

УДК 621.31:614.8:519.6

АНАЛІЗ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ОСНОВІ МАСИВІВ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2025.2.73-81>

Коваль Р. Р.^{1*}, ORCID iD 0000-0001-8970-2831
Пальчиков Р. В.², ORCID iD 0009-0004-7959-571X
*E-mail: koval_roman@nuczu.edu.ua

¹Інститут наукових досліджень з цивільного захисту НУЦЗ України, Україна

²Національний університет цивільного захисту України, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ	АНОТАЦІЯ
Надійшла до редакції: 24.08.2025	У статті розглянуто проблему пожежної небезпеки трансформаторного обладнання, яке є ключовим елементом енергетичної інфраструктури та визначає стабільність і надійність електропостачання у промислових і міських мережах. Пожежі трансформаторів супроводжуються значними матеріальними втратами, перебоями у функціонуванні енергосистеми та створюють загрозу життю і здоров'ю людей. Актуальність дослідження зумовлена зростанням частоти аварійних ситуацій в умовах воєнних дій, зношеності електротехнічного обладнання та збільшення навантаження на енергомережі, що потребує комплексного аналізу статистичних даних і побудови моделей оцінки пожежної небезпеки. У статті здійснено систематизацію та опрацювання масивів статистичної інформації щодо пожеж, які виникали на трансформаторах. Проаналізовано динаміку змін частоти пожеж за останні роки, визначено найбільш поширені причини займання та фактори, що впливають на поширення пожежі. Окрему увагу приділено кореляційним зв'язкам між технічним станом обладнання, умовами експлуатації та інтенсивністю пожежних ризиків. На основі узагальнених даних побудовано статистичні моделі оцінки небезпеки, що дозволяють прогнозувати ймовірність виникнення пожеж залежно від групи факторів ризику. Наукова новизна роботи полягає у застосуванні комплексного підходу до аналізу статистичних масивів, що поєднує класичні методи обробки даних з елементами ризик-орієнтованого аналізу. Це дозволило визначити пріоритетні напрями мінімізації небезпеки, зокрема підвищення надійності діагностування трансформаторів, модернізацію систем протипожежного захисту та формування бази для подальшого математичного моделювання ризиків. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання запропонованих підходів для оцінювання пожежної небезпеки трансформаторів, розроблення превентивних заходів та оптимізації системи техногенної безпеки енергетичної інфраструктури на основі статистичних даних.
Пройшла рецензування: 12.09.2025	
Опубліковано: 11.12.2025	
КЛЮЧОВІ СЛОВА:	
трансформатор, трансформаторна підстанція, масиви статистичних даних, пожежний ризик, протипожежний захист, ризик-орієнтований аналіз	

Постановка проблеми. Відповідно до статистичних даних половина пожеж в енергетичному секторі пов'язана саме з трансформаторним обладнанням. Магістральні та міждержавні електромережі об'єднаної енергетичної системи України мають протяжність близько 23 тис. км, на якій функціонує 137 підстанцій, сумарна трансформаторна

потужність яких сягає 78,6 тис. МВт – це близько 200 тис. трансформаторних підстанцій у діапазоні напруг 6-150 кВ.

Трансформатори виконують ключову роль у з'єднанні потужностей генеруючих об'єктів з розподільчими мережами та споживачами. Їхня відмова здатна спричинити масштабні перебої в енергопостачанні, що призводить до

знеструмлення житлових масивів, промислових підприємств і критичної інфраструктури. Масштаб таких наслідків важко передбачити, адже причини аварій можуть бути різноманітними, а їх перебіг – непередбачуваним. Особливо небезпечними трансформатори є з точки зору пожежної безпеки [1].

В умовах бойових дій ризики пошкодження трансформаторного обладнання значно зростають. Ураження підстанцій внаслідок ракетних або артилерійських обстрілів призводить не лише до механічних руйнувань, а й до виникнення масштабних пожеж через загоряння трансформаторного масла.

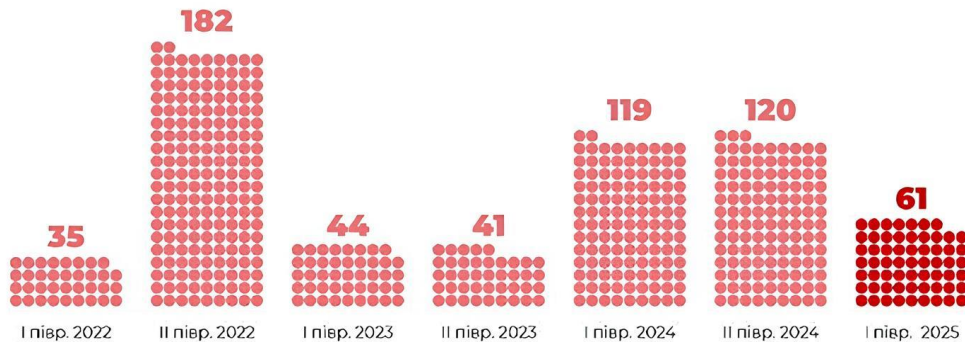


Рисунок 1 – Кількість ударів по трансформаторному обладнанню України у 2022-2025 рр.

Це створює додаткові ризики пожеж. Також ускладненням є обмежений доступ пожежно-рятувальних підрозділів до зруйнованого енергетичного обладнання, яке ще може перебувати під напругою, можливість нанесення повторних ударів під час локалізації аварійних ситуацій [1, 2].

Для прикладу наведемо пожежі, що виникли: 17 вересня 2022 року на території Слов'янської ТЕС в м. Миколаївка Краматорського району Луганської області відбулося загоряння трансформатору (Рис. 2.).



Рисунок 2 – Пожежа трансформатору в м. Миколаївка Краматорського району Луганської області.

Такі інциденти мають каскадний ефект: вихід з ладу одного або кількох трансформаторів може спричинити відключення цілих районів від електричного постачання, ускладнити роботу систем життєзабезпечення та створити додаткові загрози для населення й об'єктів критичної інфраструктури. Саме тому такі об'єкти як трансформаторне обладнання стали пріоритетною ціллю з моменту повномасштабного вторгнення агресора на територію нашої держави. За час воєнного стану по трансформаторному обладнанню ворог наніс близько 600 ударів (рис. 1).

По прибуттю на місце виклику встановлено, що пожежа відбулася внаслідок артилерійського обстрілу (загалом залучено 6 рятувальників та 1 одиниця техніки).

22 червня 2024 на території виробничого приміщення в Оболонському районі м. Києва в наслідок короткого замикання загорівся трансформатор (Рис. 3.);



Рисунок 3 – Пожежа трансформатору в Оболонському районі м. Києві

07 березня 2024 року в с. Кубей Болградського району Одеської області загорівся трансформатор на території електричної підстанції (Рис. 4.);



Рисунок 4 – Пожежа трансформатору в с. Кубей Болградського району Одеської області загорівся трансформатор на території електростанції

По прибуттю на місце виклику встановлено, що пожежа відбулася внаслідок короткого замикання (загалом залучено 10 рятувальників та 4 одиниці техніки).

16 лютого 2024 року в м. Луцьк горів трансформатор об'ємом мастила 400 літрів (рис. 5).



Рисунок 5 – Пожежа трансформатору в м. Луцьк

За викликом до місця події спрямували 20 рятувальників 1 та 2 державних ДПРЧ м. Луцька. Після знеструмлення об'єкта, рятувальники розпочали гасіння, застосовуючи генератор піни ГПС-600.

Пожежі на трансформаторах належать до категорії небезпечних техногенних подій, які можуть спричинити значні матеріальні збитки, порушення енергетичного постачання та створювати загрозу життю і здоров'ю людей. Актуальність проблеми зумовлена такими ключовими факторами:

1. Висока пожежна небезпека обладнання - трансформатори містять великі об'єми трансформаторного масла, яке одночасно виконує функції

охолодження та ізоляції, але при пошкодженнях чи перегріві є горючою рідиною із високою температурою горіння, яку складно погасити із використанням традиційних вогнегасних речовин.

2. Зростання техногенного навантаження - старіння енергетичної інфраструктури та підвищення рівня експлуатаційних навантажень призводять до збільшення кількості аварійних ситуацій.

3. Масштаб наслідків - вихід з ладу обладнання може спричинити тривалі відключення електричної енергії, локальні чи регіональні перебої в енергопостачанні, екологічні наслідки у разі розливу горючих рідин та утворення токсичних продуктів горіння.

4. Статистичні тенденції - аналіз масивів статистичних даних свідчить, що простежується тенденція до зростання частоти таких випадків, що обумовлено як фізичним зношенням обладнання, так і воєнними ризиками.

5. Складність гасіння - ліквідація пожеж трансформаторів потребує застосування спеціальних вогнегасних речовин наприклад використання води приводить до скіпання горючого трансформаторного масла та збільшення площі пожежі.

6. Недостатній рівень профілактики - проблемою залишається несвоєчасна діагностика технічного стану обладнання, відсутність сучасних автоматизованих систем раннього виявлення дефектів та попередження надзвичайних ситуацій, а також недосконалість систем протипожежного захисту, наприклад на багатьох трансформаторних підстанціях використовують автоматичні водяні системи пожежогасіння [2, 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній науковій літературі проблемам пожежної безпеки трансформаторів приділено значну увагу – теоретичні та експериментальні дослідження ефективності систем протипожежного захисту, аналізу причин займання та методів попередження

поширення пожежі за межі ділянки трансформаторів.

В роботах [2-4] виконували дослідження щодо кількісної оцінки ризику та статистики ризиків. Приведено кількісний аналіз інцидентів вибухів і пожеж трансформаторів на енергетичних об'єктах, описали характерні тривалості і масштаби цих подій та вивели імовірнісні характеристики, які використовуються для ризик-орієнтованого підходу при проектуванні систем протипожежного захисту та інших систем захисту трансформаторного обладнання.

Висновки зазначеного дослідження підтверджують, що абсолютна доля пожеж на трансформаторах у загальній статистиці пожеж невелика, проте потенційний вплив кожного випадку високий через обсяги горючої рідини та високої відповідальності обладнання, як об'єкта критичної інфраструктури.

В роботах [1, 6] досліджували методи оцінювання небезпеки поширення пожежі за межі трансформатора та недопущення поширення її на суміжні об'єкти. Зокрема вони застосували підходи, що базуються на вимірюванні теплового потоку, температур і порівнювали ці дані із критерієм критичного теплового навантаження. Їхні дослідження містять розрахункові моделі і рекомендації щодо попередження поширення пожежі за межі трансформатора.

Формулювання цілей дослідження. Метою статті є проведення комплексного системного аналізу динаміки та факторів пожежної небезпеки трансформаторів на основі масивів статистичних даних за 2020–2024 роки з

урахуванням технічних, експлуатаційних, організаційних та воєнних чинників. Зокрема, дослідження спрямоване на:

1. Виявлення основних тенденцій і закономірностей виникнення пожеж на трансформаторах, аналіз динаміки за роками та структурних змін у причинно-наслідкових зв'язках.

2. Оцінку причин виникнення таких ризиків (порушення правил пожежної безпеки, воєнні дії, підпали, необережне поводження з вогнем, інші поодинокі інциденти) та встановлення їх впливу на загальну пожежну небезпеку.

3. Систематизацію рекомендацій щодо підвищення ефективності заходів пожежної безпеки трансформаторних підстанцій, включно з технічними засобами захисту, організаційними алгоритмами і системами моніторингу.

4. Інтеграцію даних статистичного аналізу з результатами сучасних наукових досліджень і практичних методик для формування моделі управління пожежними ризиками, здатної враховувати нестабільні фактори (зокрема воєнні загрози та людський фактор).

5. Сприяння підвищенню надійності енергетичної інфраструктури та мінімізації наслідків пожеж на трансформаторних підстанціях через науково обґрунтоване планування превентивних заходів.

Виклад основного матеріалу. За результатами аналізу статистичних даних проведено дослідження розподілу кількості пожеж в Україні на електричному обладнанні (таблиця 1.1.).

Таблиця 1 – Розподіл кількості пожеж в Україні за електричним обладнанням

	Трансформатор	Стабілізатор	Електродвигун	Генератор	Інші електричні машини та перетворювачі
2020	49	10	14	45	
2021	48	13	21	35	30
2022	54	10	12	55	22
2023	45	20	16	45	52
2024	69	12	17	98	63

З таблиці 1 видно, що в середньому щороку реєструється 53 випадки пожеж

трансформаторів. Загалом із 877 пожеж, що виникали або спричинені електричним

обладнанням, 265 або 30,2 % припадає саме на трансформатори.

У період 2020–2024 рр. спостерігається зростання кількості пожеж, пов'язаних з електричним обладнанням. Якщо у 2020 році зафіксовано 118 випадків, то у 2024 році – 259, що свідчить про подвоєння кількості інцидентів за п'ятирічний проміжок.

Кількість пожеж на трансформаторах коливається: у 2020 році – 49 випадків, у

2023 році – зменшення до 45, але у 2024 році спостерігається різке зростання до 69. Це є наслідком збільшення навантаження на енергетичну інфраструктуру внаслідок воєнних дій, зношеності обладнання та недостатнього технічного обслуговування.

Проведено аналіз статистичних даних щодо пожеж на трансформаторних підстанціях (Табл. 2.)

Таблиця 2 – Основні показники статистики пожеж в Україні, що виникали на трансформаторних підстанціях

	Трансформаторна підстанція			
	Кількість пожеж, од.	Прямі збитки, тис. грн.	Загинуло внаслідок пожеж, люд.	Травмовано внаслідок пожеж, люд.
2020	164	2412,1	0	0
2021	197	7067,1	0	0
2022	332	436213,6	1	4
2023	237	79879,0	0	1
2024	331	376135,4	0	2

Проаналізувавши масиви статистичних даних за об'єктом виникнення пожеж (Табл. 2) – трансформаторна підстанція по основним показникам, встановлено, що середньорічна кількість таких пожеж складає 252.

Загалом за період 5 років на трансформаторних підстанціях і трансформаторах виникла 1261 пожежа, прямі збитки склали від яких склали 901 млн 707 тис. грн, загинула 1 людини та 7 травмовано.

Таблиця 3 – Основні причини пожеж на трансформаторних підстанціях

	2020	2021	2022	2023	2024
Порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації	150	184	216	195	158
Пожежі в наслідок війни	-	-	107	33	132
Підпал	2	4	1	2	18
Необережне поводження з вогнем	9	2	3	3	17
Інші причини	3	7	5	4	6

Відповідно таблиці 3. найпоширенішими причинами пожеж є: порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації – 180 випадків в середньому щороку та пожежі в наслідок воєнних дій (з 2022 року) – 90 випадків в середньому щороку [1-3].

Аналіз динаміки причин пожеж на трансформаторних підстанціях:

1. Порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації – ця причина стабільно є основною в структурі пожеж на трансформаторних підстанціях. У 2020 році – 150 випадків, що становило найбільшу частку.

Пік зафіксовано у 2022 році (216 випадків), після чого спостерігається зниження: 195 у 2023 та 158 у 2024 роках.

Динаміка свідчить, що технічні й експлуатаційні порушення залишаються головним фактором.

Зменшення після 2022 року можна пояснити зміщенням акценту на інші причини (зокрема бойові дії).

2. Пожежі внаслідок бойових дій. У 2022 році зафіксовано 107 пожеж, у 2023 році – 33, а у 2024 році різке зростання до 132 випадків.

Це свідчить про безпосередній вплив воєнних дій на об'єкти критичної інфраструктури. У 2023 р. спостерігається спад, що пов'язано з відносним зменшенням інтенсивності обстрілів у деяких регіонах. Проте у 2024 році відновилися масштабні атаки на енергетичні об'єкти. Тенденція є нестабільною та залежить від військового чинника.

3. Підпал – до 2023 року кількість випадків поодинокі (1–4 щороку).

У 2024 році відбулося різке зростання до 18 випадків, що у 9 разів перевищує рівень 2023 року.

Це може вказувати на цілеспрямовані диверсійні дії проти енергетичних об'єктів або на зростання соціальних ризиків у кризових умовах.

4. Необережне поводження з вогнем – з 2020-2023 рр. зафіксовано 2-9 випадків на рік.

У 2024 році показник різко зріс до 17 випадків, що свідчить про послаблення контролю. Цей фактор за своєю природою менш системний, проте в умовах війни він набуває значення.

5. Інші причини – коливання у межах 3-7 випадків протягом 2020–2023 рр. У 2024 р – 6 випадків – це поодинокі інциденти (удари блискавки, займання суміжного обладнання тощо), які важко класифікувати, і вони не впливають істотно на загальну картину та можуть не враховуватися під час формування висновків [1,2].

Щодо загальних тенденцій, то домінуючим фактором є порушення

правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації трансформаторів (у 2020–2022 рр. понад 70 % усіх випадків). З 2022 року додався вплив воєнних дій – цей фактор став другим за значимістю причиною виникнення пожеж. З 2024 року відбувається зміна структури ризиків: різко зросла кількість випадків підпалів та необережного поводження з вогнем. Це свідчить про ускладнення ситуації та соціальної напруженості, що відображається в тому числі на пожежній безпеці в цілому.

Фактор воєнних дій формує нестабільну, але суттєву змінну у динаміці пожеж на трансформаторах, що зростає [2, 5].

За результатами аналізу та систематизації методів забезпечення пожежної безпеки трансформаторів, пропонуються:

1. Конструктивні рішення:
 - заміна в застосуванні горючих речовин і матеріалів на негорючі або важкогорючі, наприклад (естери, силіконові рідини) замість традиційного трансформаторного масла;
 - поділ об'єму масла на ізольовані відсіки; встановлення протипожежних перегородок;
 - використання систем аварійного відведення масла у аварійні резервуари або влаштування гравійних засипок території трансформаторної підстанції;
2. Системи раннього виявлення та моніторингу:
 - діагностика розчинених газів концентрацій H_2 , CO , CH_4 тощо для прогнозування дефектів;
 - тепловізійний контроль: виявлення перегрівів обмоток, контактів і з'єднань;
 - використання автоматичних систем пожежної сигналізації для виявлення ознак займання;
 - відстеження перевантажень, які підвищують ризик нагріву та займання;
3. Використання ефективних автоматичних систем пожежогасіння.
4. Організаційно-експлуатаційні заходи

- проведення регламентного технічного обслуговування (планові огляди, заміна масла, очищення від вологи та домішок);

- ведення журналів дефектів (систематизація виявлених відхилень для аналізу ризиків);

- контроль електричних з'єднань (затягування контактів, усунення окислення);

5. Планування території:

- встановлення трансформаторів в окремих протипожежних відсіках;

- забезпечення протипожежних відстаней між трансформаторами.

Окремої уваги потребує питання оцінки каскадних ефектів унаслідок пожеж трансформаторів. Ураження одного елемента підстанції може ініціювати послідовний вихід з ладу інших об'єктів енергетичної мережі, що формує ланцюгові ризики. В умовах воєнних дій та зростання навантаження на інфраструктуру ймовірність таких ефектів збільшується.

Не менш значущим напрямом є розвиток цифрових систем моніторингу та раннього виявлення пожеж. Використання сенсорних засобів вимірювальної техніки, тепловізійних систем та алгоритмів обробки даних на основі штучного інтелекту, що дозволяє виявляти критичні зміни параметрів роботи трансформаторів (наприклад, підвищення температури масла, наявність газових домішок, аномальні коливання напруги). Інтеграція таких технологій із системами протипожежного захисту створює умови для формування комплексів безпеки, які здатні автоматично реагувати на зміну рівня ризику.

Висновки та напрями подальших досліджень. Аналіз статистичних даних свідчить про наявну тенденцію зростання кількості пожеж на автотрансформаторах. Результати статистичних даних про пожежі є вихідними даними для управління ризиками. Застосування передових аналітичних інструментів дозволяє значно підвищити рівень пожежної безпеки [8-10].

Найефективніше забезпечення пожежної безпеки трансформаторів досягається при комбінованому застосуванні конструктивних рішень, систем моніторингу стану технологічного процесу трансформатора, застосування систем автоматичного пожежогасіння.

Узагальнюючи результати проведеного дослідження, можна стверджувати, що підвищення рівня пожежної безпеки автотрансформаторів потребує комплексного підходу, який включає не лише технічні, а й організаційні та аналітичні заходи. Важливим напрямом є формування інтегрованої системи управління ризиками, що ґрунтується на оцінці ймовірності виникнення пожежі, прогнозуванні наслідків та реалізації превентивних дій. Це дозволяє своєчасно ідентифікувати потенційні небезпеки, зменшити кількість відмов обладнання та запобігти розвитку аварійних ситуацій.

Особливу увагу необхідно приділити цифровізації процесів діагностики та контролю. Використання інтелектуальних систем моніторингу параметрів автотрансформаторів (температури, струмів витоку, тиску масла тощо) у поєднанні з алгоритмами машинного навчання може забезпечити раннє виявлення відхилень, що передують загорянню. Такі технології створюють основу для побудови прогнозно-аналітичних моделей оцінювання пожежних ризиків у режимі реального часу.

Крім того, ефективність систем пожежогасіння значною мірою залежить від адаптації їх до конкретних умов експлуатації трансформаторних підстанцій. Перспективним напрямом подальших досліджень є розроблення гібридних систем пожежогасіння, які поєднують водяні, газові та порошкові способи ліквідації займання, з урахуванням екологічних та енергетичних обмежень.

У подальших розвідках доцільно зосередитись на створенні математичних моделей ризиків виникнення пожеж на

автотрансформаторах із урахуванням віку обладнання, режимів навантаження, і статистики попередніх інцидентів. Це сприятиме побудові науково обґрунтованих систем прогнозування, що дозволить

забезпечити оптимальний рівень безпеки енергетичних об'єктів та підвищити надійність електроенергетичної інфраструктури загалом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Климась Р. В., Ніжник В. В., Фешук Ю. Л., Стилик І. Г., Некора В. С., Несенюк Л. П. Щодо обмеження поширення пожеж під час аварій на трансформаторному обладнанні. *Пожежна безпека*. – 2021. – № 39. – С. 85–93.
2. Інститут наукових досліджень з цивільного захисту Національного університету цивільного захисту України. Аналітичні довідки про пожежі та їх наслідки в Україні 2014–2024 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://indcz.dsns.gov.ua/statistika-pozhezh>
3. Guo Y., Chen T., Zhou B., Zhang P., Wang Y., Wang X., Hao D. Research on fire suppression characteristics of compressed air foams in full-scale 220 kV converter transformer. *Fire*. 2025. Vol. 8, No. 1. – P. 12. – DOI: <https://doi.org/10.3390/fire8010012>
4. Wu C., Zhou T., Chen B., Liu Y., Liang P. Experimental study on burning characteristics of the large-scale transformer oil pool fire with different extinguishing methods. *Fire Technology*. – 2021. – Vol. 57. – P. 461–481. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01012-x>
5. Zhang J., Zhou R., Zhang J., Yang R., та ін. Experimental study on the burning characteristics of transformer oil pool fires // *Energy & Fuels*. – 2020. – Vol. 34, No. 4. – P. 4967–4976. – DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c00175>
6. Palchykov R., Nizhnyk V., Mykhailov V., Linchevskiy Y., Loik V., Lozynskiy R., Sukach R., Voytovych D., Peleshko M., Myroshkin V. Application of time/temperature fire curves for the estimation of fire resistance of transformer within protective structures. *Metallurgical and Materials Engineering*. – 2025. – Vol. 31, No. 4. – P. 34–39. – DOI: <https://doi.org/10.63278/1393>
7. El-Harbawi M. Fire and explosion risks and consequences in electrical substations — A transformer case study. *ASME Open Journal of Engineering*. 2022. – Vol. 1, No. 1. – DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4054143>
8. Qiao X., Wang Y., Zhang Y., Yu L., Zhang D., Wang Z. The development of a converter transformer fire model based on the Fire Dynamics Simulator and the analysis of cooling mechanisms of spraying and coating. *Applied Sciences*. – 2024. – Vol. 14, No. 23. – P. 11337. – DOI: <https://doi.org/10.3390/app142311337>
9. Sharma A., Saha T. K., Ma H. Thermal hazard and fire risk evaluation of transformer oil. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. – 2025. – Vol. 82. – P. 105605. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2025.105605>
10. Zhou T., Wu C., Chen B., Liu Y., Liang P. Fire risk assessment and experimental study of transformer oil pool fire in open and confined spaces. *Journal of Fire Sciences*. 2022. Vol. 40, No. 5. P. 465–484 – DOI: <https://doi.org/10.1177/07349041221112740>

REFERENCES

1. Klymas, R. V., Nizhnyk, V. V., Feshchuk, Yu. L., Stilyk, I. H., Nekora, V. S., & Neseniuk, L. P. (2021). Shchodo obmezhenia poshyrennia pozhezh pid chas avarii na transformatornomu obladnanni. *Pozhezhna bezpeka*, (39), 85–93. [in Ukrainian]
2. Instytut naukovykh doslidzhen z tsyvilnoho zakhystu Natsionalnoho universytetu tsyvilnoho zakhystu Ukrainy. (2014–2024). Analitychni dovidky pro pozhezh ta yikh naslidky v Ukraini [Elektronnyi resurs]. <https://indcz.dsns.gov.ua/statistika-pozhezh> [in Ukrainian]
3. Guo, Y., Chen, T., Zhou, B., Zhang, P., Wang, Y., Wang, X., & Hao, D. (2025). Research on fire suppression characteristics of compressed air foams in full-scale 220 kV converter transformer. *Fire*, 8(1), 12. <https://doi.org/10.3390/fire8010012>
4. Wu, C., Zhou, T., Chen, B., Liu, Y., & Liang, P. (2021). Experimental study on burning characteristics of the large-scale transformer oil pool fire with different extinguishing methods. *Fire Technology*, 57, 461–481. <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01012-x>
5. Zhang, J., Zhou, R., Zhang, J., & Yang, R., et al. (2020). Experimental study on the burning characteristics of transformer oil pool fires. *Energy & Fuels*, 34(4), 4967–4976. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c00175>
6. Palchykov, R., Nizhnyk, V., Mykhailov, V., Linchevskiy, Y., Loik, V., Lozynskiy, R., Sukach, R., Voytovych, D., Peleshko, M., & Myroshkin, V. (2025). Application of time/temperature fire curves for the estimation of fire resistance of transformer within protective structures. *Metallurgical and Materials Engineering*, 31(4), 34–39. <https://doi.org/10.63278/1393>
7. El-Harbawi, M. (2022). Fire and explosion risks and consequences in electrical substations — A transformer case study. *ASME Open Journal of Engineering*, 1(1). <https://doi.org/10.1115/1.4054143>
8. Qiao, X., Wang, Y., Zhang, Y., Yu, L., Zhang, D., & Wang, Z. (2024). The development of a converter transformer fire model based on the Fire Dynamics Simulator and the analysis of cooling mechanisms of spraying and coating. *Applied Sciences*, 14(23), 11337. <https://doi.org/10.3390/app142311337>
9. Sharma, A., Saha, T. K., & Ma, H. (2025). Thermal hazard and fire risk evaluation of transformer oil. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 82, 105605. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2025.105605>
10. Zhou, T., Wu, C., Chen, B., Liu, Y., & Liang, P. (2022). Fire risk assessment and experimental study of transformer oil pool fire in open and confined spaces. *Journal of Fire Sciences*, 40(5), 465–484. <https://doi.org/10.1177/07349041221112740>

ANALYSIS OF FIRE HAZARDS OF TRANSFORMERS BASED ON STATISTICAL DATA ARRAYS

Koval R.¹, Palchykov R.²

¹*Institute of Scientific Research on Civil Protection of the National University of Civil Protection of Ukraine, Ukraine*

²*National University of Civil Protection of Ukraine, Ukraine*

KEYWORDS: ANNOTATION

transformer,
transformer
substation,
statistical
data arrays,
fire risk, fire
protection,
risk-oriented
analysis

The article considers the problem of fire hazard of transformer equipment, which is a key element of the energy infrastructure and determines the stability and reliability of power supply in industrial and urban networks. Transformer fires are accompanied by significant material losses, disruptions in the functioning of the power system and pose a threat to the life and health of people. The relevance of the study is due to the increase in the frequency of emergencies in conditions of military operations, wear and tear of electrical equipment and an increase in the load on the power grid, which requires a comprehensive analysis of statistical data and the construction of fire hazard assessment models. The article systematizes and processes the arrays of statistical information on fires that occurred on transformers. The dynamics of changes in the frequency of fires in recent years is analyzed, the most common causes of ignition and factors affecting the spread of fire are identified. Special attention is paid to the correlations between the technical condition of the equipment, operating conditions and the intensity of fire risks. Based on the generalized data, statistical models of hazard assessment are built, which allow predicting the probability of fires depending on the group of risk factors. The scientific novelty of the work lies in the application of a comprehensive approach to the analysis of statistical arrays, which combines classical data processing methods with elements of risk-oriented analysis. This allowed us to identify priority areas for minimizing danger, in particular, increasing the reliability of transformer diagnostics, modernizing fire protection systems and forming a basis for further mathematical modeling of risks. The practical significance of the results obtained lies in the possibility of using the proposed approaches to assess the fire hazard of transformers, developing preventive measures and optimizing the system of technogenic safety of energy infrastructure based on statistical data.