альтернативним діелектричним рідинам, які є негорючими. Використання таких рідин значно знижує імовірність займання, що в поєднанні з активними системами захисту підвищує надійність об'єкта. Важливим компонентом є також організаційні

Особливості пожежогасіння енергетичних об'єктів згідно з NFPA 850

Аспект	Особливості
Типи систем пожежогасіння	Використовуються вода, піна, водяний туман, інертні гази; рекомендовані compressed air foam systems
Системи швидкого скидання тиску (Fast Depressurization)	Механічна система, що спрацьовує за мілісекунди після аварії, знижує тиск у трансформаторі та запобігає вибуху
Аерозольні системи	Застосовуються в невеликих приміщеннях як допоміжний засіб гасіння
Активне введення вуглецю (Carbon injection)	Введення вуглецевих матеріалів для інгібування процесу горіння в певних випадках
Протипожежні відстані (масляні трансформатори)	Відстані залежать від об'єму масла: < 500 гал – мінімальні вимоги; 500–18 925 гал – 7,6 м; > 18 925 гал – 15 м
Протипожежні стіни (Firewall)	Мають мати вогнестійкість не менше ніж 2 години, бути вищими за трансформатор і виступати мінімум на 0,6 м за його межі
Системи уловлювання масла (Oil containment)	Обов'язкові уловлювачі для запобігання розтіканню масла та його займання на сусідніх об'єктах
Використання негорючих діелектричних рідин	Рекомендоване застосування нефламованих рідин для зменшення ризику загоряння
Захист від вибухів і уламків	Firewall має витримувати вибухи вводів чи баків; можливе застосування додаткових захисних щитів
Організаційні заходи	Програма управління пожежними ризиками, навчання персоналу, інтеграція SCADA – системи для моніторингу пожеж

Примітка: систематизовано авторами на основі [8].

заходи: розробка програм управління пожежними ризиками, регулярна підготовка персоналу, наявність інтегрованих систем моніторингу та сигналізації (SCADA).

Міжнародний стандарт IEC 61936-1: Power installations exceeding 1 kV AC – Part 1: General (2021) відрізняється від NFPA 850 іншим акцентом: у центрі уваги перебиває пасивний протипожежний захист. Його вимоги насамперед стосуються правил проєктування, розташування та класифікації трансформаторів за типом діелектричних рідин (масляні, менш горючі, сухі) [6].

Документ чітко визначає мінімальні відстані між трансформаторами залежно від їхньої конструкції та об'єму рідини: від 0,9 м для сухих трансформаторів до 15 м для великих маслonaповнених. У випадках, коли забезпечити такі відстані неможливо, обов'язковим є встановлення протипожежних стін із межею вогнестійкості EI 60 (60 хвилин) або навіть REI 90 (90 хвилин). Таким чином, IEC формує більш детальну систему класифікації та нормування, яка дає змогу гнучко враховувати реальні умови експлуатації (табл. 3).

У міжнародних стандартах, зокрема IEC 61936-1, активні системи пожежогасіння згадуються лише опосередковано, переважно як засіб зменшення протипожежних відстаней між трансформаторами, без деталізації їхньої технологічної специфіки. Натомість IEC приділяє значну

увагу питанням сейсмостійкості та впливу вібрацій на енергетичні установки, що майже не розглянуто в NFPA 850. Узагальнення міжнародної практики засвідчує наявність систематизованих правил протипожежного захисту енергетичних об'єктів, орієнтованих на багаторівневий підхід і забезпечення працездатності обладнання за умов аварій.

Слід наголосити, що стандарти NFPA 850 та IEC 61936-1 розроблялися в мирний час і не враховують ризиків, властивих воєнному середовищу. В українських умовах до стандартних вимог додається необхідність реалізації захисних укриттів і споруд, які підвищують стійкість до атак, але водночас можуть ускладнювати доступ пожежно-рятувальних підрозділів і роботу стаціонарних систем пожежогасіння. Попри це, обидва документи залишаються базовими орієнтирами для проєктування й експлуатації енергетичних об'єктів [8; 7].

Українське нормативне регулювання ґрунтується на Інструкції з гасіння пожеж на енергетичних об'єктах України, затвердженій Мін'юстом [3]. Вона визначає загальні принципи та спеціалізовані алгоритми дій під час пожеж на електроустановках, що перебувають під напругою. Пріоритетом є безпека персоналу та рятувальників: застосовуються засоби гасіння, які мінімізують ризик ураження струмом; використання розпиленої води дозволяється лише з дотриманням

Відмінності NFPA 850 та ІЕС 61936-1

Аспект	NFPA 850	ІЕС 61936-1
Активні системи гасіння	Докладний опис (вода, піна, туман, інертні гази, аерозолі, fast depressurization)	Лише згадка: дають можливість зменшити відстані, без деталізації
Вогнестійкість firewall	Мінімум 2 години	EI 60 (60 хв), у деяких випадках REI 90 (90 хв)
Вимоги до відстаней	Єдині норми для маслонаповнених трансформаторів (до 15 м залежно від об'єму)	Чітка таблиця: масляні (O), менш горючі (K), сухі (A) з різними значеннями від 0,9 до 15 м
Технологія зниження тиску	Fast depressurization systems – обов'язкові для високої надійності	Відсутня згадка
Класифікація трансформаторів	Загальна рекомендація використовувати негорючі рідини	Окрема класифікація: O, K, A з урахуванням об'єму та рівня захисту
Сейсмостійкість та вібрації	Майже не розглядається	Спеціальний розділ з урахуванням сейсмічних навантажень і вібрацій

Примітка: систематизовано авторами на основі джерел [7; 8].

нормативної дистанції залежно від класу напруги; ручні стволи та насоси підлягають заземленню. Піна заборонена через електропровідність [1]. Усі роботи здійснюються в діелектричних засобах захисту.

Для кабельних споруд головним завданням є запобігання поширенню вогню вздовж трас. У разі неспрацювання автоматики системи пожежогасіння запускаються дистанційно або вручну; застосовуються водяні завіси або повне заповнення приміщення повітряно-механічною піною після перевірки відсутності персоналу [6].

У разі пожежі в генераторах і компенсаторах передбачається аварійне відключення з подальшим використанням стаціонарної водяної системи (для машин із повітряним охолодженням) або інертних газів – CO₂, N₂ – для витіснення водню й усунення вибухонебезпечності (для машин із водневим охолодженням) [3]. Додатково здійснюється охолодження металевих ферм перекриття. У разі аварій маслосистем здійснюється аварійний злив у резервуари або вмикаються системи зрошення [1].

Для трансформаторів і маслонаповнених реакторів алгоритм передбачає негайне відключення та заземлення, після чого допускається застосування розпиленої води або піни. У разі внутрішнього пошкодження з викидом масла засоби гасіння подаються всередину бака через доступні отвори. Забороняється зливання масла. У великих пожежах пріоритетом стає охолодження конструкцій і сусіднього обладнання [6].

Інструкція також вимагає створення оперативних карток пожежогасіння для кожного енергетичного об'єкта – з текстовими та графічними схемами будівель, обладнання, вододжерел,

маршрутів руху техніки й алгоритмами дій для різних типів обладнання [3].

В умовах війни додаткове значення має документ ДСНС – Рекомендації щодо виконання завдань у населених пунктах під час збройної агресії (наказ від 02.04.2024 № 375) [4]. Він визначає вимоги до організації служби та безпеки особового складу під час бойових дій: застосування засобів бронезахисту, оснащення рятувальників індивідуальними аптечками та турнікетами, забезпечення пожежної техніки медичними укладками та ношами, організація взаємодії з військовими структурами, використання безпечних маршрутів та підтримання зв'язку навіть за умов РЕБ [4].

Основні положення документа систематизовано в таблиці 4.

Таким чином, у контексті гасіння пожеж на енергетичних об'єктах ці положення мають принципове значення: додатковий бронезахист і спеціальні процедури роботи забезпечують зниження ризиків для особового складу в умовах масованих атак і повторних обстрілів.

Отже, українська нормативна база у сфері пожежогасіння на енергетичних об'єктах є досить детальною і врегульованою. Вона встановлює як технічні вимоги, так і організаційні процедури, орієнтуючись на гарантію безпеки персоналу й мінімізацію пошкоджень обладнання. Водночас ці інструкції створювалися в мирний час і не враховували специфіки застосування інженерних захисних споруд, як-от залізобетонні саркофаги, габіони, ґрунтові вали чи контейнери, що нині широко використовуються для захисту трансформаторів та підстанцій від повітряних атак [2; 5]. Сучасна практика показує, що додаткові споруди, з одного боку, підвищують стійкість до ураження, а з іншого – можуть ускладнювати доступ

Основні вимоги наказу ДСНС № 375 (02.04.2024) щодо дій підрозділів у воєнний час

№	Аспект	Ключові вимоги	Значення для гасіння пожеж на енергетичних об'єктах
1	Засоби індивідуального захисту	Обов'язкове використання бронежилетів, бронешоломів; кожен рятувальник має бути забезпечений аптечкою з турнікетом	Зниження ризику ураження за повторних обстрілів під час гасіння
2	Медичне забезпечення	Пожежно-рятувальні автомобілі комплектуються медичними укладками та ношами	Можливість оперативного надання допомоги пораненим у зоні бойових дій
3	Укриття та безпека	Наявність укриттів у місцях дислокації; відпрацьовані маршрути переміщення; сигнал «Увага, небезпека» для негайного відходу	Забезпечення збереження особового складу навіть під час повторних атак
4	Взаємодія з військовими	Постійна координація з ЗСУ, Нацгвардією, поліцією, штабами ТрО; супровід підрозділів у небезпечних районах	Гарантування безпечного доступу до енергетичних об'єктів, що перебувають під загрозою
5	Пересування	Використання лише безпечних маршрутів (основного та запасного), рух колон із дистанцією 100–150 м, мінімізація зупинок	Зменшення ризику ураження техніки й персоналу під час виїзду до місця пожежі
6	Зв'язок і моніторинг	Використання радіо, супутникового зв'язку («Старлінк»), дублювання ПЗЧ у захисних спорудах, чергування моніторингу повітряної обстановки	Безперервне управління підрозділами та своєчасне оповіщення про нові загрози
7	Організація служби	Чергування вахтовим методом у прифронтових районах; ротація особового складу за тривалих робіт; психологічна підтримка	Підтримання працездатності та моральної стійкості рятувальників
8	Взаємодія з населенням	Виконання завдань з евакуації, життєзабезпечення та гуманітарної допомоги в умовах обстрілів	Підвищення довіри до сил цивільного захисту та стабілізація ситуації

Примітка: систематизовано авторами на основі [4].

пожежно-рятувальних розрахунків і роботу стаціонарних систем пожежогасіння.

Проаналізувавши зарубіжну літературу, міжнародні стандарти та чинні нормативні акти України, можна виокремити ключові прогалини у вітчизняному законодавстві у сфері пожежогасіння енергетичних об'єктів, які доцільно адаптувати з урахуванням напрацьованої міжнародної практики.

1) відсутність вимог до систем швидкого скидання тиску. В українських нормах не прописано, що трансформатори повинні мати механізми, які миттєво знижують тиск усередині бака в разі аварії. У міжнародній практиці (наприклад, у США) така технологія визнається одним із ключових способів запобігання вибухам;

2) недостатня деталізація автоматичних систем пожежогасіння. Європейські та українські стандарти лише зазначають, що застосування автоматичних систем може сприяти скороченню відстані між трансформаторами. Але не пояснюють, які саме це мають бути системи: водяний туман, піна, газові установки чи інші, і які параметри вони повинні мати. У NFPA це описано детально;

3) немає норм щодо стійкості протипожежних стін до вибуху. Українські документи вимагають

лише певну вогнестійкість стін (наприклад, 60 або 90 хвилин). Але не враховується, що в разі аварії можливий вибух, який може зруйнувати перегородку. У NFPA акцент робиться також на здатності стін витримувати вибухові навантаження;

4) відсутність екологічних вимог до засобів пожежогасіння. У нас не визначено, які речовини можуть бути використані для гасіння, щоб вони не шкодили довкіллю. Наприклад, у світі зараз активно обговорюють заборону піноутворювачів із токсичними сполуками (так звані PFAS), а в українських документах цього немає;

5) недостатня увага до інтеграції пожежної автоматики із системами управління станцією. Українська інструкція з гасіння пожеж описує порядок дій людей, але не встановлює вимог до того, як автоматичні системи виявлення та гасіння мають бути підключені до загальної системи керування станцією чи до диспетчерських центрів;

6) відсутність сучасної класифікації трансформаторів за типом рідини. У міжнародних стандартах чітко розділяють трансформатори: з мінеральною оливою, з менш горючими рідинами та сухі. Від цього залежать протипожежні вимоги. Українські норми відтворюють цю систему лише

частково й не завжди дають достатньо точні орієнтири для проєктантів.

З метою здійснення емпіричного дослідження виконано низку розрахункових оцінок, що дають змогу визначити вплив конструктивних захисних споруд на параметри пожежогасіння та зіставити вимоги міжнародних і національних стандартів.

1. Оцінювання радіаційного теплового потоку під час пожежі трансформатора. Розрахунок проведено для типового маслonaповненого трансформатора об'ємом 10 000 л. Згідно з методикою NFPA 850, тепловий потік q_r на відстані R визначається:

$$Q_r = x \cdot Q / 4\pi R^2,$$

де

$X = 0,35$ – частка теплового випромінювання;

$Q = 3,8 \cdot 10^7$ кДж – теплота повного згоряння оливи.

Для відстані 7,6 м (норма NFPA для трансформаторів середнього об'єму): $q_r = 18,3$ кВт/м².

Для відстані 5 м (типова українська практика розміщення): $q_r = 42,2$ кВт/м².

Таким чином, зменшення відстані на 2,6 м збільшує теплове навантаження на 130 %, що суттєво ускладнює гасіння та потребує захисних стін або водяного туману (табл. 6).

2. Моделювання впливу інженерних укриттів на час доступу до трансформатора. Використано спрощену модель доступності:

$$t_{acc} = t_0 + \Delta t_h + \Delta t_c,$$

де

t_0 – базовий час доступу (95–120 с для підстанцій 110–330 кВ);

Δt_h – додатковий час через висоту укриття;

Δt_c – додатковий час через конфігурацію проходів.

Для типових споруд час доступності становитиме (табл. 5).

Отже, у середньому інженерні укриття збільшують час доступу на 41–92 %.

3. Розрахунок мінімальної необхідної інтенсивності водяного гасіння. Відповідно до NFPA 850, мінімальна інтенсивність подачі води: $I = 0,25$ л/(см²).

Для трансформатора з площею охоплення полум'ям

$$A = 28 \text{ м}^2,$$

$$Q = I \cdot A = 7,0 \text{ л/с}.$$

Фактичні дані українських підрозділів ДСНС на енергетичних об'єктах показують, що реальна доступна подача становить 4,5–5,5 л/с (через обмеження гідрантів та рукавних ліній).

Отже, дефіцит водяної подачі становить 22–36 %, що пояснює підвищені ризики повторного займання.

4. Порівняння меж вогнестійкості протипожежних стін. Використано формальне зіставлення норм:

– NFPA 850: ≥ 120 хв;

– ІЕС 61936-1: EI 60 або REI 90 хв;

– українські норми: 60 хв (типово), інколи 90.

Розрахуємо коефіцієнт відповідності:

$$k = REI_{UA} / REI_{MFPA}.$$

Тоді для України за типової межі вогнестійкості 60 хв отримаємо значення $k = 60 / 120 = 0,50$, тобто українські протипожежні перегородки забезпечують лише половину рівня стійкості, передбаченого вимогами NFPA 850.

Мінімальна вимога ІЕС (EI 60) також дає $k = 0,50$, оскільки вона характеризується тією самою межею вогнестійкості – 60 хв. Проте важливо зазначити, що ІЕС допускає використання і вищого класу REI 90, що приводить до значення $k = 90 / 120 = 0,75$.

Таким чином, хоча базовий рівень ІЕС і українських норм формально збігається, міжнародний стандарт передбачає можливість застосування значно стійкіших перегородок. У підсумку українська практика у більшості випадків відповідає лише 50 % вимог NFPA щодо протипожежної стійкості, тоді як ІЕС – залежно від класу стіни – від 50 до 75 %. Це означає, що українські перегородки мають нижчу здатність протидіяти тепловому впливу та вибуховому тиску, що підвищує ризик прориву полум'я у разі аварійного пошкодження трансформатора.

5. Мінімальні відстані: чисельна різниця між нормами. Для оцінювання відповідності українських норм міжнародним практикам було

Таблиця 5

Визначення часу доступності для типових споруд

Тип укриття	Висота, м	Δt_h , с	Δt_c , с	t_{access} , с
Без укриття	0	0	0	105
Габіони у 2 яруси	2,2	+18	+25	148
Контейнери у 2 яруси	2,6	+27	+34	166
З/б «саркофаг»	3,0	+42	+55	202

проведено зіставлення мінімальних протипожежних відстаней між маслonaповненими трансформаторами об'ємом 10 000 л згідно з трьома нормативними системами: національною, IEC та NFPA. Результати розрахунків зведено в таблицю 6.

Як видно з табл. 6, українські вимоги до ізоляційних відстаней є найменшими серед трьох систем і на 40–52 % поступаються міжнародним нормам. Для інтерпретації цієї різниці важливо врахувати, що тепловий потік від пожежі

Таблиця 6

Зведений розрахунок мінімальних відстаней

Норматив	Відстань для масла 10 000 л	Різниця порівняно з UA
Україна	5 м	—
IEC	7 м	+40 %
NFPA	7,6 м	+52 %

трансформатора спадає пропорційно до квадрата відстані. Це означає, що навіть відносно незначне зменшення відстані призводить до суттєвого зростання теплового навантаження на сусідні елементи. Використовуючи модель оцінювання теплового випромінювання, можна визначити, що зменшення відстані з 7,6 м (рекомендація NFPA) до 5 м (поширена українська практика) збільшує величину теплового потоку, який діє на сусідній трансформатор або конструкцію, приблизно на 130 %. Таке зростання теплового навантаження здатне не лише прискорити нагрівання обладнання, але й спричинити його займистість або руйнування ізоляції, що істотно підвищує ризик перекидання вогню та розвитку масштабної аварії.

Слід також враховувати, що в міжнародних стандартах збільшені відстані використовуються не лише для зменшення радіаційного теплового впливу, але й для забезпечення коридорів доступу для пожежно-рятувальних підрозділів, можливості роботи мобільних засобів гасіння та створення додаткових зон безпеки для персоналу. У випадку України мінімально допустима відстань 5 метрів у поєднанні з інженерними укриттями, які активно впроваджуються під час війни, може створювати значні труднощі для організації оперативних дій та знижувати ефективність гасіння.

Таким чином, ключовим завданням сьогодні є адаптація нормативних інструкцій до реалій війни: потрібно інтегрувати вимоги до проектування захисних споруд із правилами пожежної безпеки, щоб досягти балансу між захищеністю обладнання та можливістю ефективного гасіння пожеж. Це дасть змогу забезпечити цілісність енергетичної інфраструктури й відповідність усім вимогам безпеки навіть в умовах воєнних загроз.

Висновки. Узагальнюючи результати аналізу, можна зробити такі висновки. Міжнародна

практика протипожежного захисту енергетичних об'єктів ґрунтується на комплексному поєднанні активних і пасивних заходів. Зокрема, стандарт NFPA 850 робить акцент на впровадженні сучасних активних систем (водяний туман, піна, газові установки, системи швидкого скидання тиску), що мінімізують ризики вибухів і поширення пожеж. Натомість IEC 61936-1 деталізує вимоги до відстаней між трансформаторами, класифікації рідин, вогнестійкості стін і враховує фактори сейсмостійкості. Обидва документи формують багаторівневу систему протипожежного захисту, яка дає можливість зберігати працездатність об'єктів навіть у кризових умовах.

Українська нормативна база також є досить розвинутою: «Інструкція з гасіння пожеж на енергетичних об'єктах» та інші акти регламентують алгоритми дій у разі пожеж на трансформаторах, кабельних тунелях, генераторах. Значна увага приділяється безпеці персоналу, використанню діелектричних засобів захисту, правильному застосуванню води, інертних газів та піни. Водночас українські норми створювалися переважно в умовах мирного часу й не враховують специфіку сучасних загроз. Зокрема, вони не передбачають вимог до вибухостійкості стін, систем швидкого зниження тиску, сучасної класифікації трансформаторів за типом рідин чи екологічних обмежень щодо засобів пожежогасіння. Поєднання міжнародних стандартів (NFPA, IEC), українських інструкцій та наказу ДСНС № 375 створює багаторівневу систему безпеки, яка охоплює не лише технічні, а й тактичні та організаційні аспекти роботи рятувальників.

Проведені розрахункові оцінки засвідчили наявність суттєвих розбіжностей між українськими нормативними вимогами та міжнародними стандартами в частині пожежної безпеки енергетичних об'єктів. Аналіз теплового випромінювання показав, що прийнята в Україні

протипожежна відстань 5 м забезпечує на 130 % більше теплове навантаження порівняно з нормою NFPA 850, що значно ускладнює гасіння та підвищує ризики перекидання пожежі. Моделювання доступності довело, що застосування інженерних захисних споруд збільшує час доступу до трансформаторів у середньому на 41–92 %, що прямо впливає на оперативність ліквідації пожеж. Розрахунки інтенсивності подачі води засвідчили дефіцит 22–36 % від нормативного рівня NFPA 850, що створює умови для повторного займання. Порівняння меж вогнестійкості протипожежних стін показало, що українські конструкції забезпечують лише 50 % рівня стійкості, передбаченого NFPA, та від 50 до 75 % вимог ІЕС. Чисельний аналіз протипожежних відстаней підтвердив, що українські вимоги на 40–52 % нижчі за міжнародні аналоги, що підвищує теплові й оперативні ризики під час гасіння. У сукупності ці результати демонструють, що чинні українські норми та фактичні практики експлуатації трансформаторних парків потребують системного оновлення з урахуванням міжнародних рекомендацій і реалій воєнного середовища.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Баланиук В. М., Мирошкін В. С., Гузар Н. І., Гарасим'юк О. І., Копистинський Ю. О. Підвищення ефективності гасіння пожеж на відкритих електричних підстанціях шляхом використання вогнегасних аерозолів. *Fire Safety*. 2023. № 43. DOI: <https://doi.org/10.32447/20786662.43.2023.02> URL: <https://sci.ldubgd.edu.ua/handle/123456789/13108>.
2. Методичні рекомендації з інженерного захисту будівель, споруд та дахів об'єктів критичної інфраструктури України. Заступник начальника Генерального штабу Збройних Сил України. URL: https://rada.info/upload/users_files/04378089/c38963081c5ea02a9b98059f26fc23a8.pdf.
3. Про затвердження Інструкції з гасіння пожеж на енергетичних об'єктах України. Міністерство юстиції України. 2012. № 13/20326. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/re20326?an=1>.
4. Рекомендації про особливості виконання органами управління та підрозділами ДСНС завдань за призначенням у населених пунктах і на територіях під час збройної агресії : затверджено наказом ДСНС від 02.04.2024 № 375.
5. Anakhov P. Defending the Critical Energy Infrastructure Facilities from Wartime Dangers and Terrorism. SSRN, 2024. URL: <https://ssrn.com/abstract=4931237>.
6. Betuš M., Konček M., Šofranko M., Čambal J., Ondov M. Methods of extinguishing fires in objects with high voltage. *Fire*. 2023. № 6 (11), 442. URL: <https://doi.org/10.3390/fire6110442>.
7. IEC 61936-1: power installations exceeding 1 kV AC – part 1: general. International Electrotechnical Commission (IEC), 2021. URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/17311/217c2112cd97480480fca7eec0b12a53/IEC-61936-1-2010-AMD1-2014.pdf>.
8. NFPA 850: recommended practice for fire protection for electric generating plants and high voltage direct current converter stations. National Fire Protection Association (NFPA), 2020. URL: <https://link.nfpa.org/all-publications/850/2020>.
9. Przybylak J. Nuclear power plants in war zones: lessons learned from the war in Ukraine. *Security and Defence Quarterly*. 2024. № 46 (2). P. 84–103. URL: <https://doi.org/10.35467/sdq/174810>.
10. Schmitt M. Attacking power infrastructure under international humanitarian law. Lieber Institute, 2022. URL: <https://lieber.westpoint.edu/attacking-power-infrastructure-under-international-humanitarian-law/>.
11. Vasyliuk O., Simonov E., Davydova A., Kolodezhna V., Spinova Y. Журнал робочої групи з екологічних наслідків війни в Україні. UWEC Work Group, 2024. № 21. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29127.10400>.

REFERENCES

1. Balaniuk, V. M., Myroshkin, V. S., Huzar, N. I., Harasymyuk, O. I., & Kopystynskyi, Yu. O. (2023). Pidvyshchennia efektyvnosti hasinnia pozhezh na vidkrytykh elektrychnykh pidstantsiiakh shliakhom vykorystannia vohnehasnykh aerezoliv [Increasing the efficiency of fire extinguishing at open electrical substations by using fire-extinguishing aerosols]. *Fire Safety*, 43. DOI: <https://doi.org/10.32447/20786662.43.2023.02>. Retrieved from: <https://sci.ldubgd.edu.ua/handle/123456789/13108> [in Ukrainian].
2. Zastupnyk nachalnyka Heneralnoho shtabu Zbroinykh Syl Ukrainy (n.d.). Metodychni rekomendatsii z inzhenernoho zakhystu budivel, sporud ta dakhiv ob'ektiv krytychnoi infrastruktury Ukrainy [Methodical recommendations on engineering protection of buildings, structures and roofs of critical infrastructure objects of Ukraine]. Retrieved from: https://rada.info/upload/users_files/04378089/c38963081c5ea02a9b98059f26fc23a8.pdf [in Ukrainian].
3. Ministerstvo yustytisii Ukrainy. (2012). Pro zatverdzhennia Instruktisii z hasinnia pozhezh na enerhetichnykh ob'iektakh Ukrainy [On the approval of the Instruction on extinguishing fires at energy facilities of Ukraine]. No. 13/20326. Retrieved from: <https://ips.ligazakon.net/document/re20326?an=1> [in Ukrainian].
4. Derzhavna sluzhba z nadzvychainykh sytuatsii. (2024). Rekomendatsii pro osoblyvosti vykonannya orhanamy upravlinnia ta pidrozdilamy DSNS zavdan za pryznachenniam u naselenykh punktakh i na terytoriakh pid chas zbroinoi ahresii [Recommendations on the peculiarities of the performance of tasks by management bodies and units of the State Emergency Service in settlements and territories during armed aggression]. Nakaz DSNS vid 02.04.2024 № 375 [in Ukrainian].
5. Anakhov, P. (2024). Defending the critical energy infrastructure facilities from wartime dangers

and terrorism. SSRN. Retrieved from: <https://ssrn.com/abstract=4931237> [in English].

6. Betuš, M., Konček, M., Šofranko, M., Čambal, J., & Ondov, M. (2023). Methods of extinguishing fires in objects with high voltage. *Fire*, 6 (11), 442. DOI: <https://doi.org/10.3390/fire6110442> [in English].

7. International Electrotechnical Commission (IEC). (2021). IEC 61936-1: Power installations exceeding 1 kV AC – Part 1: General. Retrieved from: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/17311/217c2112cd97480480fca7eec0b12a53/IEC-61936-1-2010-AMD1-2014.pdf> [in English].

8. National Fire Protection Association (NFPA). (2020). NFPA 850: Recommended practice for fire protection for electric generating plants and high voltage direct current converter stations. Retrieved from: <https://link.nfpa.org/all-publications/850/2020> [in English].

9. Przybylak, J. (2024). Nuclear power plants in war zones: Lessons learned from the war in Ukraine. *Security and Defence Quarterly*, 46 (2), 84–103. DOI: <https://doi.org/10.35467/sdq/174810> [in English].

10. Schmitt, M. (2022). Attacking power infrastructure under international humanitarian law. Lieber Institute. Retrieved from: <https://lieber.westpoint.edu/attacking-power-infrastructure-under-international-humanitarian-law/> [in English].

11. Vasyliuk, O., Simonov, E., Davydova, A., Kolodezhna, V., & Spinova, Y. (2024). Zhurnal robochoi hrupy z ekolohichnykh naslidkiv viiny v Ukraini [Journal of the working group on environmental consequences of the war in Ukraine]. UWEC Work Group, 21. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29127.10400> [in Ukrainian].

© Д. П. Войтович, Р. Ю. Сукач

Оглядова стаття.

Стаття надійшла до редакції 21.09.2025

Стаття прийнята 04.10.2025

Статтю опубліковано 23.12.2025