УДК 614.84

МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ

https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.2.134-142

Несенюк Л. П.*, ORCID iD 0000-0002-7796-7952
Савченко О. В., ORCID iD 0000-0002-4140-3055
Ніжник В. В., ORCID iD 0000-0003-3370-9027
Нікулін О. Ф., ORCID iD 0000-0001-9126-0681
*E-mail: lyuba_n@ukr.net

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 10.11.2022
Пройшла рецензування: 21.11.2022

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

пожежна безпека, протипожежний захист, індивідуальний пожежний ризик, системи протипожежного захисту, ефективність функціонування систем протипожежного захисту, оцінювання ефективності

АНОТАЦІЯ

У роботі наведено статистичні дані про пожежі в Україні за 2021 рік та їх наслідки, що містять: кількість загиблих та травмованих людей (в тому числі дітей), прямі та побічні збитки. Використано аналітичні методи, зокрема комплексний аналіз і узагальнення раніше виконаних робіт. Здійснено аналіз наукових джерел та досліджень щодо теоретичних методів оцінювання надійності технічних систем і переліку показників надійності, які впливають на ефективність функціонування технічних систем; наведено класифікацію показників надійності за властивостями, що визначають надійність технічних систем. Зображено схему процедури дослідження ефективності технічної системи. Показано, що найбільш застосовними на практиці під час оцінювання ефективності функціонування технічних систем є ймовірнісні методи, деталізація яких можлива з використанням статистичних даних. Наведено математичні моделі законів розподілів, які дають змогу реалізувати ймовірнісні методи під час оцінювання ефективності функціонування систем протипожежного захисту, та проаналізовано сфери їх застосування. Досліджено переваги та недоліки під час використання методів аналізування ефективності технічних систем, а саме – ймовірнісного розподілу, біноміального розподілу, нормального розподілу, логарифмічно-нормального розподілу, експоненційного розподілу, розподілу Вейбула. Показано, що ймовірність (коефіцієнт) впливу систем протипожежного захисту на значення індивідуального пожежного ризику також можна встановити із використанням польових методів моделювання. Розглянуто підходи щодо оцінювання ймовірності ефективного функціонування із використанням теоретичних методів як окремих видів систем протипожежного захисту, так і їх спільних різних комбінацій. Сформульовано висновки та напрями подальших досліджень.

Постановка проблеми. За 12 місяців 2021 року в Україні зареєстровано 79 457 пожеж. Загинуло внаслідок пожеж 1 853 людини, у тому числі 25 дітей, 1 383 особи отримали травми, з них 90 – це діти. Прямі збитки від пожеж склали понад 3,2 млрд грн, побічні збитки – понад 10,2 млрд грн. Знищено та пошкоджено 23 061 будівлю та споруду [1].

У роботі [2] доведено необхідність удосконалення методології оцінювання індивідуального пожежного ризику через обґрунтування коефіцієнтів ефективності функціонування систем протипожежного захисту. Для досягнення поставленої мети важливо підтвердити ефективність, надійність та апробованість методу дослідження, реалізація якого дасть змогу обґрунтувати коефіцієнти ефективності функціонування систем протипожежного

захисту. Очевидно, що для розв'язання такої задачі слід використати теоретичні методи надійності технічних систем, які зазвичай оперують такими характеристиками, як надійність, міцність, швидкодія, безвідмовність, довговічність, збереження, ремонтопрацездатність тощо. Питання надійності технічних систем досліджували такі вчені, як М. Васильєв, Ф. Демехін, Р. Шубін, А. Ширшиков, A. Havtzell, S. Arney, D. Tonner та інші. Але в їхніх роботах поза увагою залишилися питання оцінювання ефективності функціонування систем ППЗ та їх впливу на рівень індивідуального пожежного ризику. Отже, питання обґрунтування вибору математичних моделей, за допомогою яких можливо обґрунтувати коефіцієнти впливу систем протипожежного захисту на рівень індивідуального пожежного ризику, є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основним завданням під час проєктування будь-якої технічної системи є підвищення ефективності та якості, а отже й поліпшення таких характеристик технічної системи, як надійність, міцність, швидкодія тощо. На системи протипожежного захисту, як і на інші технічні системи, поширюються вимоги щодо їх ефективності. Водночас ефективність їх функціонування має оцінюватися за допомогою детерміністичних методів [3].

Наявні методи для визначення ефективності проєктованих систем протипожежного захисту використовують апроксимаційні моделі, побудовані на основі спеціальних розділів теорії ймовірностей та математичної статистики [4]. Ці моделі розробляють у припущенні, що процес експлуатації визначається зовнішніми причинами та залежить від так званого внутрішнього стану самої системи. Водночас розглядається умова потенційної можливості відмови у будь-якому компоненті систем. Насамкінець це призведе до зниження надійності системи загалом, що вплине на процес її експлуатації та рівень якості її функціонування [5].

Використання такого підходу до оцінки рівня пожежної безпеки об'єкта дає змогу обґрунтовано (за кількісним критерієм) вибрати раціональну структуру системи протипожежного захисту об'єкта [6]. Водночас забезпечення пожежної безпеки об'єкта здійснюється через розгляд та послідовну оцінку різних альтернативних варіантів систем протипожежного захисту та їх комбінацій [7]. Таким чином, враховуються вимоги, що визначають рівень пожежної безпеки об'єкта, показники якості функціонування та економічності зазначеної системи. Створюється можливість розглянути ефективність впливу як окремої системи протипожежного захисту, так і їх комбінацій із урахуванням [8].

Таким чином, під час оцінювання ефективності функціонування систем протипожежного захисту в основу можуть бути покладені критерії щодо забезпечення виконання заданих функцій відповідною системою протипожежного захисту [6–7].

Процедура дослідження надійності технічної системи наведена у роботах [6–7], а схема процедури дослідження ефективності технічної системи – на рис. 1. Використовуючи зазначену процедуру, можна проводити оцінювання, в тому числі ефективності функціонування систем протипожежного захисту.

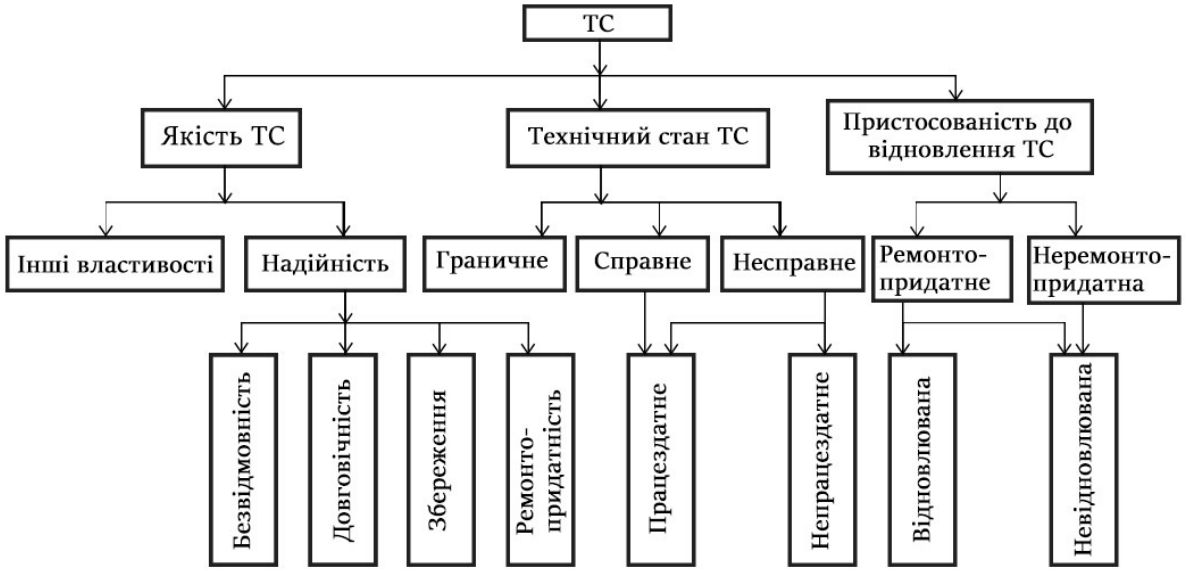


Рисунок 1 – Схема процедури дослідження ефективності технічної системи

На практиці розрахунок показників технічних систем загалом проводять методами, заснованими на систематичних даних.

Такі методи оцінювання надійності технічної системи дають змогу кількісно показати ефективність функціонування як окремої системи протипожежного захисту, так і їх комбінацій на підставі вимог до рівня протипожежного захисту об’єкта загалом. Статистична теорія надійності є складовою більш загального підходу до розрахункової оцінки надійності технічних систем, в якому відмови розглядають як результат взаємодії системи із рівнем протипожежного захисту об’єкта. Отже, методи статичної теорії базуються на встановленні впливу функціонування відповідної системи протипожежного захисту на наслідки від пожежі для відповідних об’єктів на підставі статистичних даних. Тобто реалізація такого підходу здійснюється за схемою: «система протипожежного захисту – наслідок від пожежі порівняно з наслідком для аналогічного об’єкта без системи» протипожежного захисту.

Апробація теоретичних даних щодо ефективності функціонування систем протипожежного захисту, отриманих із використанням ймовірнісно-статистичних методів, можлива через експериментальне експлуатування відповідної системи протипожежного захисту, підконтрольне експлуатування [8–9] або через проведення експериментальних досліджень (випробувань).

У роботі [10] надана класифікація показників надійності технічних систем, яка наведена у табл. 1.

Використовуючи зазначені показники надійності або їх довільну комбінацію, можливо здійснювати оцінювання ефективності функціонування систем протипожежного захисту.

Таблиця 1 – Класифікація показників надійності за властивостями виробів, що характеризує надійність

Властивості, що характеризують надійність	Найменування показника	Позначення
Безвідмовність	Імовірність безвідмовної роботи	P(t)
	Гамма-відсотковий наробіток до відмови	T_{γ}
	Середнє напрацювання до відмови	$T_{\text{ср}}$
	Середнє напрацювання на відмову	T_{0}
	Інтенсивність відмов	λ(t)
	Параметр потоку відмов	ω(t)
	Опосередкований параметр потоку відмов	ϖ(t)
Довговічність	Гамма-відсотковий ресурс	$T_{\text{ру}}$
	Середній ресурс	$T_{\text{р}}$
	Гамма-відсотковий термін служби	$T_{\text{слу}}$
	Середній термін служби	$T_{\text{сл}}$
Збереженість	Середній термін зберігання	$T_{\text{с}}$
	Гамма-відсотковий термін зберігання	$T_{\text{су}}$
	Призначений термін зберігання	$T_{\text{с.н}}$
	Встановлений термін збереження	$T_{\text{с.у}}$
Ремонтопридатність	Середній час відновлення	$T_{\text{в}}$
	Ймовірність відновлення	$P_{\text{з}}(t_{\text{В}})$
Комбінація властивостей	Коефіцієнт готовності	$К_{\text{г}}$
	Коефіцієнт оперативної готовності	$К_{\text{о.г}}$
	Коефіцієнт технічного використання	$К_{\text{т.в}}$

Формулювання мети статті. Метою статті є проведення аналізу джерел та методів оцінювання ефективності функціонування систем протипожежного захисту.

Задачі дослідження:

- провести аналіз джерел щодо ефективності функціонування систем ППЗ;
- здійснити аналіз методів оцінювання ефективності функціонування СПЗ;
- запропонувати математичні моделі для оцінювання коефіцієнта впливу систем протипожежного захисту на параметри індивідуального пожежного ризику.

Об'єкт дослідження – оцінювання ефективності технічних систем за допомогою теоретичних методів.

Предмет дослідження – параметри оцінювання ефективності технічних систем у складі математичних моделей теоретичних методів.

Методи дослідження. В роботі використано аналітичні методи, зокрема комплексний аналіз і узагальнення раніше виконаних робіт щодо методів оцінювання ефективності функціонування технічних систем та їх надійності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як вже зазначалося, одним із підходів щодо оцінювання ефективності функціонування систем протипожежного захисту є ймовірнісні методи. Ймовірнісні методи математично можуть бути виражені через закони розподілу, а саме – ймовірнісний розподіл, біноміальний розподіл, нормальний розподіл, логарифмічно-нормальний розподіл, експоненційний розподіл, розподіл Вейбула.

Імовірнісні закони розподілу [11], що використовуються у розрахунках надійності та можуть бути використані для оцінювання ефективності функціонування систем протипожежного захисту, засновані на розподіленні випадкової величини, що може бути наведено як функцію розподілу *F(t)* випадкової величини *T*:

$$F(t)=P(T<t)=\int_{-\infty}^{t} f(t)dt \qquad (1)$$

та функції щільності розподілу випадкової величини T:

$$f(t)=\frac{dF(t)}{dt} \qquad (2)$$

Щільність розподілу відповідає умовам:

$$f(t)\geq 0;\quad \int_{-\infty}^{\infty} f(t)dt = 1 \qquad (3)$$

Біноміальний закон розподілу використовується для розрахунку вірогідності безвідмовної роботи системи типу «*m із n*», тобто системи, працездатність якої зберігається, якщо з *n* її елементів працездатними виявлються будь-які *m* і більше елементів. Оскільки відмови системи «*m з n*» достатньо, щоб кількість справних елементів була менше m, ймовірність відмови системи може бути знайдена за теоремою складання ймовірностей:

$$Q = \sum_{k=0}^{m-1} C_n^k\, p^k (1-p)^{n-k} \qquad (4)$$

Аналогічним чином можна визначити ймовірність безвідмовної роботи як суму:

$$P = \sum_{k=m}^{n} C_n^k\, p^k (1-p)^{n-k} \qquad (5)$$

Під час розрахунків із формул (1.4) та (1.5) слід обрати ту, яка містить меншу кількість доданків, а потім за потреби скористатися виразом Q+P= 1 [11].

Нормальний розподіл випадкової величини є наслідком впливу на цю величину великої кількості рівнозначних чинників. У теорії надійності воно використовується для розрахунку показників надійності виробів у період поступових відмов унаслідок зносу та старіння. Щільність розподілу величини *T* за її нормального розподілу виражається співвідношенням

$$f(t) = \frac{1}{\delta\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-M_t)^2}{2\delta^2}\right] \qquad (6),$$

де δ, M_t – середнє квадратичне відхилення та математичне очікування величини *T* відповідно. Випадковою величиною *T*, що розглядається в теорії надійності, зазвичай є напрацювання до відмови або несуча здатність.

Логарифмічно нормальний розподіл є розподілом випадкової величини, логарифм якої розподілений за нормальним законом. У теорії надійності такий розподіл використовують для розрахунку показників надійності виробів у період настання втоми матеріалу та у період між відмовами [12].

Щільність розподілу у цьому разі описується співвідношенням:

$$f(t) = \frac{1}{st\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln t-\mu_t)^2}{2s^2}\right] \qquad (7)$$

Експоненціальний закон розподілу, який є також і основним законом надійності, використовується для опису надійності виробу в період його нормальної експлуатації, коли поступові відмови ще не виявилися і у виробі з'являються лише раптові відмови. Ці відмови зумовлюються несприятливим збігом багатьох обставин і тому мають постійну інтенсивність. Експоненціальний закон у теорії надійності знайшов широке застосування, оскільки він простий для практичного використання. Щільність розподілу описується співвідношенням [13]:

$$f(t)=\lambda e^{-\lambda t} \qquad (8)$$

Розподіл Вейбула є двопараметричним розподілом. Закон Вейбула задовільно описує розподіл напрацювання до відмови. Широке застосування закону Вейбула пояснюється тим, що цей закон є універсальним, оскільки він може описувати процеси з розподілами: нормальним, логарифмічно нормальним, експоненціальним тощо [14].

Щільність розподілу згідно із законом Вейбула виражається залежністю виду:

$$f(t) = \frac{m}{t_0}\, t^{m-1} exp\left[-\frac{t^m}{t_0}\right] \qquad (9),$$

де: *m* – параметр форми кривої розподілу; t_0 – параметр масштабування.

У роботах [15–17] із використанням ймовірнісних методів проведено оцінювання оперативної обстановки в зоні відчуження Чорнобильської АЕС. У цій роботі під оперативною обстановкою розуміли чинники, що склалися у зоні відчуження за 2019 рік, які впливають на процеси реагування на загрози. Одним із важливих факторів оперативної обстановки є кількість пожежних

автомобілів (Х), що залучаються для обслуговування одного виклику. Для опису цієї випадкової величини вказані закони її розподілу [15]:

$$P\{X = к\} = a_к \quad (к = 1,2,3, \dots) \qquad (10),$$

де $P\{X = к\} = a_к$ – ймовірність того, що за викликом виїжджає (к) автоцистерн.

Водночас має виконуватися умова:

$$\sum_{к=1}^{\infty} a_к = 1 \qquad (11).$$

Другим важливим чинником оперативної обстановки є потік викликів пожежних підрозділів (Р) упродовж певного проміжку часу. Для опису потоку викликів пожежних підрозділів можливо використати лінійне диференційне рівняння першого порядку [60]:

$$p_к(\tau) = \frac{(\gamma\tau)^к}{к} e^{-\gamma\tau} \qquad (12),$$

де γ – параметр, що являє собою середнє число викликів в одиницю часу;

τ – проміжок часу;

к – кількість викликів пожежних підрозділів.

Визначення потоку викликів пожежних підрозділів за певний проміжок часу можливе за допомогою закону Пуассона [18]:

$$M(P) = \gamma\tau \qquad (13).$$

Рівняння (13) означає: якщо випадкова величина Р розподілена за законом Пуассона, то її математичне очікування М(Р) і дисперсія дорівнюють $\gamma\tau$.

У табл. 2 наведено результати аналізу кожного із розглянутих вище теоретичних методів аналізування ефективності технічних систем.

Таблиця 2 – Результати аналізу теоретичних методів аналізування ефективності технічних систем

Назва методу	Переваги	Недоліки
Імовірнісний розподіл	Дає змогу оцінювати ефективність як системи загалом, так і її окремих компонентів	Складний у використанні. Трудомісткий. Потребує наявності детальних статистичних даних
Біноміальний розподіл	Простота у використанні, не трудомісткий. Передбачає поділ системи на невелику кількість суттєвих елементів	Передбачає можливість наявності несправного елемента в технічній системі, що зумовлює появу розрахункової похибки
Нормальний розподіл	Базується на доступних статистичних даних щодо відмов у технічній системі	Оцінює лише один елемент технічної системи, який згідно із статистичними даними найбільш часто є несправним
Логарифмічно-нормальний розподіл	Передбачає металізування системи на найпростіші, в тому числі несуттєві елементи	Не завжди втрата працездатності окремого елемента призводить до виходу із ладу системи загалом, зазначену подію цей метод не враховує, що зумовлює похибки під час його використання
Експоненціальний розподіл	Дає змогу запобігти настанню несправностей в технічній системі	Має низькі економічні показники, оскільки може визначати несправними елементи, які ще функціонують; не дає можливість встановити показник функціональної ефективності системи, а лише функціонує як «справність-несправність технічної системи»
Розподіл Вейбула	Є універсальним, оскільки описує процеси з розподілами: нормальним, логарифмічно-нормальним, експоненціальним	Має аналогічні недоліки розподілів: нормального, логарифмічно-нормального, експоненціального

У роботі [19] наведено результати досліджень коефіцієнта впливу систем протипожежного захисту на значення індивідуального пожежного ризику із використанням польових методів моделювання.

Крім того, показано, що ймовірність (коефіцієнт) впливу систем протипожежного захисту на значення індивідуального пожежного ризику також можна встановити із використанням польових методів моделювання.

Висновки та напрями подальших досліджень. Таким чином, за результатами аналітичних досліджень встановлено, що оцінювання ефективності функціонування систем протипожежного захисту можна здійснювати на основі детерміністичних методів, заснованих на теорії ймовірності, зокрема ймовірнісно-статистичних, із подальшою апробацією отриманих результатів через проведення експерименту або підконтрольне експлуатування.

Оцінка ефективності функціонування систем протипожежного захисту може здійснюватися через оцінювання як окремої системи протипожежного захисту, так і їх комбінацією з урахуванням синергізму ефективності від їх спільної дії.

Встановлено, що ймовірнісні методи математично можуть бути виражені через закони розподілу, а саме: ймовірнісний розподіл, біноміальний розподіл, нормальний розподіл, логарифмічно-нормальний розподіл, експоненційний розподіл, розподіл Вейбула. Кожна із зазначених математичних моделей має недоліки й переваги, але є застосовною на практиці. В роботі наведено порівняльний аналіз зазначених математичних моделей.

Надалі у дослідженнях необхідно:

- обґрунтувати переліки параметрів, які характеризують вплив систем протипожежного захисту на значення індивідуального пожежного ризику;
- обґрунтувати сценарії розвитку пожежі, які доцільно застосовувати під час визначення впливу систем протипожежного захисту на значення індивідуального пожежного ризику;
- розробити алгоритм дослідження впливу систем протипожежного захисту на значення індивідуального пожежного ризику та встановлення відповідних коефіцієнтів впливу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні за 12 місяців 2021 року ІДУНДЦЗ. Київ, 2021. URL : https://idundcz.dsns.gov.ua/files/2021/Ctatuctuka/Analitychna %20dovidka%20pro%20pojeji_12.2021.pdf (дата звернення : 10.01.2022).
2. Ніжник, В. В., Савченко, О. В., Добряк, Д. О., Кравченко Н. В. Аналіз сучасного стану щодо управління індивідуальним пожежним ризиком із використанням систем протипожежного захисту. *Вчені записки таврійського національного університету імені В. І. Вернадського Серія : Технічні науки*. 2022. Т. 33(72) № 1. С. 328–334.
3. Stephen G. Badger, Thomas Johnson. 1999 Large Loss Fires and Explosions. *NFPA Journal*. November / December 2000. p. 79–82.
4. Холщевников, В. В., Серков Б. Б. Значимость автоматических систем протипвопожарной защиты для обеспечения безопасности людей в высотных зданиях. *Журнал Пожаровзрывобезопасность*. 2017. Т. 26. № 9. С. 44–49.
5. Фан А. Ле Н. З. Анализ мероприятий по снижению пожарной опасности в высотных жилых зданиях. *Журнал пожарной безопасности ИПБ Республики Вьетнам*. 2015. Т. 77. С. 20–23.
6. Белоусов Л., Дауэнгауэр С. Спринклерные системы водяного пожаротушения с принудительным пуском. *Алгоритм безопасности*. 2009. № 6. С. 24–27.
7. Саутин И. Концепция построения безопасной противопожарной автоматики. *Алгоритм безопасности*. 2005. № 4. С. 68–70.
8. Надійність техніки. Терміни та визначення : ДСТУ 2860-94 [Чинний від 1996-01-01]. Київ : УкрНДНЦ, 1994. 96 с.
9. Шубин Р. А., Ш951 Надёжность технических систем и техногенный риск : учебное пособие. Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. 80 с.
10. Матвеевский В. Р. Надежность технических систем : учебное пособие. Московский государственный институт электроники и математики. М., 2002. 113 с.
11. Hartzell A. L., Silva M. G., Shea H. S. MEMS Reliability. Springer. 2011. 291 c.
12. Tanner D. M. et al. MEMS reliability: infrastructure, test structures, experiments, and failure modes. Sandia Report SAND2000-0091 2000. URL : http://mems.sandia.gov/tech-info/doc/000091o.pdf (last accessed : 25.10.2022).
13. Gad-el-Hak M. (ed) The MEMS Handbook. Boca Raton, FL: CRC Press. 2002.
14. Boyce B. L., Grazier J. M., Buchheit T. E., Shaw M. J. Strength distributions in polycrystalline silicon MEMS. J. Microelectromech. Syst. 2007. № 16(2), pp. 179.
15. Звіт про науково-дослідну роботу Дослідження впливу пожежних ризиків на комплекс заходів для уникнення або мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій на території зони відчуження. Київ : ІДУ НД ЦЗ, 2021. 292 с.
16. Ніжник В. В., Фещук Ю. Л., Балло Я. В., Тесленко О. М., Циганков А. О. Моделювання оперативної обстановки в зоні відчудження. *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека*. 2020. Т.26. № 1. С. 42–51.
17. Ніжник В .В., Фещук Ю. Л., Сізіков О. О., Балло Я. В., Жихарєв О. П., Циганков А. О. Оцінка кореляції часу проведення пожежно-профілактичної роботи від кількості виїздів пожежно-рятувальних підрозділів у зоні відчуження *Надзвичайні ситуації : попередження та ліквідація*. 2020. Т.4. № 2. С 48–53.
18. Брушлинский Н. Н., Системный анализ деятельности государственной противопожарной службы : учебник. М. : МИПБ МВД России, 1998. 255 с.

19. Vadim Nizhnyk, Olesya Savchenko, Yaroslav Ballo, Valeria Nekora Theoretical Approaches to Justify the Coefficients of Influence of Fire Protection Systems on Individual Fire Risk. International Scientific Conference EcoComfort and Current Issues of Civil Engineering EcoComfort 2022. Proceedings of EcoComfort. 2022. pp 299-306 doi : 10.1007/978-3-031-14141-6_30.

REFERENCES

1. Analitychna dovidka pro pozhezhi ta yikh naslidky v Ukrayini za 12 misyatsiv 2021 roku IDUNDTSZ. [Analytical report on recent events in Ukraine for 12 months of 2021 IDNDCZ.]. (2021). Kyyiv. Retrived from https://idundcz.dsns.gov.ua/files/2021/Ctatuctuka /Analitychna%20dovidka%20pro%20pojeji_12.2021.pdf [in Ukrainian].
2. Nízhnik, V. V., Savchenko, O. V., Dobryak, D. O., Kravchenko, N. V. (2022). Analiz suchasnoho stanu shchodo upravlinnya indyvidual′nym pozhezhnym ryzykom iz vykorystannyam system protypozhezhnoho zakhystu. [Analysis of the current state of individual fire risk management using fire protection systems]. *Academic notes of the Tauriyya National University named after V. I. Vernadsky Series: Technical sciences*, 1 (33(72)), 328–334. [in Ukrainian].
3. Stephen G. Badger, Thomas Johnson. (November / December 2000). 1999 Large Loss Fires and Explosions. *NFPA Journal*, p. 79 –82. [in English].
4. Kholshchevnikov, V. V., Serkov, B. B. (2017). Znachimost' avtomaticheskikh sistem protipvopozharnoy zashchity dlya obespecheniya bezopasnosti lyudey v vysotnykh zdaniyakh. [The importance of automatic fire protection systems for ensuring the safety of people in high-rise buildings]. *Zhurnal Pozharovzryvobezopasnost*, 9 (26), 44–49. [in Russian].
5. Fan A. Le N. Z. (2015) Analiz meropriyatiy po snizheniyu pozharnoy opasnosti v vysotnykh zhilykh zdaniyakh [Analysis of measures to reduce fire danger in high-rise residential buildings]. *Zhurnal pozharnoy bezopasnosti IPB Respubliki V'yetnam*, 77, 20–23. [in Russian].
6. Belousov, L., Dauengauer, S. (2009). Sprinklernyye sistemy vodyanogo pozharotusheniya s prinuditel'nym puskom. [Water fire extinguishing sprinkler systems with forced start]. *Algoritm bezopasnosti*, 6, 24–27. [in Russian].
7. Sautyn, Y. (2005) Kontseptsyia postroenyia bezopasnoi protyvopozharnoi avtomatyky. [The concept of building safe fire-fighting automation]. *Alhorytm bezopasnosty*, 4, 68–70. [in Russian].
8. Nadiynist′ tekhniky. Terminy ta vyznachennya [Reliability of equipment. Terms and definitions]. (1994). DSTU 2860-94 from 1st January 1996. Kyiv: UkrNDNTS [in Ukrainian].
9. Shubin, R. A. (2012). SH951 Nadozhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyy risk [Sh951 Reliability of technical systems and technogenic risk]. Tambov: Izd-vo FGBOU VPO «TGTU» [in Russian].
10. Matveyevskiy, V. R. (2002). Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem [Reliability of technical systems]. M. [in Russian].
11. Hartzell, A. L., Silva, M. G., Shea, H. S. (2011). MEMS Reliability. Springer [in English].
12. Tanner, D. M. et al. (2000). MEMS reliability: infrastructure, test structures, experiments, and failure modes. Sandia Report SAND2000-0091 Retrived from http://mems.sandia.gov/tech-info/doc/000091o.pdf
13. Gad-el-Hak, M. (ed) (2002) The MEMS Handbook. Boca Raton, FL: CRC Press. [in English].
14. Boyce, B. L., Grazier, J. M., Buchheit, T. E., Shaw, M. J. (2007). Strength distributions in polycrystalline silicon MEMS. J. Microelectromech. Syst. 16(2), 179. [in English].
15. Zvit pro naukovo-doslidnu robotu Doslidzhennya vplyvu pozhezhnykh ryzykiv na kompleks zakhodiv dlya unyknennya abo minimizatsiyi naslidkiv nadzvychaynykh sytuatsiy na terytoriyi zony vidchuzhennya [Report on research work Study of the impact of fire risks on a set of measures to avoid or minimize the consequences of emergency situations in the territory of the exclusion zone]. (2021). Kyyiv: IDU ND TSZ [in Ukrainian].
16. Nizhnyk, V. V., Feshchuk, Yu. L., Ballo, Ya. V., Teslenko, O. M., Tsyhankov, A. O. (2020). Modeliuvannia operatyvnoi obstanovky v zoni vidchudzhennia [Modeling the operational situation in the exclusion zone]. *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, 1 (26), 42–51. [in Ukrainian].
17. Nizhnyk, V. V., Feshchuk, YU. L., Sizikov, O. O., Ballo, YA. V., Zhykharyev, O. P., Tsyhankov, A. O. (2020). Otsinka korelyatsiyi chasu provedennya pozhezhno-profilaktychnoyi roboty vid kil′kosti vyyizdiv pozhezhno-ryatuval′nykh pidrozdiliv u zoni vidchuzhennya [Evaluation of the correlation of the time of fire-preventive work with the number of exits of fire-rescue units in the exclusion zone]. *Nadzvychayni sytuatsiyi: poperedzhennya ta likvidatsiy*. 4 (2), 48–53. [in Ukrainian].
18. Brushlinskiy, N. N. (1998). Sistemnyy analiz deyatel'nosti gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby. [Systematic analysis of the activities of the state fire service]. M.: MIPB MVD Rossii [in Russian].
19. Vadim Nizhnyk, Olesya Savchenko, Yaroslav Ballo, Valeria Nekora (2022). Theoretical Approaches to Justify the Coefficients of Influence of Fire Protection Systems on Individual Fire Risk. International Scientific Conference EcoComfort and Current Issues of Civil Engineering EcoComfort 2022. Proceedings of EcoComfort 2022. doi: 10.1007/978-3-031-14141-6_30 [in English].

METHODS OF ASSESSING THE EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF FIRE PROTECTION SYSTEMS

L. Nesenyuk, O. Savchenko, V. Nizhnyk, O. Nikulin

Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine

KEYWORDS:

fire safety, fire protection, individual fire risk, fire protection systems, effectiveness of fire protection systems, performance evaluation

ANNOTATION

The work provides statistical data on fires in Ukraine for 2021 and their consequences, including: the number of dead and injured people (including children), direct and collateral damage. Analytical methods were used, including comprehensive analysis and generalization of previously performed works. An analysis of literary sources and scientific research was carried out regarding the theoretical methods of assessing the reliability of technical systems and the list of reliability indicators, which at the same time are investigated and affect the efficiency of the functioning of technical systems; the classification of reliability indicators according to the properties characterizing the reliability of technical systems is given. The scheme of the procedure for researching the efficiency of the technical system is depicted. It is shown that the most applicable in practice when evaluating the effectiveness of the functioning of technical systems are probabilistic methods, the detailing of which is possible using statistical data. Mathematical models of distribution laws are given, which allow implementing probabilistic methods when evaluating the effectiveness of fire protection systems, and an analysis of their scope of application is carried out. The advantages and disadvantages of using methods for analyzing the efficiency of technical systems, namely probability distribution, binomial distribution, normal distribution, log-normal distribution, exponential distribution, Weibull distribution, are studied. It is shown that the probability (coefficient) of the influence of fire protection systems on the value of individual fire risk can also be established using field modeling methods. Approaches to assessing the probability of effective functioning, using theoretical methods, of both individual types of fire protection systems and their joint various combinations are considered. Formulated conclusions and directions for further research