

ЗМІСТ

Олена ВАСИЛЬЄВА, Олександр КОВАЛЬ, Ярослав КОЗАК ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА ЗА ДОПОМОГОЮ ІМПУЛЬСНОГО МЕТОДУ.....	7
Olena VASYLIEVA, Oleksandr KOVAL, Yaroslav KOZAK EXPERIMENTAL STUDIES OF THE FIRE DETECTOR'S TIME PARAMETERS DETERMINING PROCESS USING THE PULSE METHOD	
Вікторія ДАГІЛЬ, Лариса ХАТКОВА, Ілля ДАГІЛЬ РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ БУДІВЕЛЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ ІМОВІРНОСТЕЙ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ.....	15
Victoria DAGIL, Larisa KHATKOVA, Ilya DAGIL DEVELOPMENT OF THE METHODOLOGY OF THE ROZAHUNK INDICATORS IN THE RELIABILITY OF WAKE-UP WITH VICTORIES OF THEORIES AND MOVIERES AND MATHEMATICAL STATISTICS	
Олександр ДОБРОСТАН, Тарас САМЧЕНКО, Микола ГРИГОР'ЯН, Роман ЧЕРНИШ НАУКОВЕ ПІДґРУНТЯ СТВОРЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ ПОКРИВЕЛЬ НА СТІЙКІСТЬ ДО ЗОВНІШНЬОГО ВОГНЕВОГО ВПЛИВУ.....	23
Oleksandr DOBROSTAN, Taras SAMCHENKO, Mykola HRYHORYAN, Roman CHERNYSH SCIENTIFIC BASIS OF THE CREATION AND APPLICATION OF EQUIPMENT FOR TESTING ROOFS FOR RESISTANCE TO EXTERNAL FIRE INFLUENCE	
Назарій КОЗЯР ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ЗОВНІШНІХ ТЕРМОУДАРНИХ ВПЛИВІВ НАДЗВУКОВОГО ПОТОКУ ПОВІТРЯ НА ПОВЕРХНЮ ЦИЛІНДРИЧНИХ МЕТАЛЕВИХ ОБОЛОНОК ЗАРЯДІВ ПІРОТЕХНІЧНИХ НІТРАТНО-МЕТАЛЕВИХ СУМІШЕЙ В УМОВАХ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ.....	33
Nazarii KOZIAR DETERMINATION OF THE CRITICAL VALUES OF THE PARAMETERS OF THE EXTERNAL THERMOSHOCK EFFECTS OF A SUPERSONIC AIR FLOW ON THE SURFACE OF CYLINDRICAL METAL SHELLS OF CHARGES OF PYROTECHNIC NITRATE AND METAL MIXTURES UNDER THE CONDITIONS OF THEIR APPLICATION	
Василь ЛУШ, Олександр ЛАЗАРЕНКО ГІДРАВЛІЧНА ВЕНТИЛЯЦІЯ ТА АНТИВЕНТИЛЯЦІЯ НА ПОЖЕЖІ.....	45
Vasyl LUSHCH, Oleksandr LAZARENKO HYDRAULIC VENTILATION AND ANTI-VENTILATION DURING FIRE SUPPRESSION	

Іван НЕСЕН

ОБҐРУНТУВАННЯ ТАБЛИЧНОГО МЕТОДУ ОЦІНКИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ДЛЯ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СХОДОВИХ МАРШІВ..... 56

Ivan NESEN

JUSTIFICATION OF THE TABULAR METHOD OF ASSESSING FIRE RESISTANCE
FOR REINFORCED CONCRETE STAIRCASE

Вадим НІЖНИК, Олеся САВЧЕНКО, Валерія НЕКОРА

ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ
СИСТЕМ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ НА РІВЕНЬ ІНДИВІДУАЛЬНОГО
ПОЖЕЖНОГО РИЗИКУ 67

Vadim NIZHNYK, Olesia SAVCHENKO, Valeria NEKORA

THEORETICAL APPROACHES FOR STUDYING THE REGULARITY OF THE
INFLUENCE OF FIRE PROTECTION SYSTEMS ON THE LEVEL OF INDIVIDUAL
FIRE RISK

Сергій ПАНЧЕНКО, Вадим НІЖНИК, Артем БИЧЕНКО

АЛГОРИТМИ ВИКОРИСТАННЯ ПОЖЕЖНОЇ АВІАЦІЇ
ДЛЯ ГАСІННЯ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ..... 77

Serhii PANCHENKO, Vadim NIZHNYK, Artem BYCHENKO

ALGORITHMS OF USING FIRE AVIATION TO EXTINGUISH FOREST FIRES

Аліна ПЕРЕГІН, Дмитро КРИШТАЛЬ, Тетяна ДІДЕНКО, Віталій СТЕПАНЕНКО

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКОВОЇ ОЦІНКИ МЕЖИ
ВОГНЕСТІЙКОСТІ НЕСУЧОЇ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ СТІНИ НА ОСНОВІ
РЕЗУЛЬТАТІВ ВОГНЕВИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ..... 89

Alina PEREHIN, Dmytro KRYSH TAL, Tetiana DIDENKO, Vitalii STEPANENKO

IMPROVEMENT OF THE CALCULATION ASSESSMENT OF THE LIMIT OF FIRE
RESISTANCE OF A LOAD-BEARING REINFORCED CONCRETE WALL BASED ON
THE RESULTS OF FIRE EXPERIMENTS

**Сергій ПОЗДЄЄВ, Андрій БЕРЕЗОВСЬКИЙ, Ірина РУДЕШКО, Тетяна КОСТЕНКО,
Станіслав СІДНЕЙ**

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІЄРАРХІЧНОГО ПІДХОДУ
ЩОДО РОЗРАХУНКОВОЇ ОЦІНКИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ЗА ЄВРОКОДОМ 2..... 99

**Serhii POZDIEIEV, Andriy BEREZOVSKYI, Iryna RUDESHKO, Tetiana KOSTENKO,
Stanislav SIDNEI**

STUDY OF THE EFFICIENCY OF THE HIERARCHICAL APPROACH TO
CALCULATED ASSESSMENT OF THE FIRE RESISTANCE OF REINFORCED
CONCRETE BEAMS ACCORDING TO EUROCODE 2

**Сергій ПОЗДЄЄВ, Олег КУЛИЦА, Сергій ТРОШКІН, Павло ПАНЧЕНКО,
Максим САГДІЄВ**

ПРОГНОЗУВАННЯ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙНОЇ СИТУАЦІЇ
В МОБІЛЬНІЙ КОТЕЛЬНІ..... 107

**Serhii POZDIEIEV, Oleh KULITSA, Serhii TROSHKIN, Pavlo PANCHENKO,
Maxim SAGDIEV**

FORECASTING THE EMERGENCY OF AN EMERGENCY
IN A MOBILE BOILER ROOM

<i>Сергій ПОЗДЄЄВ, Ольга НЕКОРА, Микола ЗМАГА, Яна ЗМАГА, Аліна НОВГОРОДЧЕНКО</i>	
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ОБВУГЛЮВАННЯ ФРАГМЕНТІВ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК З ОБЛИЦЮВАННЯМ ДВОХ ТИПІВ.....	119
<i>Serhii POZDIEIEV, Olha NEKORA, Mykola ZMAHA, Yana ZMAHA, Alina NOVHORODCHENKO</i>	
RESULTS OF RESEARCHING THE RATE OF CARBONIZATION OF FRAGMENTS OF WOODEN BEAMS WITH TWO TYPES OF CLADDING	
<i>Максим ПУСТОВИЙ, Ігор МАЛАДИКА, Сергій НОВАК</i>	
ОЦІНЮВАННЯ НЕОБХІДНОЇ ТОВЩИНИ ВОГНЕЗАХИСТУ ДЛЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА РІЗНИМИ ТЕМПЕРАТУРНИМИ РЕЖИМАМИ ПОЖЕЖІ.....	131
<i>Maksym PUSTOVYI, Igor MALADYKA, Serhii NOVAK</i>	
EVALUATION OF THE NECESSARY FIRE PROTECTION THICKNESS FOR STEEL STRUCTURES UNDER DIFFERENT FIRE TEMPERATURE-TIME CURVE	
<i>Світлана ФЕДЧЕНКО</i>	
ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ РИГЕЛІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВОГНЕВИХ ВИПРОБУВАНЬ.....	149
<i>Svitlana FEDCHENKO</i>	
JUSTIFICATION OF THE METHOD OF IDENTIFYING THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CONCRETE OF REINFORCED CONCRETE BEAMS ACCORDING TO THE RESULTS OF FIRE TESTS	
<i>Юрій ФЕЩУК, Вадим НІЖНИК, Світлана ГОЛІКОВА, Олександр ЖИХАРЄВ</i>	
ОБҐРУНТУВАННЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ КІЛЬКОСТІ УКОМПЛЕКТОВАНИХ ПОЖЕЖНИХ ЩИТІВ НА ТЕРИТОРІЇ ВРУ 750/330 КВ АЕС.....	158
<i>Yurii FESHCHUK, Vadym NIZHNYK, Andrii TSYHANKOV, Oleksandr ZHYKHARIEV</i>	
JUSTIFICATION OF THE EQUIPMENT OF THE 750/330 KV VRU TERRITORY AES WITH PRIMARY FIRE EXTINGUISHING EQUIPMENT	
<i>Олександр ХЛЕВНОЙ, Юлія КОРДУНОВА, Діана РАЙТА, Андрій ГАВРИСЬ, Віктор КОВАЛЬЧУК</i>	
РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ РОЗРАХУНКУ ТРИВАЛОСТІ ЕВАКУАЦІЇ ПІД ЧАС ПОЖЕЖІ ЗА СПРОЩЕНОЮ АНАЛІТИЧНОЮ МОДЕЛЛЮ.....	169
<i>Oleksandr KHLEVNOI, Yuliia KORDUNOVA, Diana RAITA, Andriy HAVRYS, Viktor KOVALCHUK</i>	
DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF THE ALGORITHM FOR CALCULATING EMERGENCY EVACUATION DURATION ACCORDING TO A SIMPLIFIED ANALYTICAL MODEL	
<i>Анна БОРИСОВА, Олександр НУЯНЗІН, Сергій ХРЯПАК</i>	
РАЗОРАХУНКОВА ОЦІНКА ЗАЛЕЖНОСТІ ІНТЕНСИВНОСТІ ВІТРОВОГО ВПЛИВУ НА МОЖЛИВІСТЬ ПОШИРЮВАННЯ ПОЖЕЖІ НА СУСІДНІ БУДІВЛІ.....	182
<i>Анна БОРИСОВА, Олександр НУЯНЗІН, Сергій ХРЯПАК</i>	
РАЗОРАХУНКОВА ОЦІНКА ЗАЛЕЖНОСТІ ІНТЕНСИВНОСТІ ВІТРОВОГО ВПЛИВУ НА МОЖЛИВІСТЬ ПОШИРЮВАННЯ ПОЖЕЖІ НА СУСІДНІ БУДІВЛІ	

***Oksana KYRYCHENKO, Oleh ZEMLIANSKYI, Roman MOTRICHUK,
Ievgenii SHKOLIAR, Viktoriia KOVBASA***
THERMODYNAMIC CALCULATIONS FOR DETERMINING
THE TEMPERATURE OF COMBUSTION PRODUCTS OF PYROTECHNIC
PRODUCTS BASED ON ALUMINUM-MAGNESIUM ALLOY POWDER.....191

***Оксана КИРИЧЕНКО, Олег ЗЕМЛЯНСЬКИЙ, Роман МОТРИЧУК,
Євгеній ШКОЛЯР, Вікторія КОВБАСА***
ТЕРМОДИНАМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ
ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ПИРОТЕХНІЧНИХ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ ПОРОШКІВ
АЛЮМІНІЄВО-МАГНІЄВИХ СПЛАВІВ

УДК 614.84

DOI:<https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.1.67.76>

Вадим НІЖНИК, доктор технічних наук, старший науковий співробітник
(ORCID ID: 0000-0003-3370-9027),

Олеся САВЧЕНКО (ORCID ID: 0000-0002-4140-3055),

Валерія НЕКОРА (ORCID ID: 0000-0003-4354-4422),

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ СИСТЕМ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ НА РІВЕНЬ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ПОЖЕЖНОГО РИЗИКУ

Показано, що системи протипожежного захисту мають вплив на пожежні ризики. На основі аналізу літературних джерел та нормативних документів встановлено, що вплив систем протипожежного захисту на значення індивідуального пожежного ризику на сьогодні не досліджено та не має наукового обґрунтування, а базується лише на експертних методах. Сформульовано мету роботи, її об'єкт та предмет дослідження, визначені задачі досліджень, вирішення яких дасть змогу досягти встановленої мети, та наведені наукові методи для вирішення поставлених задач. Приведено формалізований підхід щодо оцінювання індивідуального пожежного ризику. Показано, що коефіцієнт ефективного функціонування системи протипожежного захисту є одним із параметрів, за допомогою якого можливо кількісно оцінити вплив систем протипожежного захисту на значення індивідуального пожежного ризику. Розкриті теоретичні аспекти для встановлення закономірності впливу ефективності функціонування систем протипожежного захисту на наслідки від пожежі із використанням двох підходів, які засновані на методах теорії ймовірності, які базуються на використанні статистичних даних про пожежі та польових моделях із використанням сучасних комп'ютерних програмних комплексів (FDS). Зокрема, запропоновано нові підходи для встановлення ймовірності (коефіцієнту) ефективності виконання функцій системами протипожежного захисту, ймовірності (коефіцієнту) оснащеності об'єктів системами протипожежного захисту та ймовірності (коефіцієнту) справності систем протипожежного захисту. Запропоновано перелік подій та опис найбільш доцільних сценаріїв розвитку пожежі, аналізування яких дозволить кількісно встановити ефективність функціонування системи протипожежного захисту під час пожежі. Запропоновано методіку теоретичного дослідження закономірності впливу ефективності функціонування систем протипожежного захисту на значення індивідуального пожежного ризику.

Ключові слова: пожежний ризик, системи протипожежного захисту, коефіцієнти впливу, критерії оцінки, параметри пожежної небезпеки, наслідки, оцінювання пожежного ризику, управління пожежним ризиком.

Постановка проблеми. Одним із технічних заходів, що може знижувати пожежні ризики, є обладнання об'єктів системами протипожежного захисту (СПЗ). На сьогодні врахування впливу СПЗ під час оцінювання параметрів пожежних ризиків або інших параметрів пожежної небезпеки об'єктів частково враховано через коефіцієнт ймовірності ефективного спрацювання СПЗ. При цьому визначено, що значення такого коефіцієнту отримується за даними технічної документації щодо вірогідності безвідмовної роботи, а у разі відсутності таких даних допускається приймати значення ймовірності ефективного спрацювання кожної СПЗ рівним 0,5 (аналіз технічної документації на існуючі системи показав відсутність значення такого параметру, а його значення «0,5» прийнято експертним шляхом без належного наукового обґрунтування та не враховує специфіку функціональності кожної окремої системи).

Таким чином, дослідження впливу СПЗ на розрахункові параметри індивідуального пожежного ризику (ІПР) є актуальною науковою задачею. В даній роботі досліджуються теоретичні підходи для дослідження закономірності впливу СПЗ на рівень ІПР.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. За результатами аналізу літературних джерел [1-4] та нормативних документів [5-9] можна сказати, що на сьогодні процеси впливу відповідних СПЗ на величину ІПР досліджені не в повній мірі. Зокрема, не мають наукового обґрунтування та не досліджені закономірності впливу ефективного спрацювання СПЗ на наслідки від пожеж, що обумовлює актуальність досліджень у визначеному напрямку, як передумови для удосконалення методу оцінювання ІПР.

Така ситуація призвела до того, що застосування СПЗ з точки зору забезпечення пожежної безпеки об'єкту є ефективним рішенням, яке регламентоване рядом нормативних документів [5-9]. При цьому під час оцінювання ІПР ефективність застосування СПЗ враховується опосередковано та фактично не має можливості врахувати особливості окремого виду системи або випадку одночасного впливу (функціонування) декількох систем.

Отже, стан порушеного питання характеризується протиріччями:

- на практиці:

а) з одного боку, об'єкти оснащуються СПЗ і це є ефективним рішенням щодо забезпечення протипожежного захисту об'єкту;

б) з іншого боку, під час оцінювання ІПР ефективність впливу СПЗ не враховується;

- в теорії:

а) з одного боку, наявне підґрунтя щодо математичного описання впливу СПЗ на ІПР;

б) з іншого боку, відсутні науково обґрунтовані закономірності впливу СПЗ на розрахункові параметри ІПР.

Дослідженням питань ймовірності ефективного спрацювання різних інженерних систем та їх компонентів, в тому числі СПЗ, займалися: Карташов М. В., Клесов О. І., Лебедєв Є. О., Портенко М. І., Дислон Б., Cungh Z., Avizienis A., Garter W., Nerber P. Процеси відмов, ефективності роботи на основі теорії ймовірності, але цими дослідженнями не охоплені питання ефективності спрацювання СПЗ.

Дослідженням процесів та методів оцінювання пожежних ризиків займалися Брушлінський М., Ніжник В., Сізіков О. О., Дунюшкін В., Бегун В., Холщевніков В., разом із цим у зазначених роботах не досліджені питання впливу СПЗ на ІПР.

На сьогоднішній день з метою оцінювання ефективності технічних систем використовуються методи теорії ймовірності. Такі підходи набули розвитку у європейських країнах та передбачають поділ системи на елементарні компоненти, їх оцінювання, з подальшим прогнозом ефективності для всієї технічної системи в цілому.

Отже, питання щодо дослідження впливу СПЗ на розрахункові параметри ІПР є актуальною науковою задачею, розв'язання якої дасть можливість удосконалити метод оцінювання ІПР. При цьому, під час дослідження зазначеного питання доцільно використати методи, які засновані на теорії ймовірності із використанням статистичних даних.

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є обґрунтування математичної моделі для встановлення закономірності впливу ефективності функціонування СПЗ на рівень ІПР.

Для досягнення зазначеної мети поставлені та вирішені такі задачі:

обґрунтувати математичну модель для встановлення закономірності впливу ефективності функціонування СПЗ на наслідки від пожеж із використанням польових моделей;

обґрунтувати математичну модель для встановлення закономірності впливу ефективності функціонування СПЗ на наслідки від пожеж із використанням методів теорії ймовірності;

обґрунтувати методику теоретичних досліджень з визначення коефіцієнтів ймовірної ефективності спрацювання СПЗ.

Об'єкт дослідження – оцінка індивідуального пожежного ризику.

Предмет дослідження – залежність ІПР від ефективності функціонування СПЗ.

Виклад основного матеріалу дослідження та аналіз отриманих результатів.

У роботі [10] здійснено аналіз наукових джерел та досліджень щодо теоретичних методів оцінювання надійності технічних систем і переліку показників надійності, які впливають на ефективність функціонування технічних систем, в тому числі СПЗ.

В зазначеній роботі також показано, що найбільш застосовними на практиці під час оцінювання ефективності функціонування технічних систем є ймовірнісні методи, в основу яких покладені статистичні дані та методи комп'ютерного моделювання із використанням польових моделей.

В роботах [11] ризик трактується як добуток ймовірності виникнення небезпечної події на середній збиток від такої події. При цьому зарубіжні та вітчизняні науковці, які присвятили роботи проблемі ризиків і безпеки, виходять із єдиного формалізованого підходу щодо оцінювання ризику [12]:

$$R = P \cdot U, \quad (1)$$

де P – ймовірність настання небезпечної події;

U – математичне очікування збитку від такої події.

У рівнянні (1) значення ймовірності настання такої небезпечної події, як загибель людини від пожежі, можна визначити із наступного рівняння:

$$P_i = (1 - P_e) \cdot (1 - P_{\text{ПЗ}}), \quad (2)$$

де P_e – ймовірність успішної евакуації людей в безпечне місце;

$P_{\text{ПЗ}}$ – ймовірність ефективної роботи СПЗ.

Виходячи із рівняння (2), СПЗ є одним із вихідних параметрів під час оцінювання значення ІПР.

Очевидним є те, що ймовірність ефективної роботи для окремих елементів СПЗ можна виразити через відношення значення ІПР для об'єкту не оснащеного відповідною СПЗ R_b до значення ІПР для об'єкту, оснащеного такою СПЗ R_c , що можна виразити наступною залежністю:

$$K_{\text{СПЗ},i} = \frac{R_b}{R_c}. \quad (3)$$

Значення ІПР R_b та R_c , можна визначити двома шляхами із використанням польової моделі та із використанням методів теорії ймовірності із використанням статистичних даних.

Застосовні в даному випадку методи теорії ймовірності викладені у роботах [12-14] та базуються на використанні рівняння:

$$R_{b,c} = \frac{N_n}{N_{\text{ум}}}, \quad (4)$$

де N_n – кількість відтворювань небезпечної події при певних умовах;

$N_{\text{ум}}$ – повторюваність заданих умов.

Щоб визначити ІПР із урахуванням впливу СПЗ за допомогою методів теорії ймовірності необхідно встановити для кожного типу СПЗ перелік подій, які обумовлюють ефективно чи не ефективно виконання функцій відповідною СПЗ.

Наприклад, об'єкт може бути оснащений СПЗ, але система не спрацювала під час пожежі. Інший випадок для прикладу, коли система реагує на дію небезпечних чинників пожежі, але не виконує свою функцію в цілому або частково. Тому під час оцінювання ефективності функціонування відповідних СПЗ встановлено для аналізування такі події: кількість пожеж, які ліквідуються на їх початковій стадії розвитку без виклику пожежно-рятувальних підрозділів (ПРП); кількість пожеж, які ліквідуються із залученням ПРП; кількість пожеж, на ліквідацію яких залучаються додаткові сили та засоби ПРП; кількість пожеж, внаслідок яких гинули люди.

Слід відмітити, що зазначені події приймаються тільки для тих випадків, коли об'єкт оснащений відповідними СПЗ та СПЗ під час пожежі відреагувала на небезпечні чинники пожежі або на сигнали спонукальних систем, які приводять в дію відповідну СПЗ.

При цьому такі події, як кількість пожеж, на ліквідацію яких залучалися додаткові сили і засоби ПРП, та кількість пожеж, внаслідок яких гинули люди, відносимо до зони не припустимого рівня ППР.

Встановлення ймовірності реалізації кожної із перелічених вище подій для відповідних СПЗ визначаємо за формулою:

$$P_{pi} = \frac{N_{\text{пож.пі}}}{N_{\text{пож}}}, \quad (5)$$

де $N_{\text{пож.пі}}$ – кількість пожеж на об'єктах, які оснащені відповідною СПЗ під час, яких мала реалізацію i -та подія;

$N_{\text{пож}}$ – загальна кількість пожеж на об'єктах, які оснащені відповідною СПЗ.

Дані щодо кількості пожеж на об'єктах, які оснащені відповідною СПЗ, під час яких мала реалізацію i -та подія ($N_{\text{пож.пі}}$), та загальної кількості пожеж на об'єктах, які оснащені відповідною СПЗ ($N_{\text{пож}}$), встановлюються на підставі використання статистичних даних.

Використовуючи формулу (5) та відповідні статистичні дані, встановлюються небезпечні події від пожежі, які обумовлюють (характеризують) ефективність функціонування відповідної СПЗ. Надалі саме для таких подій необхідно зібрати статистичні дані по кожній із СПЗ, а саме: кількість об'єктів, які оснащені відповідною СПЗ; кількість об'єктів, які згідно із нормативних документів повинні оснащуватися відповідною СПЗ; кількість відповідних СПЗ, по яких дотримуються регламенти щодо їх технічного обслуговування; кількість спрацювань під час пожеж відповідних СПЗ.

Для оцінювання закономірності впливу ефективності функціонування СПЗ на наслідки від пожеж (задимленість приміщення, підвищення температури, зниження концентрації кисню тощо) використовується обчислювальна гідродинамічна модель тепломасопереносу під час горіння, яка чисельно вирішує рівняння Нав'є-Стокса для низькошвидкісних температурно-залежних потоків.

Зазначена модель являє собою систему диференціальних рівнянь щодо збереження маси, імпульсу та енергії з частинними похідними [15] та вирішується на трьохвимірній регулярній сітці.

Математична модель описує просторово-часовий розподіл температури та швидкостей газового середовища (кисню, продуктів горіння тощо), тисків та густин.

Рівняння збереження маси може бути виражене через густину

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \vec{u} = \dot{m}_b^m, \quad (6)$$

де t – час; ρ – густина; \vec{u} – вектор відносної швидкості, $\dot{m}_b^m = \sum \dot{m}_{b,a}^m$ – швидкість утворення газових компонентів в наслідок випаровування, \vec{u} – двохелементний тензор, в матричній системі $\vec{u} = [u, v, w]^T$, що представлений тензорним добутком векторів u та uT .

Рівняння 6 можна записати для індивідуальних газових компонентів (закон збереження окремих компонентів), в такому випадку воно набуває вигляду:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_a) + \nabla \rho Y_a u = \nabla \cdot \rho D_a \nabla Y_a + \dot{m}_a^m + \dot{m}_{b,a}^m, \quad (7)$$

де Y_a – концентрація а-го компонента реакції горіння, D_a – дифузійний коефіцієнт а-го компонента $D_a = \frac{\mu_a}{\rho S_{ct}}$, μ_a – молекулярна динамічна в'язкість а-го компонента, S_{ct} – турбулентне число Шмідта.

Рівняння збереження імпульсу записується як:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \nabla \cdot \rho u u + \nabla p = \rho g + f_b + \nabla \cdot \tau_{ij}, \quad (8)$$

де p – тиск, f_b – зовнішня сила, наприклад, такі як опір руху через каплі рідини, τ_{ij} – тензор напруги.

Рівняння збереження енергії може бути виражене через ентальпію (h_s)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h_s) + \nabla \cdot \rho h_s u = \frac{Dp}{Dt} + \dot{q}^m - \dot{q}_b^m - \nabla \dot{q}^n - \varepsilon, \quad (9)$$

де h_s – ентальпія є функцією температури $h_s = \sum_a Y_a h_{s,a}$, $h_{s,a}(T) = \int_{T_0}^T C_{p,a}(T') dT'$.

Конвективні та радіаційні теплові потоки (\dot{q}^n) можна визначити за рівнянням

$$\dot{q}^n = -k \nabla T - \sum_a h_{s,a} \rho D_a \nabla Y_a + \dot{q}_r^n, \quad (10)$$

де k – теплопровідність.

Рівняння стану газу можна записати у вигляді:

$$p = \frac{\rho RT}{W}, \quad (11)$$

де R – універсальна газова стала.

Рішення описаної вище математичної моделі теплообміну між об'єктами під час пожежі за методами газодинаміки може реалізуватися в програмному комплексі Fire Dynamics Simulator (FDS). Для відображення та візуалізації результатів моделювання програми FDS використовується програма Smokeview (SMV) [16].

Основним алгоритмом є певна схема методу предиктора коректора другого порядку точності по координатах температури і часу. В зазначеній математичній моделі додатково використовуються такі моделі, як модель горіння, модель турбулентності, модель променистого теплообміну, модель потоків та частинок тощо.

У зазначеній математичній моделі до граничних умов слід включити: геометричні умови, що характеризують форми і розміри; фізичні умови, що характеризують фізичні властивості; початкові умови, що характеризують розподіл температур в початковий момент часу; умови, що характеризують взаємодію із навколишнім середовищем.

Основним завданням під час розроблення математичної моделі є максимальне наближення параметрів моделі до умов процесу, що досліджується, та взаємозв'язків об'єктів, які беруть участь у зазначеному процесі, а саме: об'ємно-планувальні та конструктивні рішення об'єктів, геометричні розміри об'єктів та їх масштабування, матеріали об'єктів, параметри навколишнього середовища, пожежне навантаження об'єктів та їх реакції горіння, сценарій виникнення та продовження горіння, обраний тип СПЗ чи їх комбінація.

Граничні умови, що характеризують взаємодію об'єкта дослідження із навколишнім середовищем, можуть бути задані декількома способами.

Граничні умови першого роду. Задається розподіл температури на поверхні тіла для кожного моменту часу:

$$\theta_c = f(x, y, z, \tau), \quad (12)$$

де θ_c – температура на поверхні тіла; x, y, z, τ – координати поверхні тіла.

Граничні умови другого роду. Задаються значення теплового потоку для кожної точки поверхні тіла і будь-якого моменту часу.

Аналітично це можна представити таким чином:

$$q_n = f(x, y, z, \tau), \quad (13)$$

де q_n – щільність теплового потоку на поверхні тіла.

У найпростішому випадку щільність теплового потоку по поверхні і в часі залишається незмінною:

$$q_n = q_0 = const. \quad (14)$$

Граничні умови третього роду. При цьому задаються температура навколишнього середовища і закон теплообміну між поверхнею тіла і навколишнім середовищем. Гранична умова третього роду характеризує закон теплообміну між поверхнею і навколишнім середовищем в процесі охолодження і нагрівання тіла. Для опису процесу теплообміну між поверхнею тіла і середовищем використовується закон Ньютона-Ріхмана.

Із отриманих двох значень коефіцієнтів ймовірної ефективності спрацювання СПЗ на рівень ІПР вибирається значення, яке встановлює найменший рівень впливу.

З метою встановлення залежності ІПР від ефективності функціонування СПЗ згідно із формулою (3) необхідно ідентифікувати, які саме ризики під час оцінювання коефіцієнтів ймовірної ефективності функціонування СПЗ на значення ІПР слід встановлювати. За результатами аналізу досвіду зарубіжних країн [9] щодо оцінювання ризиків у сферах цивільного захисту, пожежної та техногенної безпеки встановлено, що такими ризиками можуть бути: ризик загибелі людини, ризик виникнення пожежі, ризик поширення пожежі на сусідні об'єкти, ризик нанесення шкоди навколишньому природному середовищу. За результати аналізу статистичних даних про пожежі [1] встановлено, що на території України найбільш динамічними є ризики: загибелі людини на пожежі та ризик виникнення пожежі. Оскільки в нашому випадку оцінюється ефективність впливу СПЗ на ІПР, то в подальших дослідженнях щодо встановлення коефіцієнту ймовірної ефективності функціонування СПЗ на рівень ІПР визначаємо саме ризик загибелі людини від наслідків пожежі.

Вплив СПЗ на значення ІПР можливий лише за умов, якщо СПЗ виконає свою функцію.

Ймовірність (коефіцієнт) ефективності виконання функцій СПЗ ($K_{e.f.}$) встановлюється як добуток двох ймовірностей: ймовірності (коефіцієнту) оснащення об'єкту СПЗ ($K_{осн}$) та ймовірності (коефіцієнту) справності СПЗ ($K_{спр}$), що можна виразити через рівняння

$$K_{e.f.} = K_{осн} \cdot K_{спр}. \quad (15)$$

Ймовірність (коефіцієнт) ефективності виконання функцій СПЗ ($K_{e.ф.}$) також можна визначити на підставі відповідних статистичних даних, як співвідношення кількості спрацювань СПЗ під час пожеж ($N_{с.СПЗ}$) до загальної кількості пожеж на об'єктах, які оснащені СПЗ ($N_{п.СПЗ}$). Зазначене можна виразити у вигляді рівняння:

$$K_{e.ф.} = \frac{N_{с.СПЗ}}{N_{п.СПЗ}}. \quad (16)$$

Використовуючи статистичні дані, можна встановити ймовірність (коефіцієнт) оснащення об'єктів СПЗ ($K_{осн.}$) та ймовірність (коефіцієнт) справності СПЗ ($K_{спр.}$):

$$K_{осн.} = \frac{N_{осн.}}{N_{п.б.осн.}}; \quad (17)$$

$$K_{спр.} = \frac{N_{д.ТО}}{N_{осн.}} \quad (18)$$

де $N_{осн.}$ – кількість об'єктів, які оснащені СПЗ;

$N_{п.б.осн.}$ – кількість об'єктів, які згідно із нормативними документами повинні бути оснащені СПЗ;

$N_{д.ТО}$ – кількість об'єктів, на яких щодо СПЗ дотримуються регламентів технічного обслуговування.

Використовуючи формули (15) та (16), встановлюється ймовірність (коефіцієнт) ефективності виконання функцій СПЗ ($K_{e.ф.}$).

Використовуючи дані ймовірності (коефіцієнту) ефективності виконання функцій СПЗ ($K_{e.ф.}$), що отримані із використанням методів теорії ймовірності та польових методів моделювання, встановлюється закономірність впливу ефективності спрацювання СПЗ на значення ППР шляхом проведення повнофакторного експерименту.

Узагальнюючи дані, отримані за результатом повнофакторного експерименту, визначаються коефіцієнти ймовірної ефективності спрацювання СПЗ на рівень ППР.

Отже, процедура вирішення математичної моделі щодо дослідження впливу функціонування СПЗ на значення ППР представлена в такому вигляді:

1. Встановлюється перелік параметрів, які характеризують вплив СПЗ на значення ППР та відповідні наслідки пожеж для оцінювання ризику.

2. Збираються статистичні дані, необхідні під час обґрунтування коефіцієнту ймовірної ефективності функціонування СПЗ на значення ППР із використанням методів теорії ймовірності. Проводиться математична обробка статистичних даних.

3. Визначається коефіцієнт ймовірної ефективності функціонування СПЗ на значення ППР із використанням польових методів моделювання.

4. Із отриманих двох значень коефіцієнтів ймовірної ефективності функціонування СПЗ на значення ППР вибирається значення, яке визначає найменший рівень впливу.

5. Проводиться повнофакторний експеримент згідно із процедурою, встановленою в [17].

6. Теоретично визначається закономірність впливу ефективності функціонування СПЗ на значення ППР.

В роботі наведені теоретичні підходи щодо дослідження закономірності впливу ефективності функціонування СПЗ на значення ППР. При цьому, зроблені такі **висновки:**

1. Обґрунтовано перелік подій, які обумовлюють ефективне функціонування СПЗ та якими є: кількість пожеж, які ліквідуються на їх початковій стадії розвитку без виклику ПРП; кількість пожеж, які ліквідуються із залученням ПРП; кількість пожеж,

на ліквідацію яких залучаються додаткові сили та засоби ПРП; кількість пожеж, внаслідок яких гинули люди.

2. Обґрунтовано найбільш доцільні сценарії розвитку пожежі, аналізування яких дозволить визначити закономірності впливу СПЗ на значення ПР, а саме: розвиток пожежі у разі функціонування відповідної СПЗ та розвиток пожежі у разі не функціонування відповідної СПЗ.

3. Показано, що оцінювання впливу СПЗ на значення ПР можна здійснити двома шляхами із використанням теорії ймовірності на основі статистичних даних та із використанням методу, який заснований на польових моделях, та засобів обчислювальної газогідродинаміки. На підставі чого розроблено математичну модель та методичку теоретичних досліджень закономірності впливу ефективного функціонування СПЗ на значення ПР та встановлення відповідних коефіцієнтів. Зокрема, запропоновано нові підходи для встановлення ймовірності (коефіцієнту) ефективності виконання функцій системами протипожежного захисту, ймовірності (коефіцієнту) оснащеності об'єктів системами протипожежного захисту та ймовірності (коефіцієнту) справності систем протипожежного захисту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ніжник В., Савченко О., Добряк Д., Кравченко Н. Аналіз сучасного стану управління індивідуальним пожежним ризиком із використанням систем протипожежного захисту // Науковий журнал «Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського Серія: Технічні науки», Том 33 (72) № 1. Київ: 2022. – С. 328-333.

2. Stephen G. Badger, Thomas Johnson. 1999 Large Loss Fires and Explosions. NFPA Journal. November / December 2000. – p.79-82.

3. Runner V.V. Life safety: [study. manual] / [V.V. Behun, I.M. Naumenko] – К.: УАННП "Фенікс", 2004. – 328 р.

4. Фан А. Ле Н. З. Аналіз заходів зі зниження пожежної небезпеки у висотних житлових будівлях // Журнал пожежної безпеки Республіки В'єтнам. – 2015. – Т. 77. С. 20 – 23.

5. ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захисту [Чинний від 01.07.2015]. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2015, 81 с. – (Державні Будівельні Норми).

6. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні вимоги. [Чинний від 01.01.2020]. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2029, 87 с. – (Національний стандарт України).

7. ISO 8421-2:1987 Fire protection — Vocabulary — Part 2: Structural fire protection. [Електронний ресурс. Режим доступу]: <https://www.iso.org/ru/standard/15591.html>.

8. BS EN 54-1: 2011 Fire detection and fire alarm systems. [Електронний ресурс. Режим доступу]: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/53f62dc9-0238-47a5-84d4-d3ed8ab0f375/en-54-1-2011>.

9. NFPA 551 Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments. [Електронний ресурс. Режим доступу]: <https://catalog.nfpa.org/NFPA-551-Guide-for-the-Evaluation-of-Fire-Risk-Assessments-P1331.aspx>

10. Несенюк Л. П., Савченко О. В., Ніжник В. В., Нікулін О. Ф. Методи оцінювання ефективності функціонування систем протипожежного захисту // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. К.: № 2 (14), 2022. С. 134-142.

11. Бегун В.В. Безпека життєдіяльності: [навч. посіб.] / [Бегун В.В., Науменко І.М.] – К.: УАННП “Фенікс”, 2004. – 328 с.

13. В. В. Ніжник, А. В. Михайлова Щодо зарубіжного досвіду з визначення пожежного ризику/ Науковий вісник УкрНДІПБ. – К.: №1(27), 2013, с. 100-105.

14. В. В. Ніжник, Р. В. Климась, О. О. Сізіков, О. П. Якименко, А. В. Нетреба, Н. М. Довгошеєва Удосконалення методичних підходів до оцінювання пожежного ризику/ Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. – К.: №2(2), 2016, с. 83-88.

15. Ніжник В. В. Аналіз теоретичних та експериментальних методів досліджень теплопередачі між будинками та спорудами під час пожежі / Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". – 2019. – Вып. №3 (65)/2019. – С. 86 – 92.

16. Нижник В. В. Обоснование безопасного противопожарного расстояния между ферментаторами для производства биогаза / С. В. Поздеев, В. В. Нижник, Я. В. Балло, А. Н. Нуянзин, Р. В. Уханский, В. С. Кропивницкий / 390 Naukowy wydawany. VIP. Bezpieczeństwo i technika pożarnicza. – Vol. 51 ISSUE 3, 2018. – 60 – 67. (Видання індексується бібліометричною платформою Index Copernicus).

17. Звіт за темою: «Обґрунтування впливу систем протипожежного захисту під час реалізації ризик-орієнтовного підходу у профілактичній діяльності підрозділів ДСНС України», 2022.

REFERENCES

1. Nizhnyk V., Savchenko O., Dobryak D., Kravchenko N. Analysis of the current state of individual fire risk management with the use of fire protection systems // Scientific journal "Scientific Notes of the Tauriy National University named after V.I. Vernadskyi Series: Technical Sciences", Volume 33 (72) No. 1. Kyiv: 2022. – P. 328-333.

2. Nesenyuk L.P., Savchenko O.V., Nizhnyk V.V., Nikulin O.F. Methods of assessing the effectiveness of fire protection systems // Scientific Bulletin: Civil defense and fire safety. K.: No. 2 (14), 2022. P. 134-142.

3. Runner V.V. Life safety: [study. manual] / [V.V. Behun, I.M. Naumenko] – K.: UANNP "Fenix", 2004. – 328 p.

5. V.V. Nizhnik, A.V. Mykhaylova Schodo zarubizhnogo dosvidu z vznaczennya pozhezhny rizik / Scientific Bulletin of UkrNDIPB. – K. : No. 1 (27), 2013, p. 100-105.

6. V.V. Nizhnik, R.V. Klimas, O.O. Sizikov, O.P. Yakimenko, A.V. Netreba, N.M. Dovgosheev Improvement of methodical approaches to the assessment of fire risk / Scientific bulletin: Civil defense and fire safety. – K. : No. 2 (2), 2016, p. 83-88.

7. Nizhnik V.V. Analysis of theoretical and experimental methods to achieve heat transfer between fireboxes and spores for an hour later / International scientific journal "Internauka". – 2019. – Issue. No. 3 (65)/2019. – S. 86 – 92.

8. Nizhnik V.V. Substantiation of safe fire-prevention distance between fermenters for biogas production / S.V. Pozdееv, V.V. Nizhnik, Ya.V. Ballo, A.N. Nuyanzin, R.V. Ukhansky, V.S. Kropyvnytskyi / 390 Naukowy wydawany. B.I.P. Bezpieczeństwo i technika pożarnicza. – Vol. 51 ISSUE 3, 2018. – 60 – 67. (Visibility is indexed by the Index Copernicus bibliometric platform).

9. NFPA 551 Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments. [Electronic resource. Access mode]: <https://catalog.nfpa.org/NFPA-551-Guide-for-the-Evaluation-of-Fire-Risk-Assessments-P1331.aspx>.

10. Report on the topic: "Justification of the impact of fire protection systems during the implementation of a risk-oriented approach in the preventive activities of the units of the State Emergency Service of Ukraine", 2022.

11. Runner V.V. Life safety: [study. manual] / [V.V. Behun, I.M. Naumenko] – K.: UANNP "Fenix", 2004. – 328 p.

13. V.V. Nizhnyk, A.V. Mykhaylova Regarding foreign experience in determining fire risk/ Scientific Bulletin of UkrNDIPB. – K.: No. 1(27), 2013, p. 100-105.

14. V.V. Nizhnyk, R.V. Klymas, O.O. Sizikov, O.P. Yakymenko, A.V. Netroba, N.M. Dovgosheeva Improvement of methodical approaches to fire risk assessment/ Scientific Bulletin: Civil protection and fire safety. – K.: No. 2(2), 2016, p. 83-88.

15. Nizhnyk V.V. Analysis of theoretical and experimental research methods of heat transfer between buildings and structures during a fire / International scientific journal "Internauka". – 2019. – Issue No. 3 (65)/2019. – P. 86 – 92.

16. VV Nyzhnyk Justification of the safe fire protection distance between fermenters for biogas production / S.V. Pozdeev, V.V. Nyzhnyk, Y.V. Ballo, A.N. Nuyanzin, R.V. Uhanskyi, V.S. Kropyvnytskyi / 390 Naukowy wydawany. BIP. Bezpieczenstwo i technika pojarnicza. – Vol. 51 ISSUE 3, 2018. – 60 – 67. (The publication is indexed by the Index Copernicus bibliometric platform).

17. Report on the topic: "Justification of the impact of fire protection systems during the implementation of a risk-oriented approach in the preventive activities of the units of the State Emergency Service of Ukraine", 2022.

UDC 614.84

*Vadim NIZHNYK, Doctor of Technical Sciences, senior researcher
(ORCID ID: 0000-0003-3370-9027),*

Olesia SAVCHENKO (ORCID ID: 0000-0002-4140-3055),

Valeria NEKORA (ORCID ID: 0000-0003-4354-4422),

Institute of Public Administration and Research in Civil Protection

THEORETICAL APPROACHES FOR STUDYING THE REGULARITY OF THE INFLUENCE OF FIRE PROTECTION SYSTEMS ON THE LEVEL OF INDIVIDUAL FIRE RISK

It is shown that fire protection systems have an impact on fire risks. Based on the analysis of literary sources and regulatory documents, it was established that the impact of fire protection systems on the value of individual fire risk is not researched and has no scientific basis to date, but is based only on expert methods. The purpose of the work, its object and the subject of research are formulated, research tasks are defined, the solution of which will make it possible to achieve the set goal, and scientific methods for solving the tasks are given. A formalized approach to assessing individual fire risk is given. It is shown that the coefficient of effective functioning of the fire protection system is one of the parameters that can be used to quantitatively assess the impact of fire protection systems on the value of individual fire risk. The theoretical aspects for establishing the regularity of the effectiveness of the fire protection systems on the consequences of a fire using two approaches based on the methods of the theory of probability, which are based on the use of statistical data on fires and field models using modern computer software complexes (FDS) are disclosed. In particular, new approaches are proposed for establishing the probability (coefficient) of the effectiveness of fire protection systems, the probability (coefficient) of facilities being equipped with fire protection systems, and the probability (coefficient) of fire protection systems being serviceable. A list of events and a description of the most appropriate fire development scenarios are offered, the analysis of which will allow to quantitatively establish the effectiveness of the fire protection system during a fire. A method of theoretical study of the regularity of the effect of the effectiveness of the functioning of fire protection systems on the value of individual fire risk is proposed.

Key words: *fire risk, fire protection systems, impact factors, assessment criteria, fire hazard parameters, consequences, fire risk assessment, fire risk management.*

Наукове видання

**УДК 614.8
Н 17**

Збірник наукових праць Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація» : – Черкаси: ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2023. – Том 7 № 1. – 203 с.

Підписано до друку 27.06.2022.
Обл.-вид. арк. 12.4. Ум. друк. арк. 25,38.
Замовлення № 12.
Черкаський інститут пожежної безпеки
імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України
18034, м. Черкаси, вул. Онопрієнка, 8.