



НАУКОВИЙ ВІСНИК: Цивільний захист та пожежна безпека

№ 1 (11), 2021

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 2518-1777

Редакційна колегія:

головний редактор –
голова редколегії
д-р техн. наук

Поздєєв С.В.

канд. техн. наук
науковий редактор –

Коваленко В.В.

відповідальний секретар
канд. техн. наук

Огурцов С.Ю.

д-р техн. наук
д-р техн. наук
д-р техн. наук
канд. техн. наук
канд. техн. наук
канд. техн. наук
канд. техн. наук
канд. техн. наук
канд. хім. наук
канд. техн. наук
канд. техн. наук
PhDEng.
PhDEng.

Тютюник В.В.
Цапко Ю.В.
Ніжник В.В.
Лавренюк О.І.
Лоїк В.Б.
Кропивницький В.С.
Новак С.В.
Пазен О.Ю.
Паснак І.В.
Сізіков О.О.
Ліхнєвський Р.В.
Іванов Ю.С.
Навроцький О.Д.
Врублевський Д.
Самберг А.

літературний редактор
(англійська мова)

Івашина Н.О.

Випусковий редактор

Борисова А.С.
Литвиновський Є.Ю.

Адреса редакції:

03074, м. Київ, вул. Вишгородська 21

Телефони:

(+380 44) (044) 430-02-85

<https://nvcz.undicz.org.ua>

e-mail: niv1966@ukr.net

Заснований у 2016 році
Виходить 2 рази на рік

Засновник
Інститут державного управління та наукових
досліджень з цивільного захисту (ІДУ НД ЦЗ)

Видавець
Інститут державного управління та наукових
досліджень з цивільного захисту (ІДУ НД ЦЗ)

Журнал зареєстровано Міністерством
юстиції України
Свідоцтво від 20.07.2020
серія KB № 24507-14447 ПР

Журнал включено до категорії «Б» Переліку
наукових фахових видань України в галузі
технічних наук за спеціальностями 21.06.02
«Пожежна безпека» та 21.02.03 «Цивільний
захист».

Наказ Міністерства освіти і науки України
від 02.07.2020 №886

У разі передруковування матеріалів письмовий
дозвіл ІДУ НД ЦЗ є обов'язковим
Рекомендовано до видання рішенням
Вченої ради ІДУ НД ЦЗ
Протокол від 23. 06.2021 № 2

Ідентифікатор випуску DOI:
<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.1>

Підписано до друку 23.06.2021

Формат 60 × 84/8.

Наклад 50 прим.

ЗМІСТ	CONTENT
С. Новак, М. Новак Розроблення автоматизованої процедури валідації методів розрахунку характеристики вогнезахисної здатності покриттів для сталевих конструкцій	S. Novak, M. Novak Development of an automated procedure for validation of methods of calculation of characteristics of fire protective capacity for coatings for steel
Ю. Фещук, В. Ніжник, Я. Балло, А. Циганков Аналіз європейського досвіду нормування вимог до конструкцій фасадної теплоізоляції в будівлях	Yu. Feshchuk, V. Nizhnyk, Ya. Ballo, A. Tsyhankov Analysis of european experience c standardization of requirements fc constructions of facade thermal insulation in buildings
В. Коваленко, О. Добростан, О. Тимошенко, Т. Самченко, О. Ратушний Створення стенда для випробування покрівель на стійкість до зовнішнього вогневого впливу	V.Kovalenko, O.Dobrostan, O.Tymoshenko T. Samchenko, O. Ratushnyi Creation of a stand for testing of roofs on resistance to external fire influence
С. Мосов, В. Хижняк, А. Литовченко, Д. Ядченко Особливості використання безпілотної авіації іноземними країнами для оцінювання збитків від надзвичайних ситуацій	S. Mosov, V. Khyzhnyak, A. Lytovchenko, D. Yadchenko Features of application of unmanned aviation by foreign countries in the interest of damage assessment from emergency situations
С. Новак, В. Дрідж, О. Добростан Оцінювання вогнезахисної здатності вертикальних вогнезахисних екранів для несучих будівельних конструкцій	S. Novak, V. Drizhd, O. Dobrostan Assessment of fire-protective ability of vertice protective members for load-bearing building structures
Р. Веселівський Обґрунтування методу приведення межі вогнестійкості отриманої під час вогневих випробувань до межі вогнестійкості за стандартним температурним режимом пожежі	R. Veselivskyy Justification of the method of matching of fire resistance limit obtained during of the fire test to the fire resistance limit according to the standard temperature mode
С. Новак, В. Дрідж, О. Добростан Вплив параметрів системи вогнезахисту на вогнестійкість сталевих конструкцій	V. Drizhd, O. Dobrostan, S. Novak Influence of fire protection system parameters on fire resistance of steel structures
В. Тютюник, О. Тютюник, М. Удянський, О. Ященко Кластеризація регіонів України за рівнем небезпеки та шляхи підвищення ефективності функціонування єдиної державної системи цивільного захисту в умовах невизначеності вхідної інформації про виникнення надзвичайних ситуацій	V. Tiutiunyk, O. Tiutiunyk, M. Udianskyi, O. Yashchenko Regions of Ukraine clustering level of risk and ways to improve the efficiency of a unified state civil defense system under uncertainty input information about emergencies

УДК 614.841.45

РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПРОЦЕДУРИ ВАЛІДАЦІЇ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ЗДАТНОСТІ ПОКРИТТІВ ДЛЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.1.3-10>

Новак С. В.^{1*}, ORCID iD [0000-0001-7087-318X](https://orcid.org/0000-0001-7087-318X)

Новак М. С.², ORCID iD [0000-0002-5888-5812](https://orcid.org/0000-0002-5888-5812)

*E-mail : novak.s.fire@gmail.com

¹Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 07.05.2021
Пройшла рецензування: 28.05.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

валідація, вогнезахисне покриття, вогнезахисна здатність, модуль, процедура, розрахунковий метод, сталеві конструкції

АНОТАЦІЯ

Зважаючи на значимість достовірності даних щодо вогнезахисної здатності вогнезахисних матеріалів при визначенні проектних параметрів об'єктів вогнезахисту, актуальними є дослідження, спрямовані на розвиток процедур оцінювання методів визначення властивостей систем вогнезахисту. Проведене дослідження ставило за мету удосконалення реалізації існуючої процедури валідації методів розрахунку характеристики вогнезахисної здатності покриттів для сталевих конструкцій, яку засновано на проведенні обчислювального експерименту. Для досягнення цієї мети розроблено блок-схему алгоритму і створено програмний продукт для автоматизованої реалізації зазначеної процедури валідації, що дозволяє звести до мінімуму кількість операцій ручного введення вхідних даних і передачі даних між пакетами програм, які в ньому застосовані. Результати апробації створеного програмного продукту свідчать про його придатність до практичного застосування для валідації методів розрахунку характеристики вогнезахисної здатності покриттів для сталевих конструкцій, наведених в EN 13381-4:2013 і EN 13381-8:2013.

Постановка проблеми. Під час пожежі незахищені сталеві конструкції (балки, колони) швидко прогрівуються і втрачають свою несучу здатність, що призводить до їхнього обвалення або досягнення граничної деформації. Для уникнення цього на їхню поверхню наносять вогнезахисні покриття. Товщина цього покриття має бути такою, щоб температура сталеві конструкції не перевищила критичної величини. Значення цієї необхідної мінімальної товщини покриття визначають за методами, які наведено в стандартах EN 13381-4 [1] і EN 13381-8 [2]. Ці методи мають дві

складові – експериментальну і

розрахункову. В умовах вогневого впливу за стандартним температурним режимом на зразки сталевих конструкцій з вогнезахисним покриттям, встановлені в печі, визначають експериментальні дані щодо їхньої температури у різні проміжки часу. В розрахунковій частині за отриманими температурними даними визначають значення необхідної мінімальної товщини вогнезахисного покриття, для чого використовують два альтернативні розрахункові методи, в яких застосоване нестационарне рівняння теплопровідності. В одному з них

використовують рівняння зі змінним коефіцієнтом теплопровідності вогнезахисного покриття λ_p , в іншому – зі сталим λ_p .

Для визначення ступеня відповідності результатів, одержуваних цими розрахунковими методами, дійсним значенням необхідної мінімальної товщини вогнезахисного покриття, запроваджено процедуру валідації, яку засновано на проведенні обчислювального експерименту [3, 4]. Однак реалізація цієї процедури вимагає застосування значної кількості розрахунків, в тому числі – взаємопов'язаних ітераційних процедур. Запровадження автоматизованої системи реалізації цієї процедури дозволило б оперативно проводити валідацію зазначених розрахункових методів та дало б можливість економії працевтрат. Наразі не існує програмного продукту, що відповідає таким вимогам. Деякі зі складових зазначеної процедури валідації реалізуються окремими сторонніми пакетами, інші складові не підлягали

автоматизації [4]. Таким чином, існуючі засоби розв'язання задачі валідації зазначених розрахункових методів недосконалі. Тому актуальним є розроблення програмного продукту щодо автоматизованої реалізації процедури валідації методів розрахунку характеристики вогнезахисної здатності покриттів, призначених для вогнезахисту сталевих конструкцій.

Методи дослідження. Особливістю валідації методів розрахунку характеристики вогнезахисної здатності покриттів для сталевих конструкцій, наведених в EN 13381-4 [1] і EN 13381-8 [2], є відсутність можливості створення експериментальних зразків сталевих конструкцій з визначеними теплофізичними властивостями вогнезахисного покриття [3]. Тому для оцінки достовірності результатів, отримуваних за цими методами, запропоновано процедуру валідації [3], яку в схематичному вигляді наведено на рис. 1.

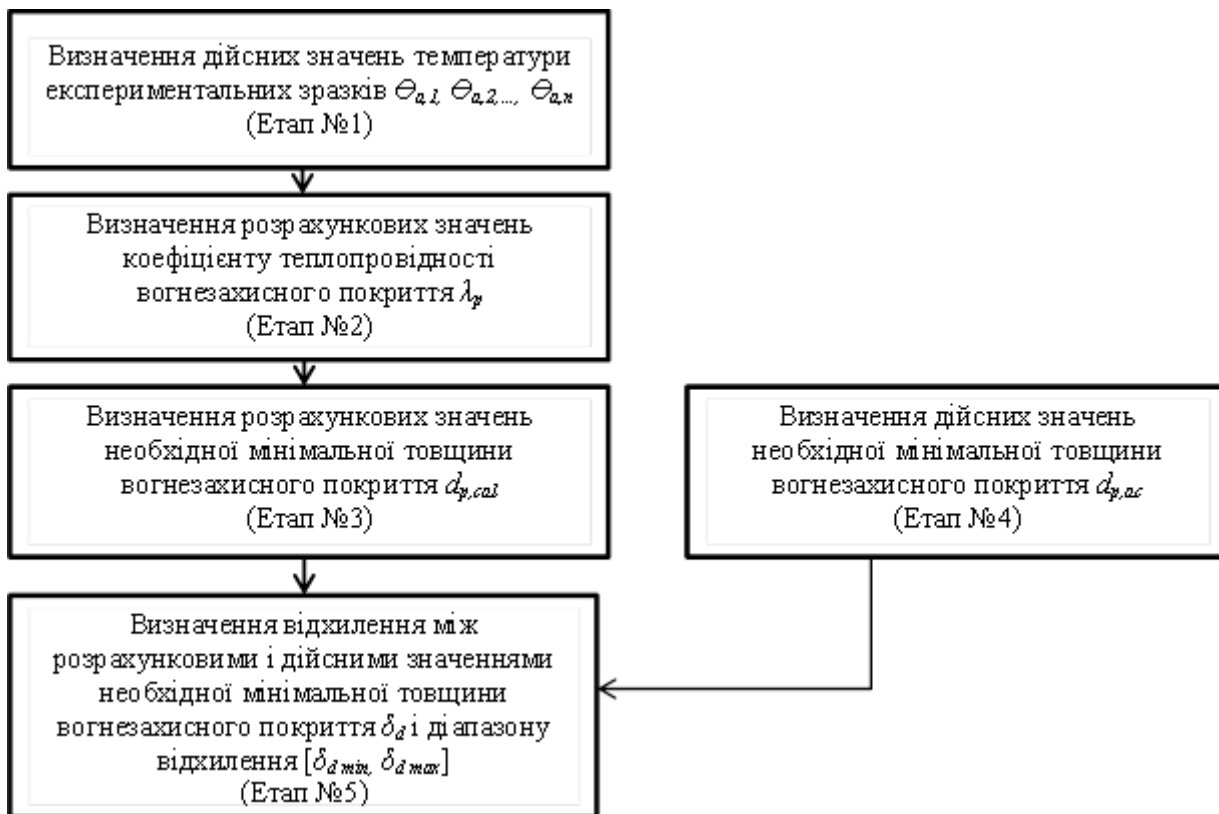


Рисунок 1 – Процедура валідації методів розрахунку характеристики вогнезахисної здатності покриттів для сталевих конструкцій, яку засновано на проведенні обчислювального експерименту

За цієї процедури замість проведення натурного експерименту здійснюють розрахункове визначення температурного стану зразків конструкцій, які мають різні значення коефіцієнта поперечного перерізу A_m/V і товщини вогнезахисного покриття $d_{p,exp}$ в умовах вогневого впливу за стандартним температурним режимом. При цьому задають точні (умовно) дані щодо теплофізичних властивостей (коефіцієнту теплопровідності і питомої теплоємності) вогнезахисного покриття поверхні сталевих конструкцій. Отримані розрахункові дані щодо температурного стану зразків вважають дійсними (точними) значеннями їхньої температури $\theta_{a,1}, \theta_{a,2}, \dots, \theta_{a,n}$. За цими даними із застосуванням процедури, наведеної у розрахунковому методі, який оцінюють, визначають значення необхідної мінімальної товщини вогнезахисного покриття $d_{p,cal}$, які забезпечують нормовані періоди вогнестійкості $t_{fi,requ}$ у широкому діапазоні змінювання критичної температури сталі θ_{cr} і коефіцієнта поперечного перерізу сталевих конструкцій A_m/V . Отримані дані щодо цієї товщини порівнюють із значеннями $d_{p,ac}$ (умовно дійсними, точними), які визначають шляхом розв'язання прямої нестационарної задачі теплопровідності за точних теплофізичних властивостей вогнезахисного покриття. За результатами цього порівняння визначають діапазон відхилення розрахункових значень необхідної мінімальної товщини вогнезахисного покриття від дійсних величин $[\delta_{d,min}, \delta_{d,max}]$ і в подальшому

роблять висновок щодо придатності розрахункового методу, який оцінюють.

Для практичної реалізації зазначеної вище процедури валідації застосовано декілька пакетів прикладних програм, зокрема FRIEND-2 [5] для розв'язання прямої нестационарної задачі теплопровідності і двох програм для визначення коефіцієнту теплопровідності вогнезахисного покриття у разі завдання його змінною і сталою величиною [4]. Слід відмітити те, що процес передавання даних, отриманих на різних етапах цієї процедури валідації, не є автоматизованим. Для виконання низки операцій, наприклад під час визначення різниці між розрахунковими і точними значеннями необхідної мінімальної товщини покриття, потрібне залучення оператора. Зазначені програми для визначення коефіцієнту теплопровідності створено для фіксованої кількості зразків. В той же час ця кількість є змінною і залежить від сфери застосування результатів визначення характеристики вогнезахисної здатності покриттів (типу і профілю конструкції) і номеру набору експериментальних зразків. Для сталевих конструкцій з пасивним покриттям ця кількість може бути від 4 до 24 (табл. 1 [1], короткі балки і короткі колони), а з реактивним покриттям – від 6 до 26 [2]. Тому є підстави вважати, що недостатня автоматизація процедури валідації методів розрахунку характеристики вогнезахисної здатності покриттів для вогнезахисту сталевих конструкцій, обумовлює проведення дослідження у цьому напрямку

Таблиця 1 – Кількість експериментальних зразків сталевих конструкцій з пасивним вогнезахисним покриттям [1]

Сфера застосування	Номер набору зразків	Навантажені балки	Навантажені колони	Балки для порівняння	Колони для порівняння	Короткі балки	Короткі колони
Балки двотаврового профілю	1	✓		2		11	
Колони двотаврового профілю	2		✓		2		11
Балки і колони двотаврового профілю	3	✓		2			13
Балки і колони двотаврового профілю	4	✓		2		11	13
Пустотілі балки	1	✓		2		4	
Пустотілі колони	2		✓		2		4

Мета дослідження. Проведене дослідження ставило за мету удосконалення реалізації процедури валідації методів розрахунку характеристики вогнезахисної здатності покриттів для сталевих конструкцій, яку засновано на проведенні обчислювального експерименту [3].

Для досягнення цієї мети вирішували завдання щодо розроблення блок схеми алгоритму і створення програмного продукту для реалізації зазначеної процедури валідації методів розрахунку характеристики вогнезахисної здатності покриттів. Цей програмний продукт має забезпечити автоматизовану систему реалізації цієї процедури валідації, яка

дозволяє звести до мінімуму кількість операцій ручного введення вхідних даних і передачі даних між пакетами програм, що в ній застосовані. Також необхідно було оцінити придатність розробленого програмного продукту до застосування.

Виклад основного матеріалу. Розроблену блок схему алгоритму автоматизованої реалізації процедури валідації методів розрахунку характеристики вогнезахисної здатності покриттів для сталевих конструкцій, яку засновано на проведенні обчислювального експерименту [3], наведено на рис. 2. Вона складається з трьох модулів, в яких реалізуються п'ять етапів процедури валідації, показані на рис. 1.

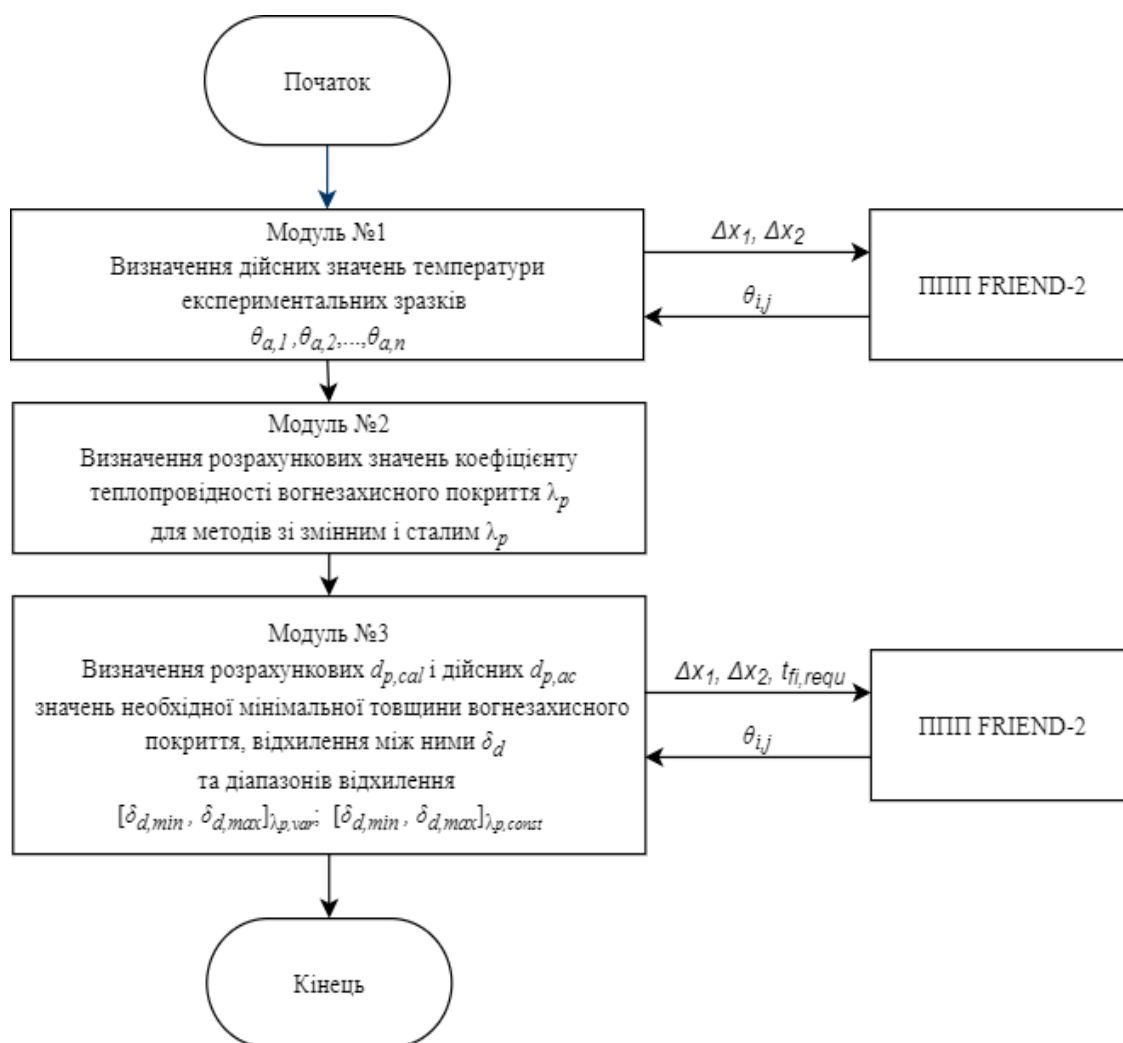


Рисунок 2 – Блок схема алгоритму автоматизованої реалізації процедури валідації методів розрахунку характеристики вогнезахисної здатності покриттів

На першому етапі валідації розрахункового методу шляхом розв'язання нестационарної нелінійної одномірної прямої задачі теплопровідності із використанням пакету прикладних програм (ППП) FRIEND-2 [5] необхідно визначати дійсні значення температури зразків сталевих конструкцій в умовах вогневого впливу за стандартним температурним режимом. Кількість цих зразків залежить від сфери застосування результатів визначення характеристики вогнезахисної здатності покриттів і номеру

У PPP FRIEND-2 впроваджено чисельний метод розв'язання одномірних прямих задач теплопровідності за неявною кінцево-різницевою схемою апроксимації. В директорії FRIEND-2 знаходяться основний файл-вирішувач FREN2.EXE, вхідні і вихідні файли розв'язання прямої задачі теплопровідності DIRECT-P.DAN, BOUND.DAN, SLOI(1).DAN, LOI(2).DAN, DIRECT-P.REZ.

У файлі DIRECT-P.DAN містяться основні вхідні дані, необхідні для розв'язання прямої задачі (тривалість вогневого впливу, крок за часом).

Файл BOUND.DAN містить всю необхідну інформацію про граничні умови теплообміну для розв'язуваної задачі. На лівій границі області розв'язування задаються граничні умови 2 роду (тепловий потік, який дорівнює нулеві), на правій границі – граничні умови конвективно-радіаційного теплообміну (задаються спільно умови променевого теплообміну, температура середовища і коефіцієнт тепловіддачі конвекцією). Для задавання температури середовища використовується сплайн-апроксимація 1-го порядку (кусково-лінійна функція).

Файли SLOI(1).DAN, SLOI(2).DAN – це файли завдання характеристик просторової розбивки і теплофізичних властивостей для шарів 1 (сталеві стінки) і 2 (вогнезахисне покриття). Коефіцієнт теплопровідності і теплоємність задають залежними від температури (для сталі) або сталими (для вогнезахисного покриття).

У файлі DIRECT-P.REZ міститься вихідна інформація розв'язання прямої

набору експериментальних зразків. Тому кількість задач теплопровідності, які потребують розв'язання на цьому етапі, не є сталою величиною. Наприклад, під час валідації методу, призначеного для пустотілих колон з пасивним вогнезахисним покриттям, необхідно розв'язувати чотири задачі теплопровідності, а призначеного для колон двотаврового профілю з пасивним вогнезахисним покриттям, їхня кількість становить одинадцять (табл. 1, короткі балки і короткі колони). задачі з початковими і отриманими даними щодо температури $\theta_{i,j}$ в різні проміжки часу вогневого впливу для різних точок в шарах 1 і 2.

Під час розв'язання кожної задачі теплопровідності необхідно змінювати дані щодо товщини шару сталі (значення просторового кроку Δx_1) і вогнезахисного покриття (значення просторового кроку Δx_2), які наведені у вхідних файлах SLOI(1).DAN, SLOI(2).DAN, і зберігати отримані дані щодо температури на границі між шарами 1 і 2 для кожного зразка $\theta_{a,1}, \theta_{a,2}, \dots, \theta_{a,n}$, які наведені у вихідному файлі DIRECT-P.REZ. Для автоматизації процесу вводу і збереження цих вхідних і вихідних даних в блок схемі алгоритму процедури валідації впроваджено модуль № 1 (рис. 2). Цей модуль дозволяє виконувати розв'язання необхідної кількості прямих задач із застосуванням PPP FRIEND-2 без багаторазового втручання оператора і отримувати вихідні дані щодо температури всіх зразків $\theta_{a,1}, \theta_{a,2}, \dots, \theta_{a,n}$ у формі, необхідній для їхнього подальшого застосування на етапі № 2 валідації (рис. 1).

Отримані дані щодо температури зразків $\theta_{a,1}, \theta_{a,2}, \dots, \theta_{a,n}$ використовують для розрахунку коефіцієнту теплопровідності λ_p вогнезахисного покриття (рис. 2, модуль № 2). Цей модуль призначено для визначення коефіцієнту теплопровідності у разі завдання його змінною або сталою величиною. Алгоритм цього розрахунку детально описано в [4]. Вихідними даними для модулю № 2 для методу зі змінним λ_p є

величини коефіцієнта теплопровідності вогнезахисного покриття для значень температури в діапазоні від 0 °C до 1000 °C з кроком 50 °C. Для методу зі сталою величиною λ_p – це значення коефіцієнтів C_0, C_1, C_2 в такій формулі:

$$\lambda_p = c_0 + c_1 \times A_m / V + c_2 \times d_p, \quad (1)$$

де: λ_p – коефіцієнт теплопровідності вогнезахисного покриття, Вт·м⁻¹·К⁻¹;

A_m/V – коефіцієнт поперечного перерізу сталеві конструкції, м⁻¹;

d_p – товщина вогнезахисного покриття, м;

C_0, C_1, C_2 – коефіцієнти.

Модуль № 3 (рис. 2) призначено для автоматизованої реалізації трьох етапів процедури валідації (рис. 1, етапи № 3, № 4, № 5). Розрахункові значення необхідної мінімальної товщини вогнезахисного покриття $d_{p,cal}$ для різних величин коефіцієнту поперечного перерізу сталеві конструкції, критичної температури сталі і нормованого періоду вогнестійкості визначають за процедурою, наведеною в EN 13381-4:2013 [5] і EN 13381-8:2013 [6] (рис. 1, етап № 3).

Дійсні (точні) значення мінімальної товщини вогнезахисного покриття $d_{p,ac}$ визначають шляхом багаторазового розв'язання прямої задачі теплопровідності із використанням ППП FRIEND-2 [5] (рис. 1, етап № 4). Для визначення значення $d_{p,ac}$ для фіксованих величин коефіцієнту поперечного перерізу сталеві конструкції, критичної температури сталі і нормованого періоду вогнестійкості необхідно застосовувати таку процедуру. Задають початкове наближення товщини $d_{p,ac}$. Розв'язанням задачі теплопровідності розраховують температуру $\theta_{a,cal}$ на границі між шарами 1 і 2 (на сталевій поверхні зразка). Визначають різницю між температурами $\theta_{a,cal}$ і θ_{cr} . Якщо ця різниця більша ніж 0,1 °C, то змінюють початкове наближення товщини $d_{p,ac}$ і розв'язанням задачі теплопровідності розраховують нове значення $\theta_{a,cal}$. В роботі [4] цю процедуру виконували методом підбору, що призводило до багаторазового

розв'язування задачі теплопровідності та втручання оператора. В модулі № 3 здійснено автоматизацію цієї процедури.

Розрахунок величини відхилення δ_d між розрахунковим $d_{p,cal}$ і дійсним $d_{p,ac}$ значеннями необхідної мінімальної товщини вогнезахисного покриття для різних значень коефіцієнту поперечного перерізу сталеві конструкції, критичної температури сталі і нормованого періоду вогнестійкості виконують за форм. 2.

$$\delta_d = 100(d_{p,cal} - d_{p,ac}) / d_{p,ac}. \quad (2)$$

За результатами цих розрахунків, отриманими із застосуванням методів зі змінним і сталим λ_p (рис. 1, етап 2), для кожного з цих методів визначають мінімальне $\delta_{d,min}$ і максимальне $\delta_{d,max}$ відхилення, які мають місце для значень коефіцієнту поперечного перерізу сталеві конструкції, критичної температури сталі і нормованого періоду вогнестійкості, які розглядали, та встановлюють відповідні діапазони відхилення $[\delta_{d,min}, \delta_{d,max}]_{\lambda_p,var}$ і $[\delta_{d,min}, \delta_{d,max}]_{\lambda_p,const}$. При цьому враховують тільки відхилення δ_d , отримані із застосуванням величин розрахункової $d_{p,cal}$ і дійсної $d_{p,ac}$ товщини, які знаходяться в діапазоні товщини вогнезахисного покриття для експериментальних зразків 1, 2, ..., n $[d_{p,exp,min}, d_{p,exp,max}]$, для якого проведено визначення значень температури $\theta_{a,1}, \theta_{a,2}, ..., \theta_{a,n}$ (рис. 2, модуль № 1). В модулі № 3 цю процедуру автоматизовано.

За розробленою блок схемою алгоритму автоматизованої реалізації процедури валідації методів розрахунку характеристики вогнезахисної здатності покриттів створено програмне забезпечення з використанням мови програмування Python 3.7 з інтегрованим середовищем розробки JetBrains PyCharm. Проведено апробацію створеного програмного продукту із застосуванням вихідних даних для валідації стосовно теплофізичних властивостей і товщини вогнезахисного покриття, значень коефіцієнту поперечного перерізу зразків

сталевих конструкцій, які використовували в роботі [4].

За результатами валідації, отриманими із застосуванням створеного програмного продукту, визначено, що діапазон відхилення між розрахунковими і дійсними величинами необхідної мінімальної товщини вогнезахисного покриття для методу зі змінним коефіцієнтом теплопровідності складає від $-2,6\%$ до $2,4\%$, а для методу зі сталим коефіцієнтом теплопровідності – від $-0,3\%$ до $3,4\%$. Отримані значення відхилення відрізняються від результатів, наведених в роботі [4], менше ніж на 3% , що є прийнятним.

Однак неможливо не відмітити, що результати проведеної апробації отримані тільки для одного набору експериментальних зразків сталевих конструкцій і одного значення теплофізичних властивостей вогнезахисного покриття і вони мають певну невизначеність. При використанні інших наборів або інших теплофізичних властивостей не виключена можливість одержання результатів, які будуть відрізнятися від отриманих у даному дослідженні. Така невизначеність накладає певні обмеження на використання отриманих результатів, що може трактуватися, як недоліки даного дослідження. Неможливість зняти названі обмеження в рамках даного дослідження породжує потенційно цікавий напрям подальших досліджень. Вони, зокрема, можуть бути орієнтовані на виявлення залежностей між ступенем відповідності результатів, одержуваних розрахунковими методами, дійсним значенням необхідної

мінімальної товщини вогнезахисного покриття, і теплофізичними властивостями вогнезахисного покриття, а також параметрами експериментальних зразків сталевих конструкцій. Таке виявлення дозволить визначити умови, за яких очікується отримання найбільш достовірних результатів розрахунку вогнезахисної здатності покриттів для сталевих конструкцій.

Висновки та напрями подальших досліджень. Проведеним дослідженням визначено блок схему алгоритму і створено програмний продукт для автоматизованої реалізації процедури валідації методів розрахунку характеристики вогнезахисної здатності покриттів для сталевих конструкцій, заснованої на проведенні обчислювального експерименту, що дозволяє звести до мінімуму кількість операцій ручного введення вхідних даних і передачі даних між пакетами програм, що в ньому застосовані.

Результати апробації створеного програмного продукту свідчать про його придатність до практичного застосування для валідації методів розрахунку характеристики вогнезахисної здатності покриттів для сталевих конструкцій, наведених в EN 13381-4:2013 [1] і EN 13381-8:2013 [2].

Визначено напрями подальших досліджень, які орієнтовані на виявлення залежностей між ступенем відповідності результатів розрахунку дійсним значенням необхідної мінімальної товщини вогнезахисного покриття, теплофізичними властивостями вогнезахисного покриття і параметрами експериментальних зразків сталевих конструкцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. EN 13381-4:2013. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 4: Applied passive protection to steel members. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2013 CEN. 83 p.
2. EN 13381-8:2013. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 8: Applied reactive protection to steel members. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2013 CEN. 80 p.
3. Новак С. В., Новак М. С., Бедратюк О. І. Особливості оцінювання методів визначення характеристик вогнестійкості будівельних конструкцій. *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека*. 2019. № 2 (8). С. 29–40.

4. Новак С. В., Новак М. С. Валідація методів розрахунку мінімальної товщини вогнезахисних матеріалів для сталевих конструкцій. *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека*. 2020. № 2 (10). С. 83–90.
5. Круковский П. Г. Обратные задачи тепломассопереноса (общий инженерный подход): монография. Київ : Институт технічної теплофізики НАН України, 1996. 218 с.

REFERENCES

1. EN 13381-4:2013. *Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 4: Applied passive protection to steel members*. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2013 CEN. 83 p. [in English].
2. EN 13381-8:2013. *Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 8: Applied reactive protection to steel members*. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2013 CEN. 80 p. [in English].
3. Novak, S. V., Novak, M. S., Bedryuk O. I. Osoblyvosti otsiniuvannya metodiv vyznachennia kharakterystyk vohnestiiikosti budivelnnykh konstrukttsii [Features of evaluation of methods for determining the fire resistance characteristics of building structures]. *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*. 2019. # 2 (8). S. 29–40 [in Ukrainian].
4. Novak, S.V., Novak, M.S. *Validatsiia metodiv rozrakhunku minimalnoi tovshchyny vohnnezakhysnykh materialiv dlia stalevykh konstrukttsii* [Validation of methods for calculating the minimum thickness of fire-retardant materials for steel structures]. *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*. 2020. # 2 (10). S. 83–90 [in Ukrainian].
5. Krukovskiy, P. G. *Obratnyye zadachi teplomassoperenosa (obshchiy inzhenernyy podkhod)*: monohrafiia. Kyiv : Instytut tekhnichnoi teplofizyky NAN Ukrainy. 1996. 218 s. [in Russian].

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED PROCEDURE FOR VALIDATION OF METHODS OF CALCULATION OF CHARACTERISTICS OF FIRE PROTECTIVE CAPACITY FOR COATINGS FOR STEEL

S.V. Novak¹, M.S. Novak²

¹*Institute of Public Administration and Research on Civil Defense, Ukraine*

²*National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine*

KEYWORDS

validation, fire-retardant coating, fire-retardant ability, module, procedure, calculation method, steel structure

ANNOTATION

Given the importance of the reliability of data on the fire-retardant ability of fire-retardant materials in determining the design parameters of fire-retardant objects, research aimed at developing procedures for evaluating methods for determining the properties of fire-retardant systems is relevant. The study aimed to improve the implementation of the existing procedure for validation of methods for calculating the characteristics of the fire-retardant ability of coatings for steel structures, which is based on a computational experiment. To achieve this goal, a block diagram of the algorithm was developed and software was created using the Python 3.7 programming language with integrated JetBrains PyCharm development environment for automated implementation of this validation procedure, which minimizes the number of manual input and data transfer operations between software packages, it is applied. The block diagram consists of three modules. Module № 1 is designed to automate the process of input data input and determine the actual temperature values of experimental samples of steel structures. Module № 2 introduces procedures for determining the thermal conductivity of the fire-retardant coating. Module № 3 is designed to determine the deviation between the calculated and actual values of the required minimum thickness of the fire-retardant coating for different values of the cross-sectional coefficient of the steel structure, the critical temperature of steel and the normalized period of fire resistance. The results of approbation of the created software product testify to its suitability for practical application for validation of methods of calculation of the characteristic of fire-retardant ability of coverings for steel designs given in EN 13381-4: 2013 and EN 13381-8: 2013. The directions of further researches which are focused on revealing of dependences between degree of conformity of results of calculation to actual value of necessary minimum thickness of a fire-retardant covering, thermal properties of a fire-retardant covering and parameters of experimental samples of steel designs are defined.

УДК 614.841

АНАЛІЗ ЄВРОПЕЙСЬКОГО ДОСВІДУ НОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО КОНСТРУКЦІЙ ФАСАДНОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ В БУДІВЛЯХ

<https://doi.org/10.33269/nvcs.2021.1.11-21>

Ю. Фещук, ORCID iD [0000-0003-4328-8473](https://orcid.org/0000-0003-4328-8473)

В. Ніжник, ORCID iD [0000-0003-3370-9027](https://orcid.org/0000-0003-3370-9027)

Я. Балло, ORCID iD [0000-0002-9044-1293](https://orcid.org/0000-0002-9044-1293)

А. Циганков* ORCID iD [0000-0003-1971-9640](https://orcid.org/0000-0003-1971-9640)

*E-mail: 0502879336@ukr.net

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 07.05.2021

Пройшла рецензування: 28.05.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА :

фасадна теплоізоляція, будівля, група горючості, товщина теплоізоляції, висота будівлі, нормативні вимоги.

АНОТАЦІЯ

Проведено аналіз вітчизняних нормативних протипожежних вимог щодо улаштування зовнішнього облицювання фасадів будівель. Визначено перелік європейських нормативних документів щодо протипожежних вимог до зовнішнього облицювання фасадів будівель, які необхідні для проведення аналізу. На основі визначеного переліку нормативних документів проведено аналіз вимог пожежної безпеки європейських держав, що висуваються до улаштування конструкцій фасадної теплоізоляції будівель. Розроблено пропозиції щодо улаштування зовнішньої теплоізоляції на фасадах будівель у вітчизняному будівництві.

Постановка проблеми. Щорічне зростання тарифів на опалення будинків потребує вжиття заходів щодо їх утеплення з метою мінімізації втрати тепла та економії коштів на їх утримання. Для цього влаштовується зовнішня фасадна теплоізоляція. Однак її влаштування повинно здійснюватися з дотриманням вимог пожежної безпеки. Ігнорування яких, призводить до швидкого розповсюдження пожежі по фасаді будівлі. Яскравим прикладом цього може бути пожежа, що сталася 17 жовтня 2019 року в одному із будинків підвищеної поверховості міста Києва, в якому полум'я швидко розповсюдилося по фасаді з 10 по 15 поверх п'ятнадцяти поверхового житлового будинку та пожежа 29 серпня 2015 року у висотному двадцяти двох поверховому будинку міста Одеси з швидким розповсюдженням полум'я фасадом верхніх поверхів. На щастя завдяки професійним діям Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ДСНС України жертв вдалося уникнути.

Що на жаль не можливо сказати про пожежу 28 березня 2019 року у двадцяти двох поверховій будівлі в столиці Бангладеша міста Дакка, яка призвела до загибелі 25 людей. Тому при влаштуванні фасадної теплоізоляції будинків окрім декоративних, енергозберігаючих особливостей слід обов'язково дотримуватися вимог протипожежного захисту.

Нормативна база з питань улаштування зовнішньої теплоізоляції будинків більшості європейських держав відрізняється від чинної нормативної бази України в частині зокрема щодо класу реакції на вогонь, матеріалу теплоізоляції, умовної висоти його використання, особливостей улаштування протипожежних поясів.

Враховуючи розбіжність вітчизняних і зарубіжних вимог щодо нормування улаштування зовнішньої теплоізоляції будинків, постає питання щодо вивчення зарубіжного досвіду під час нормування вимог до улаштування зовнішньої

теплоізоляції будинків, порівняння його із вітчизняною практикою та обґрунтування пропозицій щодо імплементації зарубіжного досвіду у нормативну базу України.

Дане дослідження спрямоване не на зниження вимог вітчизняних будівельних норм, а на визначення повного переліку критеріїв, які висуваються зарубіжними будівельними нормами до улаштування зовнішньої фасадної теплоізоляції якщо відбувається одночасне комбінування матеріалами негорючими НГ та групи горючості Г1.

Це створить передумови для удосконалення вітчизняної нормативної бази, що вплине на оптимізацію проектних рішень, матиме економічну та практичну доцільність, що є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями дослідження зовнішньої фасадної теплоізоляції будинків займалися багато вітчизняних науковців. В їх роботах переважно розглянуто проблеми пожежної небезпеки теплоізоляційних фасадних матеріалів, визначення їх пожежонебезпечних властивостей, удосконалення методів випробувань.

В роботі [1] проведений аналіз пожежної небезпеки зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією та показано, що нормативні вимоги до систем з фасадною теплоізоляцією не повністю забезпечують пожежну безпеку споруд в процесі експлуатації. Однак не розглянуто зарубіжного досвіду нормування вимог до зовнішньої фасадної теплоізоляції, а також не запропоновані конкретні пропозиції щодо удосконалення вітчизняної нормативної бази з даного питання. В статтях [2-4] розглянуто розвиток методів нормування рівня теплового захисту зовнішніх огорожувальних конструкцій споруд з метою підвищення термічного опору і підвищення теплотехнічної однорідності таких конструкцій. При цьому розглянуті питання пожежної безпеки тільки пінополістеролу як теплоізоляційного матеріалу. В роботі [5] проаналізовано проблеми, пов'язані із

пожежною небезпекою теплоізоляційно-оздоблювальних систем фасадів будинків, яка залежить від конструктивного рішення системи теплоізоляції та виду теплоізоляційного матеріалу. Проте відсутній аналіз європейських вимог щодо забезпечення пожежної безпеки при улаштуванні зовнішньої фасадної теплоізоляції.

В [6] розглянуті основні проблеми при реалізації у будівництві систем навісних вентильованих фасадів, а саме: пожежна безпека та використання горючих оздоблювальних матеріалів.

В роботі [7] представлено аналіз стосовно безпечної експлуатації фасадної теплоізоляції при використанні потенційно пожежонебезпечних матеріалів.

Аналіз літературних джерел показав, що незважаючи на дослідження окремих аспектів комплексно не вирішені проблеми нормування з питань пожежної безпеки конструкцій зовнішньої фасадної теплоізоляції. Тому вивчення досвіду нормування вимог пожежної безпеки порушеного в статті питання є вузькопрофільним та актуальним.

Метою даної роботи є визначення шляхів удосконалення нормування вимог конструкцій фасадної теплоізоляції в залежності від висоти будівель, групи горючості теплоізоляційних та опоряджувальних матеріалів, товщини теплоізоляції та їх гармонізації з нормативною базою держав Європейського Союзу.

Для досягнення поставленої мети сформовані наступні задачі:

- провести аналіз вітчизняних нормативних протипожежних вимог до зовнішнього облицювання фасадів будівель;

- визначити перелік європейських нормативних документів щодо протипожежних вимог до зовнішнього облицювання фасадів будівель, які необхідні для проведення аналізу;

- на основі визначеного переліку нормативних документів провести аналіз вимог пожежної безпеки, що висуваються

до улаштування конструкцій фасадної теплоізоляції будівель;

- розробити пропозиції щодо улаштування зовнішньої теплоізоляції на фасадах будівель у вітчизняному будівництві.

Об'єкт дослідження – процеси удосконалення і гармонізації національної нормативної бази у галузі будівництва з європейською нормативною базою в частині нормування вимог до улаштування фасадної теплоізоляції будинків.

Предмет дослідження – вимоги нормативних актів у галузі будівництва до класу реакції на вогонь матеріалу зовнішньої фасадної теплоізоляції, його товщини в залежності від висоти будівлі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Всі будинки повинні бути спроектовані таким чином, щоб відповідати основній вимозі «Пожежна безпека» у відповідності до «Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд» [8], в частині щодо не поширення пожежі як в будівлі так і на суміжні об'єкти.

Базовими вітчизняними документами, що встановлюють нормативні вимоги до зовнішнього облицювання фасадів будинків є: ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [9] та ДБН В.2.6-33:2018 «Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування» [10].

Основні вимоги, що встановлені до облицювання зовнішніх стін будинку регламентовані пунктом 5.6 [9], в якому визначено, що у будинках I ступеня вогнестійкості забороняється виконувати зовнішню поверхню облицювання зовнішніх стін будинку з використанням горючих матеріалів. У будинках II, III ступенів вогнестійкості допускається виконувати зовнішню поверхню облицювання зовнішніх стін будинку з використанням матеріалів групи горючості Г1, крім випадків обумовлених у нормативних актах та документах системи стандартизації та нормування в будівництві (НД). У будинках з умовною

висотою не більше ніж 26,5 м, у внутрішніх шарах системи зовнішнього облицювання стін будинку допускається використовувати матеріали груп горючості Г1, Г2.

Разом з тим, [10] встановлює вимоги до проектування конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією житлових, громадських, промислових будівель і споруд при новому будівництві, реконструкції та капітальному ремонті з урахуванням вимог Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд [8].

Можливість застосування конструкцій фасадної теплоізоляції в залежності від висоти будівель та групи горючості теплоізоляційних та опоряджувальних матеріалів наведені в табл. 1 [10].

Таким чином, вітчизняна нормативна база встановлює досить жорсткі вимоги до матеріалів, що застосовуються для зовнішньої фасадної теплоізоляції будинків. Для будинків I ступеня вогнестійкості дозволяється виконувати зовнішню поверхню облицювання зовнішніх стін будинку з використанням матеріалів групи (НГ) незалежно від їх умовної висоти.

Дозволяється застосування зовнішньої теплової ізоляції матеріалів з групою горючості теплоізоляційного матеріалу Г1 та Г2 для будинків з умовною висотою до 26,5 м, окрім будинків I ступеня вогнестійкості за умови влаштування протипожежних поясів через три поверхи.

Разом з тим, вітчизняна нормативна база не передбачає можливості комбінування фасаду будинку з одночасним застосуванням теплоізоляції з матеріалів груп горючості (Г1), (Г2) та (НГ). Це не в повній мірі відповідає сучасним європейським підходам до влаштування зовнішньої теплоізоляції будинків. Тому дослідження з даного питання на часі.

Враховуючи вище зазначене, визначено перелік європейських нормативних документів в яких викладені протипожежні вимоги до улаштування зовнішнього облицювання фасадів будинків, що необхідний для проведення аналізу. Вибір нормативної бази держав

здійснювався по принципу мінімального розповсюдження пожеж, що мали місце на фасадах будинків, мінімальних збитків від таких пожеж та людських жертв за останні 5 років. Такий підхід дозволив вибрати держави з найбільш досконалою нормативною базою, що мають ефективні інженерні підходи до улаштування зовнішньої фасадної теплоізоляції, у тому числі при комбінуванні фасаду будівлі горючими та негорючими матеріалами. Це в свою чергу може бути корисним при розробці вітчизняних вимог. Перелік основних документів, в яких викладені протипожежні вимоги до улаштування зовнішнього облицювання фасадів будинків, що аналізувалися в європейських державах приведений у табл. 2.

Аналіз нормативних документів проводився відповідно до критеріїв, визначених в меті даної роботи.

Вивчення європейського досвіду нормування зовнішньої фасадної теплоізоляції показало, що за кордоном дещо інші підходи до утеплення фасадів будинків. На відміну від вітчизняної нормативної бази суттєвим є те, що в більшості держав дозволяється комбінування фасадної теплоізоляції з класом реакції на вогонь НГ з Г1 за умови влаштування протипожежних поясів відповідних розмірів. При цьому чітко встановлюється висота на якій допускається встановлювати матеріал конкретного класу реакції на вогонь. Однак єдиної нормованої умовної висоти для всіх держав на якій йде розмежування матеріалу з групою горючості НГ або Г1 немає (по вітчизняній класифікації). Нормативна база кожної держави регламентує свої вимоги в залежності від своїх особливостей.

За результати проведеного аналізу складено табл. 3.

З табл. 3 видно, що в більшості європейських держав в якості фасадної теплоізоляції дозволяється застосування матеріалів низької групи горючості (Г1 за вітчизняною класифікацією) до умовної

висоти будинку, що не перевищує 26,5 м за умови влаштування протипожежних поясів встановлених геометричних розмірів. Найбільш жорсткі вимоги серед європейських держав висунуто в Німеччині де, починаючи з умовної висоти 7 м обов'язкове влаштування матеріалів з класом реакції на вогонь А, до 7 м дозволяється застосовувати клас В, за умови облаштування протипожежних поясів. В Словаччині, Чехії та Хорватії умовною лінією для розподілу будинку є умовна висота 22,5 м. Як правило до 22,5 м дозволяється використовувати в якості теплоізоляції фасадний матеріал класу В, а понад 22,5 м – класу А.

Додатково зроблено порівняння вимог пожежної безпеки ETICS. Результати занесено до зведеної табл. 4.

Приклад зображення улаштування фасадної теплоізоляції показано на рис. 1.

На основі аналізу зарубіжного досвіду нормування зовнішньої теплоізоляції будинків розроблено наступні пропозиції, які було б доцільно врахувати при внесенні змін у вітчизняну нормативну базу в галузі будівництва.

У будівлях з умовною висотою до 47 м допускається використання матеріалів груп горючості Г1, Г2 при влаштуванні системи зовнішнього облицювання стін будівлі такими матеріалами до відмітки 26,5 м.

У будівлях з умовною висотою до 47 м у внутрішніх шарах системи зовнішнього облицювання стін будівлі допускається використовувати матеріали груп горючості Г1, Г2 до відмітки 26,5 м. При цьому необхідно дотримуватися таких умов:

- через кожні 3 поверхи необхідно улаштовувати протипожежний пояс з негорючих матеріалів завширшки не менше ніж дві товщини використаної ізоляції;

- по периметру всіх світлових прорізів улаштовується протипожежний пояс з негорючих матеріалів завширшки не менше ніж дві товщини використаної ізоляції;

Таблиця 1 – Застосування конструкцій із фасадною теплоізоляцією в залежності від їхнього конструктивного типу, висоти будівель та горючості матеріалів теплоізоляційного та опоряджувального шарів [9]

Конструктивна схема збірної системи згідно з додатками А-В	Умовна висота будівель та споруд Н, м	Група горючості теплоізоляційного матеріалу			Група горючості опоряджувального матеріалу		
		НГ	Г1	Г2	НГ	Г1	Г2
А	Н≤9	+	+	+	+	+ ¹⁾	+ ¹⁾
	9<Н≤26,5	+	+	+	+	+ ¹⁾	—
	26,5<Н≤47	+	—	—	+	—	—
	Н>47	+	—	—	+	—	—
Б	Н≤9	+	+	+	+	+ ¹⁾	—
	9<Н≤26,5	+	—	—	+	+ ¹⁾	—
	26,5<Н≤47	+	—	—	+	—	—
	Н>47	+	—	—	+	—	—
В	Н≤9	+	+	+	+	+ ¹⁾	+ ¹⁾
	9<Н≤26,5	+	+	—	+	+ ¹⁾	—
	26,5<Н≤47	+	—	—	+	—	—
	Н>47	+	—	—	+	—	—

Примітка. «+» означає можливість застосування.

1) Встановлюється з урахуванням вимог 5.3.

Джерело : ДБН В.2.6-33:2018 «Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування».

Таблиця 2 – Перелік документів, що аналізувалися

№	Назва нормативного документу	Держава
1.	Zásady navrhovania ETICS z hľadiska protipožiarnej ochrany pri obnove budov nadväzujú na STN 73 2901: 2015 a STN 73 0802/Z2: 2015, ktoré schválilo listom PHZ-OPP-2015/001712-002 zo dňa 18.9.2015 Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky, Prezídium Hasičského a záchranného zboru, Drieňová 22, 826 86 Bratislava 29. [10]	Словаччина
2.	OIB- Richtlinien 2 (OIB-330.2-012/19). Brandschutz. Ausgabe: April 2019. – Austria. – 29 p. [11]	Австрія
3.	Dėl Gaisrinės Saugos Pagrindinių Reikalavimų Patvirtinimo. 2010 m. gruodžio 7 d. Nr. 1-338. – Vilnius. – 56 p. [12]	Литва
4.	Zasady reseni zatepleni novostaveb a dodatecneho zatepleni stavajících domu pro bydlení (kromě dřevostaveb) dle požadavku CSN 73 0810 včetně změny Z1. Vybrané detaily ETICS dle požadavku CSN 73 0810 včetně změny Z1. Praha, únor 2013. – 16 p.	Чехія
5.	Brandschutzmaßnahmen bei WDVS mit EPS-Dämmstoffen Alle Abbildungen und die wesentlichen Inhalte dieser Broschüre sind der Technischen Systeminformation „Kompendium WDVS und Brandschutz“ des Fachverbands Wärmedämm- Verbundsysteme e.V., Baden-Baden, entnommen (Stand: Januar 2017) . Berlin. – 36 p. [13]	Німеччина
6.	Regulile de siguranță împotriva incendiilor pentru clădiri sunt orientative P 118-99, din 04/07/1999 Textul a fost publicat în MF. România. În vigoare la 7 aprilie 1999. – 154 p. [14]	Румунія
7.	Obwieszczenie ministra Inwestycji I Rozwoju w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. z dnia 8 kwietnia 2019 r. Warszawa. – 112 p. [15]	Польща
8.	Resolution on fire resistance and other requirements for buildings in case of fire "(Official Gazette 29/2013, 87/2015). Technical report to this resolution. In accordance with the requirements of this Regulation, the design of facades should comply with the requirements of HRN EN 13501-1: 2010, which is harmonized with the requirements of European Union standards. [16]	Хорватія

Розроблено авторами

№	Держава	Висота, м	Товщина теплоізоляції, мм	Клас реакцій на вогонь
1.	Словаччина	≤ 22,5	< 100	B-s1, d0
			≥ 100	B-s1, d0 з п/п поясом
		> 22,5	< 100	B-s1 при h ≤ 22,5 A2-s1, d0 при h > 22,5
			≥ 100	B-s1, d0 з п/п п поясом при h ≤ 22,5 A2-s1, d0 при h > 22,5
2.	Австрія	≤ 6 пов (18)	< 100	A2-d1 (зовн. шар) B-d1 (внутр. шар)
		> 6 пов (18)	≥ 100	A2-d1 (зовн. шар) B-d1 (внутр. шар) + п/п пояс
3.	Литва	< 26,5		> B-s3, d0
		≥ 26,5		≥ A2-s2, d0
4.	Чехія	< 12		B (зовн. шар), E (внутр. шар) + п/п пояс A – без п/п поясу
		12 < h < 30		A > 15 м B < 15 м
		≤ 22,5		B з п/п поясом
		> 22,5		A1/A2
5.	Німеччина	< 7		B з п/п поясом
		7 ≤ h < 22,5		A
6.	Румунія	< 30		B2 з п/п поясом
		≥ 30		A1
7.	Польща	> 25		A1, A2-c1, A2-s2, d0
		< 25		A2-d1
8.	Хорватія	< 22		A2-d1 (2), A2-d1 (3)
		> 22		A1, A2-c1, d0; A2-s2

Таблиця 4 – Зведена таблиця вимог пожежної безпеки ETICS

* рівень верхнього поверху (відповідно до будівельних норм) + 3 м

- Джерело : Узагальнено авторами.

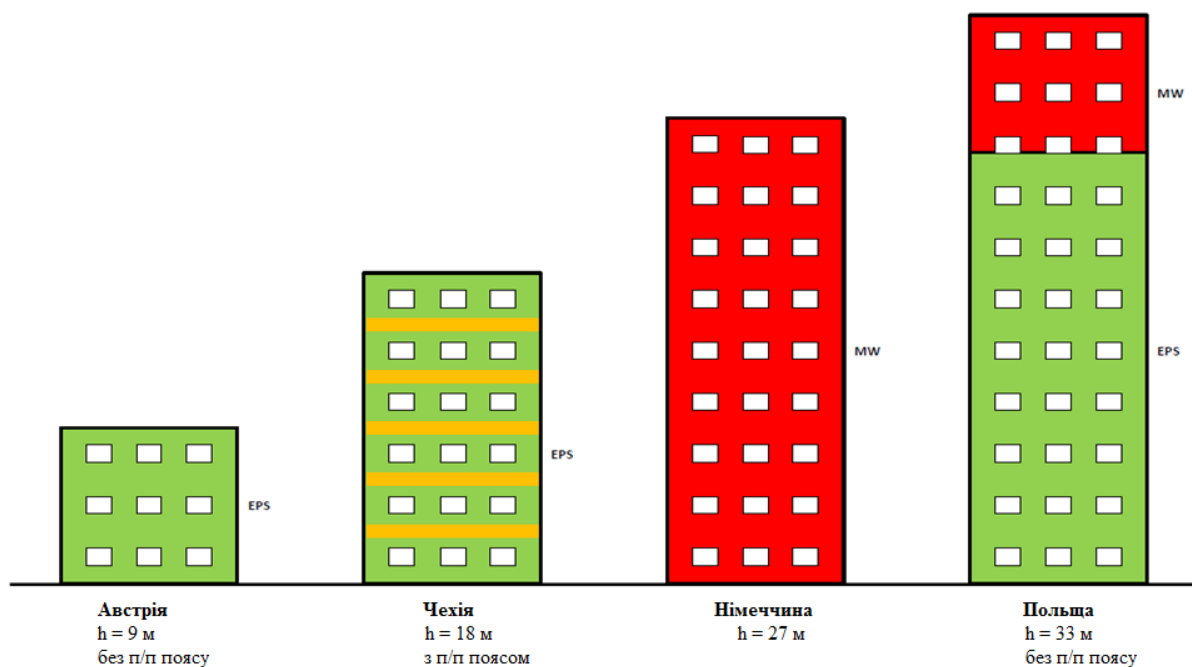


Рисунок 1 – Вимоги пожежної безпеки ETICS – приклади

Розроблено авторами.

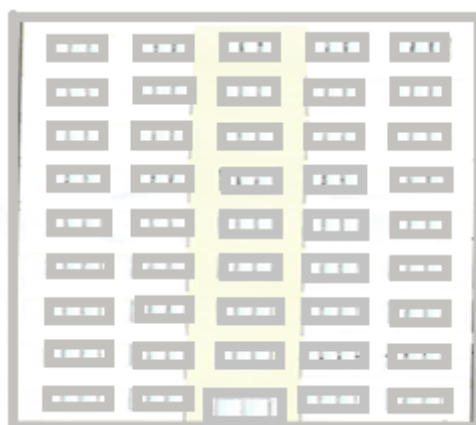


Рисунок 2 – Облицювання сходової клітки негорючими матеріалами

Джерело : розроблено авторами.

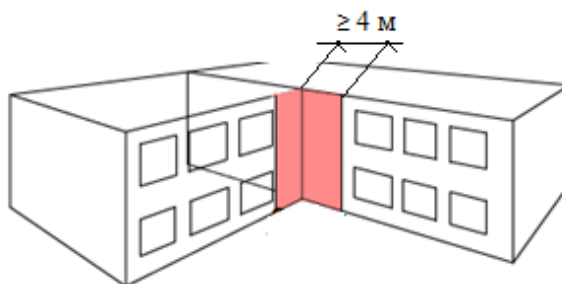


Рисунок 3 – Улаштування протипожежних поясів у кутах будівель

Джерело : розроблено авторами.

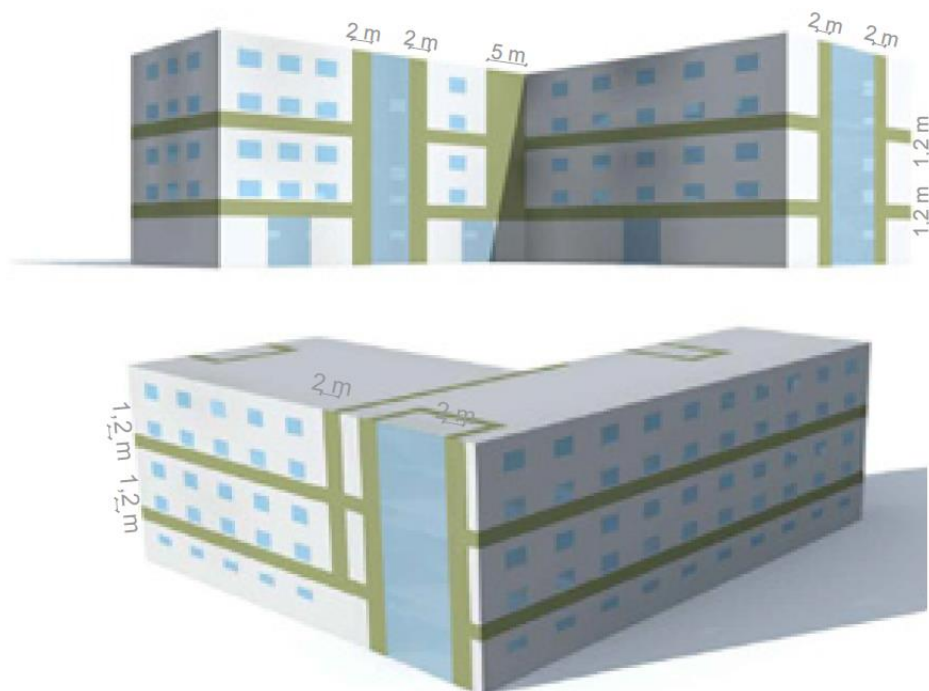


Рисунок 4 – Приклад улаштування протипожежних поясів на фасаді навколо опорядження з світлопрозорих елементів

Джерело : [16].

- облицювання зовнішніх стін сходових кліток повинно виконуватися лише з негорючих матеріалів (рис. 2);

- протипожежні пояси встановлюються на межі частин будинків різного функціонального призначення;

- у разі прилягання однієї частини зовнішньої стіни будівлі до іншої під кутом менше ніж 120° включно необхідно, улаштовувати протипожежні пояси, що виконані з негорючих матеріалів на відстані не менше ніж 4 м по горизонталі від вершини внутрішнього кута зовнішньої стіни до: дверного прорізу входу на відкритий назовні перехід, а також до дверного прорізу виходу з цього переходу, віконного прорізу (приклад показано на рис. 3);

- частина стіни до якої прилягають зовнішні сходи або пожежні сходи оснащується протипожежним поясом виконаним з негорючих матеріалів, що повинен виступати за межі розмірів таких сходів на відстань 1,5 м з обох боків;

- у разі якщо фасад будинку комбінується опорядженням з прозорих елементів, то по периметру такого опорядження улаштовуються

протипожежні пояси шириною не меншою ніж 2 м (рис. 4);

- зовнішнє облицювання арок будівель по периметру, а також їх внутрішня частина повинні оснащуватись протипожежним поясом шириною не менше 1,5 м.

Висновки та напрями подальших досліджень. На підставі аналізу вітчизняної нормативної бази встановлено, що для будинків I ступеня вогнестійкості дозволяється виконувати зовнішню поверхню облицювання зовнішніх стін будинку з використанням матеріалів групи НГ не залежно від їх умовної висоти.

Дозволяється застосування зовнішньої теплової ізоляції матеріалів з групою горючості теплоізоляційного матеріалу Г1 та Г2 для будинків з умовною висотою до 26,5 м, окрім будинків I ступеня вогнестійкості за умови влаштування протипожежних поясів через три поверхи.

Разом з тим, вітчизняна нормативна база не передбачає можливості комбінування фасаду будинку з одночасним застосуванням теплоізоляції з матеріалів груп горючості Г1, Г2 та НГ.

Це не в повній мірі відповідає сучасним європейським підходам до влаштування зовнішньої теплоізоляції будинків.

На підставі аналізу норм зарубіжних країн, а саме Словаччини, Австрії, Литви, Чехії, Німеччини, Румунії, Польщі, Хорватії узагальнено нормативні вимоги, що базуються на критеріях умовної висоти будинку, класу реакції на вогонь, необхідності улаштування протипожежних поясів, товщини шару фасадної теплоізоляції, які висуваються до улаштування зовнішньої фасадної теплоізоляції будинку.

Встановлено практику європейської нормативної бази щодо можливості комбінування фасаду будинку з одночасним застосуванням матеріалів з групою горючості Г1 та негорючих матеріалів (НГ) в залежності від нормованої висоти при умові улаштування протипожежних поясів встановлених геометричних розмірів.

На основі вивчення досвіду європейських держав щодо нормування вимог до улаштування теплоізоляції на фасадах будинків, у вітчизняній нормативній базі за доцільне передбачити можливість комбінування теплоізоляції на фасадах будинків з умовною висотою до 47 м, виходячи з таких принципів:

- дозволяється влаштування фасадної теплоізоляції групи горючості Г1 до умовної висоти 26,5 за умови влаштування протипожежних поясів, при запропонованих у статті умовах, які виконуються з негорючого матеріалу (НГ).

- починаючи з умовної висоти 26,5 м і більше дозволяється у якості фасадної теплоізоляції використання лише негорючих матеріалів (НГ).

Розроблені висновки можуть бути враховані під час опрацювання змін до відповідних державних будівельних норм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Новак С. В., Нефедченко Л. Н., Коваленко В. В. Нормативное обеспечение определения пожарной опасности внешних стен с фасадной теплоизоляцией. *Науковий вісник УкрНДІПБ*. 2013. № 2 (28). С. 39–45.
2. Яковчук Р. С., Кузик А. Д., Смельяненко О. С., Скоробагатко Т. М. Механізм поширення пожежі поверхню конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з горючим утеплювачем та опорядженням штукатуркою. *Пожежна безпека: Зб. наук. праць*. 2019. №34. С. 96 – 102.
3. Яковчук Р. С., Кузик А. Д., Міллер О. В., Лин А. С. Теплоізоляційно-оздоблювальні системи фасадів будинків як фактор підвищеної пожежної небезпеки. *Пожежна безпека: збірник наукових праць*. 2018. № 32. С. 80 – 89.
4. Кузиляк В. Й., Яковчук Р. С., Веселівський Р. Б. Пожежна небезпека використання пінопоістиролу як теплоізоляційного матеріалу у будівництві. *Пожежна безпека: Зб. наук. праць*. 2016. (№27). С. 81–87.
5. Kozioł, S., Zbrowski, A. The method for increasing the safety of the buildings by application of heat recuperation in the fighting ventilation systems. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*. 2012 T. 27, 39–45.
6. Jensen, G. Fire spread modes and performance of fire stops in vented façade constructions – overview and standardization of test methods, MATEC Web of Conferences, 9, 02002, 1st International Seminar for Fire Safety of Facades. Paris, France, November 14–15, 2013.
7. Дагіль В. Г., Хаткова Л. В. Пожежна безпека термомодернізації будівель за допомогою фасадних систем. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2014. № 4. С. 118–120.
8. Про затвердження Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд : Постанова Кабінету Міністрів України від 20 грудня 2006 року №1764 // База даних «Законодавство України» / ВР України. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1764-2006-%D0%BF#Text> (дата звернення 15.06.2021)
9. ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги». [Чинний з 01.06.2017]. Київ, 2017. 41 с.
10. ДБН В.2.6-33:2018 «Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування». [Чинний від 2018-12-01]. Київ, 2018. 21 с.
11. Zásady navrhovania ETICS z hľadiska protipožiarnej ochrany pri obnove budov nadväzujú na STN 73 2901: 2015 a STN 73 0802/Z2: 2015, ktoré schválilo listom PHZ-OPP-2015/001712-002 zo dňa 18.9.2015 Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky, Prezídium Hasičského a záchranného zboru, Drieňová 22, 826 86 Bratislava 29.
12. OIB-Richtlinien (OIB-330-001/19). Österreichisches Institut für Bautechnik. Begriffsbestimmungen. Ausgabe: April 2019. Austria. 13 p.
13. Dėl Gaisrinės Saugos Pagrindinių Reikalavimų Patvirtinimo. 2010 m. gruodžio 7 d. Nr. 1-338. Vilnius. 56 p.

14. Brandschutzmaßnahmen bei WDVS mit EPS-Dämmstoffen Alle Abbildungen und die wesentlichen Inhalte dieser Broschüre sind der Technischen Systeminformation „Kompendium WDVS und Brandschutz“ des Fachverbands Wärmedämm-Verbundsysteme e.V., Baden-Baden, entnommen (Stand: Januar 2017) . Berlin. 36 p.
15. Regulile de siguranță împotriva incendiilor pentru clădiri sunt orientative P 118-99, din 04/07/1999 Textul a fost publicat în MF. România. În vigoare la 7 aprilie 1999. 154 p.
16. Obwieszczenieministra Inwestycji I Rozwoju1) w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. z dnia 8 kwietnia 2019 r. Warszawa. 112 p.
17. Resolution on fire resistance and other requirements for buildings in case of fire "(Official Gazette 29/2013, 87/2015). Technical report to this resolution. In accordance with the requirements of this Regulation, the design of facades should comply with the requirements of HRN EN 13501-1: 2010, which is harmonized with the requirements of European Union standards.

REFERENCES

1. Novak S. V., Nefedchenko L. N., Kovalenko V. V. Normativnoe obespechenie opredelenia pojarnoy opasnosti vneshnih sten s fasadnoy teploizolatsiey [Regulatory support for determining the fire hazard of external walls with facade thermal insulation]. Naukoviy visnsk UkrNDIPB. 2013. № 2 (28). St. 39–45 [in Ukrainian].
2. Yakovchuk R. S., Kuzik A. D., Emelianenko O. S., Skorobagat'ko T. M. Mexanizm poshirennia pojeji poverjneu konstrukciy zovnishnij stin iz fasadnoy teploizolatsiey z goriuchim uteplivachem ta oporiadjenniam shtkaturka [The mechanism of fire propagation by the surface of external wall structures with facade insulation with combustible insulation and plastering]. Pozezna bezpeka: zb. nauk. prac.2019. №34. St. 96–102. [in Ukrainian].
3. Yakovchuk R. S., Kuzik A. D., Miller O. V., Lin A. S. Teploizolaciyno-ozdobliuvani sistemi fasadiv budinkiv yak factor pidvischnoi pojejnoyi nebezpeki [Heat-insulating and finishing systems of facades of houses as the factor of the increased fire danger]. Pozezna bezpeka : zbirnik naukovih prac. 2018. № 32. St. 80–89 [in Ukrainian].
4. Kuziliak V. Y., Yakovchuk R. S., Veselivskiy R. B. Pozezna nebezpeka vicoristannia pinopolisterolu yak teploizolatsiynogo materialu u budivnitstvi [Fire hazard of using expanded polystyrene as a heat-insulating material in construction]. Pozezna bezpeka: zb. nauk. prac. 2016. (№27). St. 81–87 [in Ukrainian].
5. Koziół, S., Zbrowski, A. (2012). The method for increasing the safety of the buildings by application of heat recuperation in the fighting ventilation systems. *Bezpieczeństwo i Technika Pozarnicza*. T. 27, 39–45. [in Poland]
6. Jensen, G. (2013) Fire spread modes and performance of fire stops in vented façade constructions – overview and standardization of test methods, MATEC Web of Conferences, 9, 02002, 1st International Seminar for Fire Safety of Facades. Paris, France, November 14–15 [in English].
7. Dagil V. G., Jatkova L. V. (2014) Pozezna bezpeka termomodernizatsii budivel za dopomogoyu fasadnih system [Fire safety of thermal modernization of buildings with the help of facade systems.]. Zbirnik naukovih prac Kharkivskogo natsionalnogo universitetu Povitrianih Sil. № 4. St. 118–120 [in Ukrainian].
8. Pro zatverdzhennia Tekhnichnogo rehlamentu budivelnih vyrobiv, budivel i sporud : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 20 hrudnia 2006 roku №1764 // Baza danykh «Zakonodavstvo Ukrainy» / VR Ukrainy. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1764-2006-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].
9. DBN V.1.1-7:2016 «Pozezna bezpeka obektiv budivnitstva. Zagalni vimogi» (2017) [Fire safety of construction general requirements]. Kyiv. 41 s. [in Ukrainian] [in Ukrainian].
10. DBN V.2.6-33:2018 «Konstruktsii zovnishnih stin iz fasadnoy teploizolatsiey. Vimogi do proectuvannia» (2018) [Constructions of outward walls with façade Heat-insulation [2018-12-01]. Kyiv. 21 c. [in Ukrainian].
11. Zásady navrhovania ETICS z hľadiska protipožiarnej ochrany pri obnove budov nadväzujú na STN 73 2901: 2015 a STN 73 0802/Z2: 2015, ktoré schválilo listom PHZ-OPP-2015/001712-002 zo dňa 18.9.2015 Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky, Prezidium Hasičského a záchranného zboru, Drieňová 22, 826 86 Bratislava 29 [in Slovenian].
12. OIB-Richtlinien (OIB-330-001/19). Österreichisches Institut für Bautechnik. Begriffsbestimmungen. Ausgabe: April 2019. Austria. 13 p. [in German].
13. Dėl Gaisrinės Saugos Pagrindinių Reikalavimų Patvirtinimo. 2010 m. gruodžio 7 d. Nr. 1-338. Vilnius. 56 p. [in Lithuanian].
14. Brandschutzmaßnahmen bei WDVS mit EPS-Dämmstoffen Alle Abbildungen und die wesentlichen Inhalte dieser Broschüre sind der Technischen Systeminformation „Kompendium WDVS und Brandschutz“ des Fachverbands Wärmedämm- Verbundsysteme e.V., Baden-Baden, entnommen (Stand: Januar 2017) . Berlin. 36 p. [in German]
15. Regulile de siguranță împotriva incendiilor pentru clădiri sunt orientative P 118-99, din 04/07/1999 Textul a fost publicat în MF. România. În vigoare la 7 aprilie 1999. 154 p.[in Romanian].
16. Obwieszczenieministra Inwestycji I Rozwoju1) w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. z dnia 8 kwietnia 2019 r. Warszawa. 112 p.[in Poland].
17. Resolution on fire resistance and other requirements for buildings in case of fire "(Official Gazette 29/2013, 87/2015). Technical report to this resolution. In accordance with the requirements of this Regulation, the design of

facades should comply with the requirements of HRN EN 13501-1: 2010, which is harmonized with the requirements of European Union standards. [in English].

ANALYSIS OF EUROPEAN EXPERIENCE OF STANDARDIZATION OF REQUIREMENTS FOR CONSTRUCTIONS OF FACADE THERMAL INSULATION IN BUILDINGS

Yu. Feshchuk, V. Nizhnyk, Ya. Ballo, A. Tsyhankov

Institute of Public Administration and Research on Civil Defense, Ukraine

KEYWORDS	ANNOTATION
facade thermal insulation, building, flammability group, thermal insulation thickness, building height, regulatory requirements	Given the discrepancy between domestic and foreign requirements for the rationing of the external insulation of buildings, the question is appeared about studying foreign experience in standardizing the requirements for the device of external thermal insulation of buildings, comparing it with domestic practice and justifying proposals for the implementation of foreign experience in the regulatory framework of Ukraine. The purpose of this study is to identify ways to improve the rationing requirements for facade insulation structures depending on the height of buildings, the group of flammability of insulation and finishing materials, insulation thickness and their harmonization with the regulatory framework of the European Union. The analysis of the domestic regulatory framework for standardization of fire safety requirements for facade insulation was conducted and found that it is not possible to combine the facade of the house with the simultaneous use of insulation from materials of combustibility groups (G1), (G2) and (NG). This is not fully consistent with modern European approaches to the installation of external insulation of buildings, which created the preconditions for exploratory research. For the first time, on the basis of the analysis of norms of foreign countries, namely Slovakia, Austria, Lithuania, the Czech Republic, Germany, Romania, Poland, Croatia, the normative requirements based on the criteria of conditional height of the house, class of reaction to fire, necessity of arrangement of fire-prevention belts, thickness of a layer of front thermal insulation which are put forward to arrangement of external front thermal insulation of the house were generalized. The practice of the European regulatory framework is installed on the possibility of combining the facade of the house with the simultaneous using of materials with flammability group G1 and non-combustible materials (NG) depending on the normalized height under the condition of arrangement of fire-prevention belts of the established geometrical sizes. Based on the study of the experience of European countries on the rationing of requirements for thermal insulation on the facades of buildings, it is proposed that the domestic regulations should provide for the possibility of combining thermal insulation on the facades of buildings up to 47 m, based on the following principles : the installation of facade thermal insulation of the flammability group (G1) up to a conditional height of 26.5 is allowed under the condition of installing fire belts, under the conditions proposed in the article, which are made of non-combustible material (NG); starting from a conditional height of 26.5 m and more, the using of only non-combustible materials (NG) as facade insulation is allowed.

УДК 614.841.34

СТВОРЕННЯ СТЕНДА ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ПОКРІВЕЛЬ НА СТІЙКІСТЬ ДО ЗОВНІШНЬОГО ВОГНЕВОГО ВПЛИВУ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.1.22-32>

Коваленко В. В*, ORCID iD [0000-0001-5780-5684](https://orcid.org/0000-0001-5780-5684)

Добростан О. В., ORCID iD [0000-0001-8908-0729](https://orcid.org/0000-0001-8908-0729)

Тимошенко О. М., ORCID iD [0000-0001-7568-5030](https://orcid.org/0000-0001-7568-5030)

Самченко Т. В., ORCID iD [0000-0003-3702-8296](https://orcid.org/0000-0003-3702-8296)

Ратушний О. В., ORCID iD [0000-0002-4728-3509](https://orcid.org/0000-0002-4728-3509)

*E-mail : vitalii-kovalenko@ukr.net

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 07.05.2021

Пройшла рецензування: 28.05.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА :

покрівлі та покрівельні матеріали, пожежна небезпека, випробування, поширення полум'я, зразок покрівлі, джерело вогневого впливу, повітропровід, швидкість повітряного потоку, метрологічні характеристики.

АНОТАЦІЯ

Показана актуальність робіт з проведення випробувань покрівель на стійкість до зовнішнього вогневого впливу для створення передумов підвищення рівня пожежної безпеки об'єктів будівництва в Україні. Підтверджена доцільність запровадження в Україні окремого методу для розширеного застосування результатів випробувань покрівельних матеріалів, а саме методу випробувань № 2 згідно з ДСТУ CEN/TS 1187:2016 «Методи випробувань покрівель зовнішнім вогневим впливом (CEN/TS 1187:2012, IDT)». Вперше в Україні, на рівні європейських підходів, розроблено конструкцію та робочу конструкторську документацію випробувального стенда для проведення випробувань покрівель на стійкість до зовнішнього вогневого впливу. Наведено загальний вид та склад стенда, у тому числі запального пристрою. Визначено його технічні характеристики. Обґрунтовано та експериментально підтверджено параметри подавання газу у запальний пристрій. Технічні характеристики створеного стенда дозволяють проводити випробування зразків покрівель установленого розміру основи, товщиною зразка до 200 мм та масою до 30 кг. Наведено необхідні для проведення випробувань засоби вимірювальної техніки. Наведено процедуру калібрування стенду, процедуру проведення випробувань та вимоги з оцінки результатів випробувань. Підготовлено матеріали для проведення верифікації стенда, результати якої засвідчуватимуть гарантовані розробником та виробником стенда основні параметри, технічні характеристики та дійсні значення нормованих метрологічних показників для випробувань покрівель на стійкість до зовнішнього вогневого впливу згідно з вимогами та методикою наведеними у ДСТУ CEN/TS 1187:2016. Наведено пропозиції щодо подальшого використання результатів випробувань на створеному стенді.

Постановка проблеми. За результатами виконання науково-дослідної роботи [1] встановлено, що в національних будівельних нормах не встановлені вимоги пожежної безпеки до покрівельних матеріалів, окрім вимог щодо вогнестійкості покриттів, які

входять до складу покрівлі. У країнах Європейського простору до покрівель та покрівельних матеріалів встановлено вимоги як до покрівельних матеріалів, так і до покрівель у складі конструкцій, що сприяють обмеженню поширенню

вогню в будівлях і спорудах під час пожежі.

Визначення пожежонебезпечних властивостей будівельних покрівельних матеріалів, а також стійкості покрівлі (покрівельного матеріалу та основи) до зовнішнього вогневого впливу, має особливе місце у забезпеченні пожежної безпеки будівель та споруд і мають удосконалюватись шляхом впровадження відповідних європейських підходів.

Удосконалення національної нормативної бази, яка регламентує вимоги пожежної безпеки до будівельних конструкцій, виробів та матеріалів, створення передумов для підвищення рівня їхньої пожежної безпеки сьогодні базується на запровадженні в Україні європейської пожежної кваліфікації будівельних виробів і будівельних конструкцій, яка встановлена у серії європейських стандартів.

Тому одним із напрямів проведення наукових досліджень у рамках виконання заходів щодо забезпечення пожежної безпеки, а також гармонізації національної нормативної бази з міжнародними та європейськими нормативними документами є удосконалення нормативної бази щодо будівельних норм і оцінки відповідності покрівель та покрівельних матеріалів у відповідності до вимог пожежної безпеки для нормативної підтримки Закону України «Про надання будівельної продукції на ринку» № 850-IX. Спрямованість напряму роботи на удосконалення національної нормативної бази з вимог пожежної безпеки шляхом впровадження відповідних європейських підходів для створення передумов підвищення рівня пожежної безпеки об'єктів будівництва підтверджує її актуальність.

Виходячи з вищезазначеного актуальним слід вважати дослідження стійкості до зовнішнього вогневого впливу покрівель відповідно до європейських методів, для проведення якого необхідно створити відповідне випробувальне устаткування та провести

його верифікацію, яка засвідчуватиме гарантовані його розробником та виробником основні параметри, технічні характеристики та дійсні значення нормованих метрологічних показників устаткування для випробувань покрівель на стійкість до зовнішнього вогневого згідно з вимогами та методикою наведеними у [2].

Також є доцільним на створеному обладнанні провести випробування низки покрівель, результати яких можуть бути підґрунтям для пропозицій щодо внесення відповідних змін до будівельних норм стосовно вимог до покрівель і покрівельних матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [3] наведено аналіз міжнародного досвіду застосування методів випробувань згідно з CEN/TS 1187. З урахуванням розрахунків пожежної навантаги джерел запалювання, аналізу результатів випробувань проведених EGOLF та моделювання вогневих процесів обґрунтовано доцільність запровадження в Україні окремого методу випробувань покрівельних матеріалів, а саме методу випробувань № 2, наведеного у [2].

Методи дослідження. Метод випробувань № 2 успішно застосовується в країнах Європи протягом багатьох років. Однак, на початку 2000 років, у скандинавських країнах, зокрема, у Данському інституті пожежно-безпечних технологій, Норвезькій лабораторії досліджень пожеж, VTT Будівництво та транспорт (Фінляндія), SP Національний інститут випробувань та досліджень, пожежна техніка (Швеція) були проведені роботи по удосконаленню методу, перш за все, з модернізації випробувального обладнання [4].

Роботи проводились з метою підвищення показників точності, стабільності та повторюваності отримуваних результатів випробувань у різних лабораторіях.

Було встановлено та підтверджено експериментально (шляхом застосування

кольорових димів, вимірювання полів швидкостей термоанемометрами тощо), що на наведені показники значно впливає ступінь турбулентності потоку повітря над зразком покрівлі, що випробовується.

Представниками скандинавських країн запропоновано ряд варіантів технічних змін до конструкції обладнання щодо: зміни способу під'єднання вентилятора до повітропроводу, у якому створюється потік повітря; встановлення додаткових пристроїв у повітропроводі для стабілізації потоку; способу регулювання швидкості потоку повітря (за рахунок регулювання швидкості обертання колеса вентилятора, а не за допомогою заслінок, як було раніше) тощо.

Після вивчення та аналізу наведені пропозиції були прийняті для подальшого застосування розробниками робочої конструкторської документації стенда Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту (ІДУ НД ЦЗ).

Метою статті є висвітлення матеріалів, щодо проведених в ІДУ НД ЦЗ аналітичних, експериментальних досліджень та конструкторських робіт зі створення стенда для випробування покрівель на стійкість до зовнішнього вогневого впливу (надалі - стенд) та подальших робіт з виготовлення,

монтажу, налагодження, калібрування та верифікації при введенні його в експлуатацію.

Виклад основного матеріалу.

Розроблення робочої конструкторської документації стенда проводилось у рамках виконання науково-дослідної роботи «Дослідження стійкості до зовнішнього вогневого впливу покрівель («Випробування покрівель»)).

Загалом конструкція стенда визначається принциповою схемою та рекомендаціями щодо деяких конструктивних елементів, а також положеннями методики № 2 з підготовки та проведення випробувань викладених у [2].

Стенд призначений для випробувань зразків (фрагментів) покрівель або покрівельних матеріалів на стійкість до зовнішнього вогневого впливу за європейським методом № 2 - випробування з використанням джерела вогневого впливу та повітряного потоку згідно з [2]. Означений метод випробувань дозволяє визначити межі поширення полум'я поверхнею та в кожному шарі покрівлі, разом з основою

Загальний вид та склад розробленого стенда наведено на рис. 1.

До вентилятора витяжного поз. 16

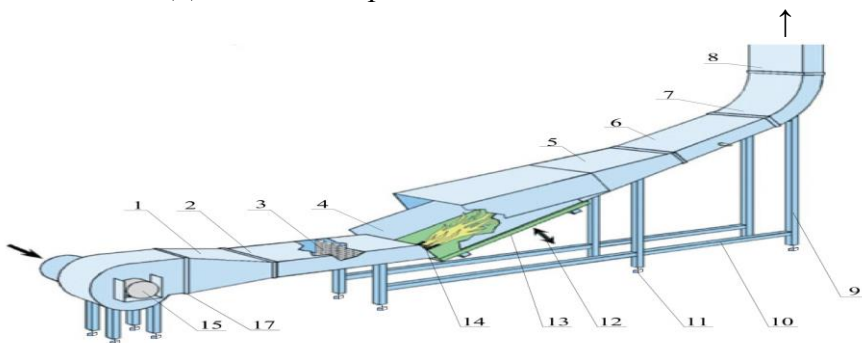


Рисунок 1 – Загальний вид та склад розробленого стенда:

1 – перехід прямокутний, 2 – повітропровід нижній, 3 – вставка гофрована, 4 – секція стінового каналу, 5 – повітропровід відкритий, 6 – повітропровід звужений, 7 – повітропровід радіусний, 8 – повітропровід кінцевий, 9 – стійка, 10 – стяжка, 11 – опора регульована, 12 – тримач зразка для випробувань, 13 – зразок покрівлі для випробувань, 14 – джерело вогневого впливу, 15 – вентилятор нагнітальний, 16 – вентилятор витяжний, 17 – прокладка

Перехід прямокутний 1 являє собою перехідний повітропровід, що з'єднує вентилятор нагнітальний 15 з повітропроводом нижнім 2. Між з'єднувальними фланцями вентилятора 15 та переходу прямокутного 1 розміщена вставка перфорована, для зменшення турбулентності потоку (на рисунку не показана), яка ущільнена з обох сторін прокладками 17.

Повітропровід нижній 2 призначений для розміщення вставки гофрованої 3 та сполучення з секцією стінового каналу 4. Вставка гофрована 3 призначена для зменшення турбулентності повітряного потоку, що створюється вентилятором.

Секція стінового каналу 4 вільно спирається на верхню грань нижнього повітропроводу 2 за допомогою спеціальних прорізів у верхній своїй частині, а іншою (нижньою) своєю стороною вільно заходить всередину повітропроводу відкритого 5, на нижню його грань, на довжину близько 80 мм. Для захисту бокових граней секції стінового каналу, які є частиною «вогневої камери», і, які при випробуваннях піддаються впливу полум'я, вони зсередини термоізоляовані вставками із силікатнокальцієвої армованої плити.

Повітропровід відкритий 5 сполучає секцію стінового каналу 4 з повітропроводом звуженим 6. Повітропровід відкритий 5 має кришку, що відкривається при підготовці стенда до випробувань та, яка закривається перед початком проведення випробувань, після розміщення палаючого джерела вогневого впливу. Для захисту від дії полум'я кришка повітропроводу, як верхня частина «вогневої камери», оснащена зсередини термоізоляцією із силікатнокальцієвої армованої плити.

Повітропровід звужений 6 сполучає повітропровід відкритий 5 з повітропроводом радіусним 7. Повітропровід звужений 6 всередині оснащений діафрагмою спеціального

профілю, яка забезпечує мінімальний просвіт по висоті короба повітропроводу розміром (60 ± 2) мм. Цей розмір, при виготовленні, контролюють через кожен із трьох отворів діаметром 18 мм у кришці на нижній частині повітропроводу 6. Через ці отвори контролюють швидкість повітряного (димогозового) потоку у звуженій ділянці повітропроводу при калібруванні роботи стенда, яка має складати $(6,0 \pm 0,5)$ м/с.

Повітропровід радіусний 7 сполучає повітропровід звужений 6 з повітропроводом кінцевим 8 у вертикальне положення.

Повітропровід кінцевий 8 призначений для підключення витяжного вентилятора 16 (на рисунку не показаний).

Повітропроводи 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8 між собою з'єднуються фланцями, а міжфланцеві стики ущільнюються прокладками 17.

Стенд монтують на місці експлуатації за допомогою стійок 9 та стяжок 10, виставляють за допомогою будівельного рівня у горизонтальних: поздовжній та поперечній, а також у вертикальній площинах, та надійно закріплюють його до підлоги за допомогою опор регульованих 11.

Тримач зразка для випробувань 12 (на рисунку показаний умовно) призначений для розміщення зразка покрівлі для випробувань 13, подальшого його притискування до нижньої частини стенда, з метою забезпечення щільності стиків між верхньою стороною зразка і відповідними елементами стенда.

Вхідний отвір вентилятора нагнітального 15 оснащений захисною решіткою та кришкою, що закривається (відкривається) при потребі (на рисунку не показані).

Витяжний вентилятор 16 призначений для видалення назовні приміщення продуктів горіння, що утворюються при випробуваннях.

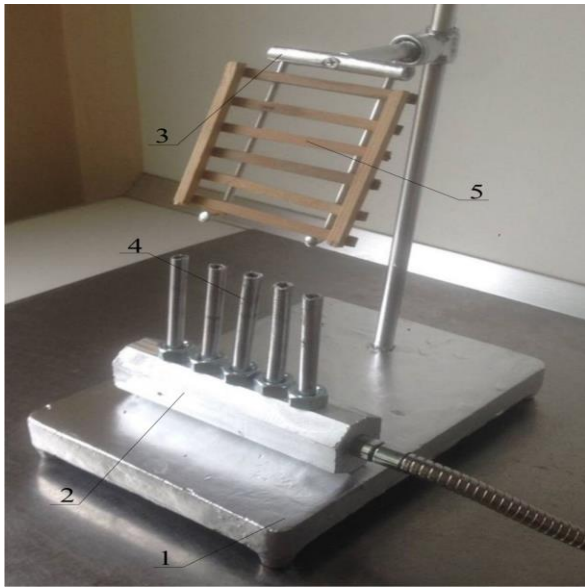


Рисунок 2 – загальний вид та склад розробленого запалювального пристрою: 1 – основа, 2 – колектор газовий, 3 – тримач джерела вогневого впливу, 4 – пальник, 5 – джерело вогневого впливу

Пристрій для запалювання джерела вогневого впливу 14 є окремим виробом, який розміщується у лабораторній витяжній шафі, поряд зі стендом. Загальний вид та склад розробленого запалювального пристрою наведено на рис. 2. Джерело вогневого впливу, опис якого наведено нижче, підпалюється на запалювальному пристрої від полум'я п'яти пальників 4, у яких згоряє газ-пропан.

До складу запалювального пристрою також входять: газовий витратомір (ротаметр), редуктор та балон зі скрапленням пропаном, які приєднуються за допомогою гнучкого трубопроводу (на рис. 2 не наведені).

Нагнітальний вентилятор для подавання повітря забезпечує працездатність стенда. Але, в [2] також не наведені його основні характеристики. Зробити традиційний аеродинамічний розрахунок системи було неможливо, так

як у повітропроводах стенда передбачені пристрої для зменшення турбулентності потоку у вигляді перфорованих вставок, коефіцієнти гідравлічного опору (втрата тиску) яких невідомі. Тому необхідно було провести ряд експериментальних досліджень на фрагменті виготовленого повітропроводу з реальними перфорованими вставками, за результатами яких було визначено типорозмір і технічні характеристики вентилятора. При цьому продуктивність та робочий тиск вентилятора було вибрано з певним запасом, з урахуванням можливих доопрацювань стенда у подальшому, по зменшенню турбулентності потоку згідно з наведеним у [4].

Розроблено оригінальну конструкцію тримача зразка для випробувань, при цьому платформа для розміщення зразка, що входить до його складу, має свободу рухливості у двох площинах за рахунок передбаченого сферичного шарніра і у третій площині, за рахунок рухливого осевого силового елемента для притискування платформи зі зразком, у вигляді гідравлічного домкрата. У зв'язку з тим, що у [2] наведено не всі вихідні дані щодо характеристик окремих, надзвичайно важливих, елементів стенда при розробці конструкторської документації було виконано ряд досліджень та експериментів з визначення цих даних.

Так, наприклад, у [2] не вказаний діаметр отвору для подавання газу в пальнику запалювального пристрою, тому було виконано відповідний пневматичний розрахунок виходячи з регламентованої масової витрати пропану. Попередньо було проведено експериментальні дослідження пальника з розробленим жиклером, остаточне рішення буде прийнято у процесі наладки стенда.

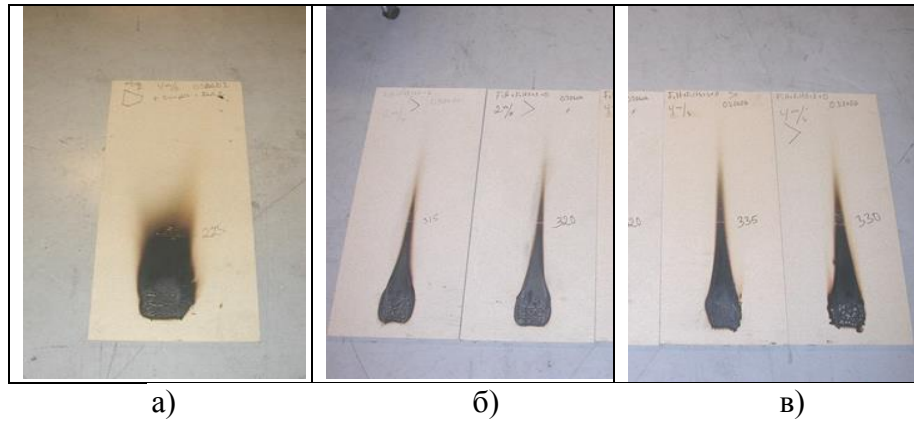


Рисунок 3 – Приклади того, як більш бурхливий повітряний потік надає пошкодженню зразка усічену форму (рисунок 3 а), а більш ламінарний потік повітря формує гостріші форми пошкодження зразка (рисунок 3 б) та 3 в))

Таблиця 1 – Технічні характеристики стенда

№ п/п	Найменування показника	Одиниця вимірювання	Значення показника
1	Продуктивність встановлених повітряних відцентрових вентиляторів (максимальна), не менше: вентилятор поз. 15 вентилятор поз. 16	м ³ /год	2500 1500
2	Встановлена електрична потужність, не менше: вентилятор поз. 15 вентилятор поз. 16	кВт	0,75 0,49
3	Напруга електричного струму, не більше: вентилятор поз. 15 вентилятор поз. 16	В	380 220
4	Частота струму електричної мережі, не менше	Гц	50
5	Максимальна товщина зразка покрівлі, не більше	мм	200
6	Максимальна допустима маса зразка, не більше	кг	30
7	Габаритні розміри Д×В×Ш, не більше	мм	5100×3500×550
8	Маса конструктивна, не більше	кг	350

До підрозділу Паспорту стенда СВП 1187.00.00.000 ПС «Калібрування» внесено вимогу щодо проведення перевірки ступеня турбулентності повітряного потоку за методом, наведеним у [4], де експериментально та наглядно підтверджено, що більш ламінарний потік повітря дає довші та гостріші форми пошкодження зразка для калібрування (плити ДСП), ніж більш бурхливий повітряний потік, що

проілюстровано на рис. 3. Тобто отримані форма та геометричні розміри пошкоджень зразка дають можливість найбільш об'єктивно опосередковано та безпосередньо порівнювати ступінь турбулентності різних потоків. У результаті виконаних робіт розроблений стенд має наступні технічні характеристики, що наведені у табл. 1 та технічні дані, що наведені нижче.

Основні деталі стенда виготовлені із чорного сталюого металопрокату з фарбою з термостійкістю до 500 °С. Деталі запалювального пристрою джерела вогневого впливу виготовлені з полірованої неіржавіючої сталі.

Витяжний вентилятор 17 розрахований на переміщення газів температурою не менше 120 °С.

Передбачені електричною схемою стенда частотні пристрої регулювання обертів асинхронних електричних двигунів змінного струму вентиляторів поз. 15, 16 забезпечують регламентовані швидкості повітряного потоку в стенді: $(2,0 \pm 0,1)$ м/с та $(4,0 \pm 0,1)$ м/с над зразком у напрямку повітряного потоку в місці, де знаходиться центр джерела вогневого впливу та $(6,0 \pm 0,5)$ м/с, у місці звуження повітропроводу 6.

Для вимірювання швидкості повітряного потоку застосовують крильчастий анемометр, а також термоанемометр.

Похибка вимірювання крильчастого анемометра не повинна перевищувати $\pm 0,1$ м/с за швидкості повітряного потоку 2 м/с та $\pm 0,2$ м/с за швидкості повітряного потоку 4 м/с.

Похибка вимірювання термоанемометра за швидкості повітряного потоку 6 м/с не повинна перевищувати $\pm 0,2$ м/с.

У якості джерела вогневого впливу використовують дерев'яну рамку, що складається з восьми соснових брусків, без сучків, довжиною 100 мм і розміром поперечного перерізу (10×10) мм.

Шість брусків прибивають на відстані 8 мм один від одного до двох аналогічних брусків. Цвяхи слід забивати з нижнього боку рамки. Габаритні розміри дерев'яної рамки складають $(100 \times 100 \times 20)$ мм.

Джерело вогневого впливу перед випробуванням кондиціюють в сушильній шафі з циркуляцією повітря за температури $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ протягом 24 год. Після сушіння джерело вогневого впливу охолоджують в ексікаторі до навколишньої температури у приміщенні.

відповідним антикорозійним покриттям

Маса джерела вогневого впливу після такої обробки має становити (40 ± 2) г.

Після кондиціювання джерело вогневого впливу зберігають в ексікаторі.

Для визначення маси джерела вогневого впливу використовують ваги з похибкою зважування не більше $\pm 0,1$ г.

Витрату пропану з пальників запалювального пристрою встановлюють на рівні (145 ± 10) г/год ($1,3$ л/хв за атмосферного тиску 101 кПа і температури 20°C). Витрату пропану в запалювальному пристрої визначають за допомогою витратоміра (ротаметра). Похибка вимірювання витратоміра не повинна перевищувати ± 3 %. Необхідно використовувати пропан чистотою не менше ніж 95 %. У такому режимі полум'я має синє забарвлення з жовтими краями. Довжина язиків полум'я, виміряна від верхнього зрізу пальників, становить близько 120 мм.

При проведенні випробувань застосовують інші засоби вимірювальної техніки, що наведені у табл. 2.

Після монтажу стенда і щоразу при внесенні змін, які впливають на технічні характеристики стенда проводять калібрування стенда.

Зразок для калібрування виготовлюють з плити ДСП з об'ємною густиною (680 ± 50) кг/м³, шириною та довжиною (400×1000) мм, товщиною (19 ± 2) мм, що пройшла кондиціювання за нормальних кліматичних умов. На центральній осі зразка наносять наступне маркування, згідно якого вимірюють швидкість повітряного потоку, при калібруванні:

- S0 – на відстані 100 мм від нижнього краю;
- S500 – на відстані 600 мм від нижнього краю;
- S800 – на відстані 900 мм від нижнього краю.

Значення допустимих відхилень швидкості повітряного потоку наведено у табл. 3 та 4.

Таблиця 2 – Засоби вимірювальної техніки, що використовуються при проведенні випробувань

Найменування ЗВТ	Діапазон вимірювань	Клас точності або похибка вимірювання
Лінійка металева	від 0 до 1000 мм	2 кл. точн.
Штангенциркуль ШЦ-III-500	від 0 до 500 мм	$\pm 0,1$ мм
Ваги ВР-02МСУ	від 0 кг до 5 кг; від 5 кг до 20 кг від 20 кг до 32 кг	$\Delta_1 = \pm 2$ г; $\Delta_2 = \pm 5$ г; $\Delta_3 = \pm 10$ г;
Ваги аналітичні ВЛТ-200	від 0 до 200 г	$\pm 0,0001$ г
Термоанемометр Тесто 405 V1	Від 0 до 10 м/с	$\pm 0,2$ м/с
Ротаметр	Від 0 м ³ /год до 0,63 м ³ /год	± 3 %
Секундомір СОСпр2а-2-000	від 0 до 60 с; від 60 с до 3600 с	$\pm \left(\frac{0,4}{60} \cdot \tau_{\text{вим}} \right) \text{ с};$ $\pm \left(0,4 + \frac{1,5}{3540} \cdot (\tau_{\text{вим}} - 60) \right) \text{ с}$
Барометр-анероїд М67	від 600 мм рт. ст. до 800 мм рт. ст.	± 1 мм рт. ст.
Психрометр МВ-4М	від мінус 10 °С до 50 °С; від 10 % до 100 %	$\pm 0,2^\circ\text{C}; \pm 4$ %

Таблиця 3 – Допустимі відхилення швидкості повітря від номінальної, що складає 2 м/с

Позначка маркування на зразку для калібрування	Допустиме відхилення, м/с	
	У центрі	На лінії 100 мм від центра
S0	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$
S500	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$
S800	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$

Таблиця 4 – Допустимі відхилення швидкості повітря від номінальної, що складає 4 м/с

Позначка маркування на зразку для калібрування	Допустиме відхилення, м/с	
	У центрі	На лінії 100 мм від центра
S0	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$
S500	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$
S800	$\pm 0,6$	$\pm 1,0$

Зразки покрівлі для випробувань виготовляють методом нанесення будівельного матеріалу на стандартну основу прямокутної форми розміром (400 × 1000) мм. Перед випробуваннями виготовлені зразки кондиціонують до досягнення ними постійної маси за температури навколишнього середовища (23 ± 2)°С та відносної вологості повітря (50 ± 5) %. За таких умов зразки зберігають до початку проведення випробувань. Постійна маса зразка покрівлі вважається досягнутою в раз,

якщо результати двох послідовних зважувань, проведених з інтервалом у 24 год, не відрізняються від останнього значення маси зразка більше ніж на 0,1 % або на 0,1 г (в залежності від того, яке з цих значень більше).

Для випробувань зразок установлюють у тримач стенда та притискають до елементів стенда таким чином, щоб верхня сторона зразка знаходилася під дном відкривного повітропроводу, а нижня частина заходила під дно нижнього повітропроводу на відстань, що

складає (3 ± 1) мм. за допомогою частотних регуляторів управління електричними двигунами вентиляторів встановлюють відрегульовані раніше швидкості потоку повітря над зразком - $(2,0 \pm 0,1)$ м/с або $(4,0 \pm 0,1)$ м/с та $(6,0 \pm 0,5)$ м/с – у місці звуження звуженого повітропроводу. Джерело вогневого впливу виймають із ексикатора, зважують, встановлюють та підпалюють у запальному пристрої і залишають його там горіти протягом 30 с. Закривають вхідний отвір нагнітального вентилятора і розміщують палаюче джерело вогневого впливу на зразок покрівлі, на зазначене місце, по центру його поздовжньої осі, на відстані 100 мм від нижнього краю, щоб повітря могло вільно проникати під шість верхніх брусків. Через 15 с відновлюють подачу повітря до нижнього вентилятора, відкриваючи кришку його вхідного отвору і розпочинають випробування.

Випробування припиняють шляхом гасіння полум'я на зразку через 15 хв після початку випробування (з моменту встановлення джерела вогневого впливу на зразок) або коли фронт полум'я досягне верхнього краю зразка.

У процесі проведення випробування контролюють такі параметри:

- проміжок часу, до моменту займання зразка;
- проміжок часу до згасання полум'я;
- проміжок часу до припинення тління.

Реєструють зміни у зразку під час випробування і його вигляд після завершення випробування. При цьому необхідно враховувати такі явища: плавлення, спінення, обвуглення, розширення, усадку, розшарування тощо. Після закінчення випробування визначають розміри пошкоджень як зразка, так і основи.

Критерії класифікації зразків наведені в EN 13501-5:2005+A1:2009, таблиця 1.

Спостереження та вимірювання визначених параметрів повинні проводитись під час та (або) після випробувань. Результати випробувань заносять до протоколу.

Протокол випробувань повинен містити:

- довжину пошкодженого будівельного матеріалу зразка та основи, яка визначається від центра джерела вогневої дії, в міліметрах;

- площу пошкодження зразка та основи у квадратних міліметрах, якщо це потрібно для виконання вимог нормативних документів або для класифікації;

- максимальну глибину пошкодження зразка в міліметрах, якщо це потрібно для виконання вимог нормативних документів або для класифікації.

Окрім наведеного, у ході виконання робіт розроблено проект паспорту, об'єднаного з технічним описом і інструкцією з експлуатації. Цей документ засвідчує гарантовані розробником та виробником основні параметри, технічні характеристики і нормовані метрологічні характеристики стенда та призначений для вивчення устрою і принципу роботи стенда, встановлює правила його монтажу, технічного обслуговування, ремонту і експлуатації, дотримання яких забезпечує підтримку стенда в постійній готовності до випробувань та безпеку експлуатації.

Для проведення, у подальшому, верифікації стенда розроблено проекти наступних документів: програма та методика верифікації, протокол верифікації та свідоцтво про верифікацію.

Висновки та напрями подальших досліджень. Показана актуальність робіт з проведення випробувань покрівель на стійкість до зовнішнього вогневого впливу для створення передумов підвищення рівня пожежної безпеки об'єктів будівництва в Україні. Підтверджена доцільність запровадження в Україні окремого методу випробувань покрівельних матеріалів, а саме методу випробувань № 2 згідно з ДСТУ CEN/TS 1187:2016 «Методи випробувань покрівель зовнішнім вогневим впливом (CEN/TS 1187:2012, IDT)». Вперше в Україні, на рівні європейських підходів,

розроблено конструкцію та робочу конструкторську документацію стенда для проведення випробувань покрівель на стійкість до зовнішнього вогневого впливу. Технічні характеристики створеного стенда дозволяють проводити випробування зразків покрівель установленого стандартом розміру основи, товщиною зразка до 200 мм та масою до 30 кг. Підготовлено матеріали для проведення верифікації стенда, результати якої засвідчуватимуть гарантовані розробником та виробником стенда основні параметри, технічні характеристики та дійсні значення нормованих метрологічних показників для випробувань покрівель на стійкість

до зовнішнього вогневого впливу згідно з вимогами та методикою наведеними у ДСТУ CEN/TS 1187:2016. Наведено пропозиції щодо подальшого використання результатів випробувань на створеному обладнанні, а саме: доцільно провести випробування низки покрівель, результати яких можуть бути підґрунтям для пропозицій щодо розробки та внесення відповідних змін до будівельних норм стосовно вимог до покрівель і покрівельних матеріалів, а розробникам та виробникам підґрунтям щодо розробки нових видів та типів покрівельних матеріалів та покрівель у складі конструкцій будівель і споруд.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Обґрунтування процедури розширеного застосування результатів випробувань покрівель та покрівельних матеріалів зовнішнім вогневим впливом («Випробування покрівель – розширене застосування») : звіт про НДР (заключний). УкрНДІЦЗ ДСНС України. Київ. 2020. 244 с. № ДР 0119U100719.
2. ДСТУ CEN/TS 1187:2016. Методи випробувань покрівель зовнішнім вогневим впливом (CEN/TS 1187:2012, IDT). Прийнятий методом «підтвердження». [Чинний від 2016-09-01]. Київ: ДП УкрНДНЦ, 2016. 83 с.
3. Визначення методу розширеного застосування результатів випробувань покрівель та покрівельних матеріалів (за міжнародним досвідом застосування CEN/TS 1187): *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2020. № 1(9). С. 14–22.
4. ENV 1187 test method 2. Improvement of test equipment and procedure. Nordtest Project №1572-02. URL : <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:962279/FULLTEXT01.pdf> (дата звернення 05.05.2021).

REFERENCES

1. Obgruntuvannya protsedury rozshyrenoho zastosuvannya rezultatativ vyprobuvan pokrivel ta pokrivelnykh materialiv zovnishnim vohnevym vplyvom («Vyprobuвання pokrivel - rozshyrene zastosuvannya») [Substantiation of the procedure of extended application of the results of tests of roofs and roofing materials by external fire influence ("Testing of roofs - extended application")] : zvit pro NDR (zakliuchnyi) UkrNDITsZ DSNS Ukrainy. Kyiv. 2020. 244 s. № DR 0119U100719 [in Ukrainian].
2. DSTU SEN/TS 1187:2016. Metody vyprobuvan pokrivel zovnishnim vohnevym vplyvom (SEN/TS 1187:2012, IDT) [Test methods for external fire exposure to roofs]. Pryiniatyi metodom «pidtverdzhennia». [Chynnyi vid 2016-09-01]. Kyiv: DP UkrNDNTs, 2016. 83 s. [in Ukrainian].
3. Vyznachennia metodu rozshyrenoho zastosuvannya rezultatativ vyprobuvan pokrivel ta pokrivelnykh materialiv (za mizhnarodnym dosvidom zastosuvannya CEN/TS 1187): *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhazhna bezpeka*. 2020. № 1(9). S. 14–22. [in Ukrainian].
4. ENV 1187 test method 2. Improvement of test equipment and procedure. Nordtest Project № 15722-02. SP Swedich National Testing Institute. Retrieved from <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:962279/FULLTEXT01.pdf> [in English].

CREATION OF A STAND FOR TESTING OF ROOFS ON RESISTANCE TO EXTERNAL FIRE INFLUENCE

V. Kovalenko, O. Tymoshenko, O. Dobrostan, T. Samchenko, O. Ratushnyi
Institute of Public Administration and Research on Civil Defense, Ukraine

KEYWORDS

roofs and roofing materials, fire hazard, tests, flame spread, roof test specimens, ignition source, air duct, air flow rate, metrological characteristics.

ANNOTATION

The topicality of works for testing roofs on resistance to external fire influence for creation the conditions of improving the level of fire safety for construction in Ukraine is shown. The expediency of introducing in Ukraine a separate method for the extended application of test results of roofing materials, namely the test method № 2 in accordance with DSTU CEN/TS 1187: 2016 "Methods of testing roofs by external fire (CEN/TS 1187: 2012, IDT)" was confirmed. For the first time in Ukraine, at the level of European approaches, the design and working design documentation of a test stand for testing of roofs on resistance to external fire influence has been developed. The general appearance and composition of the stand, including the ignition source, are given. Technical characteristics of the stand have been determined. The parameters of gas supply to the ignition source are substantiated and experimentally confirmed. Technical characteristics of the created stand allow to carry out tests of roofs test specimens with standardized size of basis, thickness of the test specimen to 200 mm and weight to 30 kg. The means of measuring equipment necessary for carrying out tests are given. The procedure of calibration of the stand, the procedure of carrying out tests and requirements for evaluation of test results are given. Materials for verification of the stand have been prepared, the results of which will certify the basic parameters, technical characteristics and actual values of standardized metrological indicators guaranteed by the developer and manufacturer of the stand for testing of roofs on resistance to external fire influence in accordance with the requirements and methods given in DSTU CEN/TS 1187: 2016. Suggestions for further use of test results on the created stand are given.

УДК 656.7

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНОЇ АВІАЦІЇ ІНОЗЕМНИМИ КРАЇНАМИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЗБИТКІВ ВІД НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.1.33-43>

Мосов С.П., ORCID iD [0000-0003-0833-3187](https://orcid.org/0000-0003-0833-3187)

Хижняк В.В., ORCID iD [0000-0003-0437-749X](https://orcid.org/0000-0003-0437-749X)

Литовченко А.О., ORCID iD [0000-0002-6696-8255](https://orcid.org/0000-0002-6696-8255)

Ядченко Д.М.* ORCID iD [0000-0002-6451-7338](https://orcid.org/0000-0002-6451-7338)

*E-mail : dima_yadchenko@ukr.net

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 21.04.2021

Пройшла рецензування: 28.05.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА :

надзвичайна ситуація,
безпілотний літальний апарат,
оцінювання збитків, цивільний захист.

АНОТАЦІЯ

У статті досліджується досвід, особливості та тенденції застосування безпілотної авіації іноземними країнами в інтересах оцінювання збитків, що завдаються об'єктам економіки і фізичним особам унаслідок різних за походженням надзвичайних ситуацій, що є актуальним питанням для України. Метою статті стало визначення особливостей і тенденцій щодо застосування безпілотної авіації в іноземних країнах в інтересах оцінювання збитків від надзвичайних ситуацій. У результаті досліджень за об'єктом впливу негативних факторів визначено види збитків від надзвичайних ситуацій, що є предметом оцінювання за допомогою безпілотних літальних апаратів у зарубіжних країнах: шкода життю і здоров'ю конкретних людей (медико-біологічні), що визначається конкретними порушеннями їх здоров'я, що призводить до соціальних втрат і, у підсумку, скорочення середньої очікуваної тривалості життя; збитки соціально-економічній системі (соціально-економічні), що проявляється у втраті того чи іншого виду власності, витратах на переселення людей, виплатах компенсацій постраждалим, втраченій вигоді від не заключення або розірвання ділових контрактів, порушенні процесу нормальної господарської діяльності, погіршенні умов життєдіяльності людей тощо; збитки державі (соціально-політичні); шкода природному середовищу (екологічні), під яким розуміється погіршення природного середовища або витрати на його відновлення, втрати народногосподарської цінності територій або витрати на її реабілітацію. Результати проведених досліджень дозволили зробити такі висновки: використання інформації від видової й параметричної апаратури, що встановлюється на борту безпілотників, дозволяє іноземним країнам оперативно проводити оцінювання збитків від аварій на промислових підприємствах, залізничних катастроф з небезпечними вантажами, терористичних актів, визначати ступінь забруднення великих територій хімічними або ядерними відходами, визначати збитки від лісових пожеж тощо. Безпілотні літальні апарати, за досвідом іноземних країн, є сучасним найдоступнішим, оперативним і об'єктивним джерелом актуальної просторової інформації. Акцентується увага на тому, що застосування безпілотної авіації для оцінювання збитків від надзвичайних ситуацій державними структурами створило підстави для страхових компаній щодо

використання безпілотників у своїй діяльності. Напрями подальших досліджень запропоновано вважати: дослідження сучасного досвіду і світових тенденцій щодо застосування безпілотної авіації провідними країнами світу для прогнозування і в ході ліквідації надзвичайних ситуацій; дослідження способів протидії аматорським безпілотникам, що заважають рятувальникам під час ліквідації надзвичайних ситуацій, тощо.

Постановка проблеми. У 2020 р. в Україні зареєстровано 116 надзвичайних ситуацій (далі – НС), які відповідно до Національного класифікатора «Класифікатор надзвичайних ситуацій» ДК 019:2010 розподілилися на: техногенного характеру – 47; природного характеру – 64; соціального характеру – 5. Унаслідок НС у 2020 р. загинуло 170 осіб (з них 26 дітей) і постраждало 305 осіб (з них 46 дітей). За інформацією Міністерства охорони здоров'я України станом на 01.01.2021 р. в Україні зареєстровано 1064479 випадків захворювання людей на коронавірус COVID-19, з них 18680 випадків – летальні. За масштабами НС, що виникли у 2020 році, розподілилися на: державного рівня – 6; регіонального рівня – 4; місцевого рівня – 50; об'єктового рівня – 56 [1].

За даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій (далі – ДСНС) наша країна унаслідок НС щорічно зазнає значних матеріальних збитків і людських втрат. Так, наприклад, ускладнення погодних умов, випадання значних опадів у вигляді дощу на території Закарпатської, Івано-Франківської, Львівської, Тернопільської та Чернівецької областей у період з 12 по 24 червня 2020 р. призвело до різких підйомів рівнів води в басейнах річок, ускладнення паводкової обстановки та підтоплення 349 населених пунктів, понад 14,3 тис. будинків. Також було затоплено понад 22,4 тис. присадибних ділянок, пошкоджено 3,5 тис. господарських споруд, зруйновано та пошкоджено понад 940 км автодоріг, понад 140 км берегоукріплень, понад 20 км дамб і понад 300 мостів. У наслідку НС загинуло 5 осіб (з них 1 дитина). Сума тільки прямих матеріальних збитків завданих НС за інформацією обласних державних

адміністрацій склала понад 1,3 млрд. грн. [1].

Для розрахунку збитків від НС використовується «Методика оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру», затверджена Постановою КМ України 15.02.2002 № 175 із змінами [2]. Згідно Методики для кожного типу та виду НС залежно від їх рівня визначаються основні види збитків та показники, на підставі яких розраховуються збитки. Для визначення величини кожного показника має збиратися відповідна інформація. Так, для розрахунку збитків від руйнування та пошкодження основних фондів, знищення майна та продукції необхідна інформація про: руйнування та пошкодження основних фондів виробничого та невиробничого призначення; втрати готової промислової продукції, готової та незібраної сільськогосподарської продукції та інша. Як показує аналіз, оперативне збирання інформації з великих площ, до яких відносяться знищені вогнем сільськогосподарські поля, значні частини лісових масивів (пожежі в Чорнобильській зоні у 2020 р., на Луганщині у 2020 р. тощо), а також з об'єктів техногенних НС, що можуть бути небезпечними для життя людини тривалий час (знищений пожежею арсенал з боєприпасами смт. Калинівка, Вінницька обл., 2017 р., тривала пожежа на нафтосховищі с. Крячки, Васильківського району, Київської області, 2015 р. тощо) було ускладнено внаслідок відсутності засобів оперативного збирання інформації.

Водночас уже існує світовий досвід використання безпілотних літальних апаратів (далі – БпЛА) для оперативного збирання інформації та всебічного об'єктивного оцінювання збитків від НС. Його впровадження в Україні вимагає, у

першу чергу, дослідження та виявлення особливостей і тенденцій у застосуванні безпілотної авіації країнами світу в інтересах збору інформації для оцінювання збитків від НС.

Це питання залишається актуальним, незважаючи на те, що низка типів квадрокоптерів допущена до експлуатації в ДСНС. Аналогічні заходи здійснено в інших державних структурах. Таким чином, з одного боку існує ряд різноманітних БпЛА, а з іншого боку не визначені підходи до їх застосування на теренах України для оперативного збирання інформації в інтересах всебічного та об'єктивного оцінювання збитків від НС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Окремими питаннями, пов'язаними з дослідженнями щодо застосування БпЛА для вирішення завдань, пов'язаних з оцінюванням збитків від НС, займалася низка зарубіжних фахівців і організацій.

Так, Сміт М. у [3] висвітлив питання застосування безпілотників для дослідження пошкоджених реакторів на атомній електростанції «Фукусіма» унаслідок цунамі в Японії у 2011 р. Р. Мітчелл у [4] зацентрував увагу на проблемних питаннях застосування безпілотників для визначення пошкоджень і збитків на атомній електростанції «Фукусіма» унаслідок цунамі в Японії у 2011 р.

У дослідницькому звіті [5], спільно підготовленим за результатами проведених досліджень Американським Червоним Хрестом і низкою зацікавлених компаній, висвітлені питання місій безпілотників під час ліквідації НС і оцінюванні збитків від них.

Авторський колектив у складі К. Кіма, П. Панта і Е. Ямасіти у [6] дослідив технології та проблеми, пов'язані із використанням БпЛА у стихійних лихах, для картографування та оцінювання збитків унаслідок НС, а також продемонстрував використання експертних систем і передових технологій для оцінки збитку, нанесеного тропічним

штормом «Ізель» з використанням безпілотників, що оперативно надавали видову інформацію.

У [7] висвітлена діяльність дослідників з Університету Карнегі-Меллона (США), які працюють над способами використання даних від БпЛА для швидкого оцінювання збитків внаслідок НС.

Центр пошуку та порятунку за допомогою роботів (CRASAR) у [8] навів результати досліджень, пов'язаних з використанням безпілотників для оцінювання збитків у наслідку повені.

Ф. Грінвуд, Ер. Л. Нельсон і П. Г. Гріноу в [9] дослідили особливості використання безпілотників для оцінювання збитків після ураганів «Харві» і «Ірма» (США).

Магід К. у [10] зацентрувала увагу на чотирьох основних варіантах застосування БпЛА у НС: для виявлення зон лиха, для допомоги в ліквідації НС, для пошук і порятунку постраждалих і оцінювання збитків від НС.

Дж. Мулакала дослідив у [11] питання використання страховими компаніями технології БпЛА для швидкого розгляду претензій щодо оцінювання нанесених збитків.

Проведений аналіз іноземних джерел дозволяє зробити висновок про наявність більше адресних досліджень досвіду і технологій застосування БпЛА для оцінювання збитків від НС, ніж системних, що обумовлено відносною доступністю безпілотних технологій.

В Україні досвіду використання БпЛА для оцінювання збитків від НС фактично не має, Кафедра авіації та авіаційного пошуку і рятування Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту здійснює такі дослідження щодо сфери цивільного захисту в межах НДР «Обґрунтування застосування безпілотних авіаційних систем у сфері цивільного захисту (шифр «БАС-застосування»)» (держ. реєстр. № 0120U100211).

Мета статті. Визначити особливості та тенденції щодо застосування безпілотної авіації в інтересах оцінювання збитків від

НС у зарубіжних країнах на системних засадах.

Виклад основного матеріалу. Оцінка збитків і потреб від наслідків НС є попередньою умовою для подальшої розробки заходів щодо відновлення втраченої інфраструктури після НС. Уряд постраждалої країни, як правило, ухвалює рішення яку методологію слід використовувати для первісної оцінки збитків і визначення потреб. При цьому, оцінка збитків від НС повинна бути сформована таким чином, щоб визначити весь склад причинно-наслідкових зав'язків з моменту виникнення НС до появи збитків у об'єктів економіки та фізичних осіб. Вона регламентує процес визначення збитків по кожній окремо взятій НС, незалежно від її масштабу, характеру прояву і ступеня тяжкості [12].

За об'єктом впливу негативних факторів розрізняють такі види збитків від НС: шкода життю і здоров'ю конкретних людей (медико-біологічний), що визначається конкретними порушеннями їх здоров'я, які призводять до деякої їхньої спільності (населення країни, суспільства) та соціальних втрат і, у підсумку, скорочення середньої очікуваної тривалості життя; збитки соціально-економічної системи (соціально-економічний), що проявляється у втраті того чи іншого виду власності, витратах на переселення людей, виплатах компенсацій постраждалим, упущеній вигоді від неукладення та розірваних контрактів, порушенні процесу нормальної господарської діяльності, погіршенні умов життєдіяльності людей і т.д.; збитки державі (соціально-політичний); шкода природному середовищу (екологічний), під яким розуміється погіршення природного середовища або витрати на його відновлення, втрати народногосподарської цінності територій або витрати на її реабілітацію [13-17].

Усі без винятку НС техногенного, природного та соціально-політичного характеру завдають або можуть завдати шкоди інтересам особи, суспільства і держави, що виражається в низці видів збитків: шкода життю і здоров'ю

населення; економічний збиток, пов'язаний з матеріальними втратами, викликаними ушкодженнями та руйнуваннями виробничих і невиробничих об'єктів, порушенням їх функціонування, витратами на попередження та ліквідацію НС; екологічна шкода (шкода природному середовищу); інші види збитків, у тому числі культурним цінностям, моральні тощо.

За даними, наведеними в звіті Європейської комісії, тільки в період 2005-2014 рр. 1,7 млрд людей постраждали від стихійних лих і техногенних катастроф, у результаті чого збитки склали \$1,4 трлн. Сумарний збиток від повеней у США у 2015 р. склав майже \$ 3 млрд., а в Росії збиток від пожеж у 2015 р. – сягнув € 56 млрд.

При виникненні НС, як правило, вживаються заходи щодо організації спостереження за динамікою її розгортання (пожежа, обрушення будинків тощо), а також проводиться прогнозування очікуваних розмірів збитків від НС. Організація спостереження за динамікою розгортання НС, а також підготовка та подання прогнозних даних за очікуваними розмірами збитків від НС ґрунтуються на вихідних даних. Оцінювання збитків по кожному сектору (напрямку) проводиться за допомогою зіставлення ситуації, що існувала до лиха, з ситуацією, що склалася після.

Для оцінювання збитків від НС використовується низка методів збору інформації. У відомому міжнародному методичному посібнику «Оцінювання втрат, збитків і потреб після надзвичайних ситуацій. Том А. Керівництво» (2013), розробленому Глобальним фондом по зменшенню небезпеки лих і відновлення (GFDRR), в якості вихідної інформації для оцінки збитків від НС вказуються лише супутникові знімки [12].

Технології з використанням безпілотної авіації можуть значно доповнити існуючі системи, щоб виконувати завдання швидше, ефективніше, з меншими витратами і в багатьох випадках більш безпечно, ніж традиційні методи.

Використання БпЛА для оперативного реагування на НС і ліквідації наслідків катастроф є дуже корисним, оскільки вони можуть автономно виконувати такі завдання, як: обстеження пошкоджень; виявлення зниклих безвісти людей; ретрансляція стільникових мереж; досягнення віддалених районів, недоступних по суші та воді; доставка предметів першої необхідності тощо. Згідно з традиційними методами, усі ці завдання, деякі навіть небезпечні, виконуються людьми, споживаючи в більшій кількості критично важливі матеріальні та часові ресурси.

Застосування БпЛА може бути актуальним при проведенні операцій, пов'язаних з радіаційним забрудненням, повеннями, зсувами, коли використання наземного транспорту є небезпечним або взагалі неможливим. Використання безпілотників для оцінювання ситуації дозволяє повністю замінити польоти пілотованих повітряних суден, оскільки БпЛА мають невеликі розміри та мають функцію зависання, що дозволяє їм підбиратися досить близько до зон та об'єктів ураження і збирати точні дані, необхідні для об'єктивного аналізу потенційних небезпек і масштабів руйнувань.

На теперішній час використання інформації від видової (прим. з формуванням зображення) і параметричної апаратури, що встановлюється на борту БпЛА, дозволяє оцінювати збитки від аварій на промислових підприємствах, залізничному транспорті при перевезенні небезпечних вантажів, терористичних актів, визначати ступінь забруднення великих територій хімічними або ядерними відходами тощо. БпЛА, за досвідом зарубіжних країн, є сучасним, найдоступнішим і оперативним джерелом актуальної просторової інформації. Результати оцінки збитків з використанням БпЛА можуть успішно використовуватися також в інтересах страхових компаній.

Так, у 2011 р. під час цунамі в Японії було пошкоджено будівлю атомної станції Фукусіма. Значна кількість французьких і американських БпЛА була використана (рис.1) для оцінювання ситуації та визначення ступеня руйнування станції, а також для визначення необхідних першочергових заходів. Різноманітні безпілотники брали участь у моніторингу радіаційної загрози, а також стежили за поширенням радіоактивних речовин на інші території [3].



Рисунок 1 – Застосування БпЛА для оцінки збитків на станції Фукусіма [3, 4]

Команда з декількох європейських університетів під назвою NIFTI використовувала два невеликих безпілотники з поворотним крилом для оцінювання пошкоджень соборів у Мірандолі (Італія) після землетрусу в

2012 р., що було неможливо зробити з використанням пілотованої авіації [5].

БпЛА були також використані для збору інформації з метою визначення збитків від тайфуну «Хайян» (2013) [6], що спустошив кілька філіппінських островів і став

величезною бідою в історії країни. Безпілотники використовувалися як для усвідомлення ситуації, так і для ідентифікації та кількісного оцінювання збитків, особливо коли місця інцидентів були недоступні через ряд різноманітних перешкод, що з'явилися внаслідок супертайфуну.

Після землетрусу 2015 р. у Непалі [18] безпілотники допомагали створювати 3D-карти та моделі, з використанням програмного забезпечення для обробки зображень для оцінювання стану пошкоджень, здійснювали пошукові та евакуаційні місії, а також надавали інформацію в інтересах реконструювання зруйнованих будівель.

Дослідники з Університету Карнегі-Меллона (США), які працюють над способами використання даних від БпЛА для швидкого оцінювання збитків внаслідок НС, використовуючи «штучний інтелект», розробили спосіб автоматичної ідентифікації стану будівлі з визначенням ступеня завданих пошкоджень. За допомогою такого способу можна визначати (рис. 2), чи є пошкодження легкими (жовтий колір) або значними (помаранчевий колір), або будівлю зруйновано [7].

На відміну від супутникових знімків, які не забезпечують достатньої деталізації та показують пошкодження тільки з однієї точки зору – вертикальної, безпілотники можуть збирати інформацію великим планом з різних кутів і точок огляду.



Рисунок 2 – Застосування даних БпЛА для оцінювання ступеня завданих пошкоджень [7]



Рисунок 3 – Застосування для БпЛА WingtraOne для оцінювання наслідків пожеж у Каліфорнії (США) [8]

Особливістю запропонованого способу оцінювання завданих під час НС пошкоджень є те, що використовуватися можуть навіть відеоролики, що зняті аматорськими безпілотниками і є доступними в соціальних мережах. Для оцінювання найбільш постраждалих районів від лісових пожеж в Каліфорнії, що мали місце у 2020 р., збір даних з повітря проводився БпЛА WingtraOne (рис. 3), отримані відомості з якого були використані для створення 2D і 3D карт місцевості [8].

Картування не тільки допомагає пошуково-рятувальним роботам та оцінюванню завданих унаслідок НС збитків, але і дає можливість оперативно визначити, що зруйновано і які небезпеки для людей необхідно усунути.

У 2016 р. БпЛА використовувались для збору даних для оцінювання ситуації та збитків під час повеней в Луїзіані і Техасі [19].

Слід зазначити, що у США використання БпЛА для реагування на стихійні лиха почалося з 2005 р., коли Центр роботизованого пошуку і порятунку Техаського університету А & М (CRASAR) при Університеті Південної Флориди став використовувати невеликі безпілотники з нерухомим крилом і вертольотом [9].

За допомогою безпілотників відбувалось оцінювання збитків від смертоносного тропічного циклону «Ідай» у Мозамбіку в 2019 р. (рис. 4). Дані від БпЛА були також використані

рятувальниками для нанесення на карту постраждалих районів і надання логістичної інформації. Завдяки безпілотникам вдалося скласти докладні карти дванадцяти міст у провінції Софала, що постраждали від циклону «Ідай» вночі з 14 на 15 березня 2019 р. [20].

Після землетрусу силою 7,8 балів, що зруйнував Непал у 2015 р., безпілотники використовувались для допомоги в пошуково-рятувальних операціях, збору зображень щодо наслідків НС, створення 3D-карт постраждалих районів і оцінювання збитків та їхніх масштабів [21].



Рисунок 4 – Застосування безпілотників для оцінювання наслідків циклону «Ідай» у Мозамбіку в 2019 р. [20]

У Китаї, у зв'язку з посиленням глобальних змін клімату та збільшенням ризиків стихійних лих, уряд приділяє більше уваги попередженню катастроф і комплексному пом'якшенню наслідків від них, переходячи від зменшення втрат до зменшення ризиків щодо їх виникнення. Загальнодержавна система безпілотної авіації використовується для моніторингу, зв'язку під час стихійних лих та оцінювання збитків після них [22].

Французькі пожежні використали безпілотники для оцінювання збитків, завданих пожежею собору Нотр Дам у Парижі після пожежі [23].

Актуальним є застосування безпілотної авіації для оцінювання збитків, обумовлених НС, у Російській Федерації. Так, наприклад, у 2010 р. БпЛА використовувались російськими рятувальниками для моніторингу та оцінювання збитків від пожеж у Московській області [10], у 2013 р. – від паводкової ситуації в Хабаровському краї [24], у 2015 р. – від ліквідації наслідків НС, пов'язаних з вибухом боєприпасів на 99

арсеналі Міноборони РФ у с. Урман Іглинського району [25].

Активне застосування безпілотної авіації для оцінювання збитків від НС державними структурами створило підстави для страхових компаній щодо використання БпЛА у своїй діяльності. Безпілотники можуть відігравати важливу роль на всіх етапах життєвого циклу страхування. Це можливо завдяки певним особливостям, які корисні безпосередньо для самих страховиків. БпЛА невеликі, ними легко маневрувати і для запуску не потрібна злітно-посадкова смуга в аеропорту. Таким чином, вони набагато дешевші у використанні, ніж пілотовані літаки. Окрім того, безпілотники не потребують пілота на борту, тому вони можуть літати в небезпечних для людини місцях та робити оперативний обліт великої за розмірами території [26].

Безпілотники можна використовувати для збору даних до моменту страхування ризику, для допомоги у профілактичному обслуговуванні та оцінювання збитків після НС. Окрім того, що на використанні

безпілотників можна заощадити витрати, є й інші переваги: спеціалісти з оцінювання претензій можуть швидше закінчити свою роботу, використовуючи БПЛА для огляду будівлі; у разі лиха чи катастрофи безпілотник може оперативно надати зворотний зв'язок про масштаби пошкоджень задовго до того, як об'єкт стане безпечним чи доступним; час розгляду претензій може бути зменшено тощо.

У рамках страхування БПЛА в основному використовуються для перевірки дахів житлових приміщень, комерційних інспекцій дахів та оцінювання стану покрівлі [11]. Безпілотники, мобільні додатки і технології «штучного інтелекту» прискорюють процес врегулювання страхових випадків, пов'язаних з нерухомим майном або автомобілями. Так, як приклад, у США майже 40% автостраховиків не відправляють своїх представників для оцінювання невеликого збитку, а направляють безпілотники замість людей. Після урагану в Алабамі БПЛА були використані компанією Liberty Mutual Insurance для перевірки дахів будинків та оцінювання нанесених збитків, що дозволило через тиждень зробити страхові виплатити постраждалим власникам житла [27, 28].

Мінуси використання дронів для страхових випадків полягають у тому, що компанії не можуть використовувати їх для оцінювання будь-якої власності поблизу аеропортів або військових баз.

Висновки та напрями подальших досліджень. Використання інформації від видової та параметричної апаратури, що встановлюється на борту БПЛА, дозволяє оперативно проводити оцінювання збитків від аварій на промислових підприємствах, залізничних катастроф з небезпечними вантажами, терористичних актів, визначати ступінь забруднення великих територій хімічними або ядерними відходами, визначати збитки від лісових пожеж тощо. БПЛА, за досвідом зарубіжних країн, є сучасним найдоступнішим, оперативним і об'єктивним джерелом актуальної просторової інформації.

Напрямами подальших досліджень слід вважати: дослідження сучасного досвіду і світових тенденцій щодо застосування безпілотної авіації провідними країнами світу для прогнозування НС і в ході ліквідації НС; дослідження способів протидії аматорським безпілотникам, що заважають рятувальникам під час ліквідації НС тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інформаційно-аналітична довідка про виникнення НС в Україні у 2020 році. URL : <https://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-za-kvartal/119288.html> (дата звернення 12.02.2021).
2. Про затвердження Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру: постанова КМ України від 15.02.2002 № 175 (із змінами). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/175-2002-%D0%BF#Text> (дата звернення 12.02.2021).
3. Smith M. Flying drone peers into Japan's damaged reactors. URL : <http://edition.cnn.com/2011/WORLD/asiapcf/04/10/japan.nuclear.reactors/index.html> (дата звернення 12.02.2021).
4. Mitchell R. Into the Fukushima Reactor: A One-Way Journey for Drones. URL: <https://www.allaboutcircuits.com/news/one-way-journey-for-drones-the-fukushima-incident/> (дата звернення 12.02.2021).
5. Drones for Disaster Response and Relief Operations. URL : <https://www.issuelab.org/resources/21683/21683.pdf> (дата звернення : 12.02.2021).
6. Kim K., Pant P., Yamashita E. Disasters, drones, and crowd-sourced damage assessment. URL: http://web.mit.edu/cron/project/CUPUM2015/proceedings/Content/pss/339_kim_h.pdf (дата звернення : 12.02.2021).
7. Amateur Drone Videos Could Aid in Natural Disaster Damage Assessment. URL: <https://www.cmu.edu/news/stories/archives/2020/august/drones-hurricane-damage.html> (дата звернення : 12.02.2021).

8. California police adopt WingtraOne drone for wildfire damage assessment <https://www.suasnews.com/2020/11/california-police-adopt-wingtraone-drone-for-wildfire-damage-assessment/> (дата звернення : 12.02.2021).
9. Greenwood F., Nelson Er. L., Greenough P. G. URL : Flying into the hurricane: A case study of UAV use in damage assessment during the 2017 hurricanes in Texas and Florida (дата звернення : 12.02.2021).
10. Марид К. Дроны, которые спасают жизни. URL : <http://protrud.info/articles/oborudovanie-i-tehnologii/drony-kotorye-spasayut-zhizni.php> (дата звернення 12.02.2021).
11. Mulakala Jay. How Insurance Companies Are Using Drone Technology To Quickly Address Claims. URL : <https://www.linkedin.com/pulse/how-insurance-companies-using-drone-technology-quickly-jay-mulakala> (дата звернення 10.03.2021).
12. Оценка ущерба, убытков и потребностей после чрезвычайных ситуаций. Том А. Руководство. URL : <https://www.gfdrr.org/sites/default/files/PDNA/RUS.pdf> (дата звернення: 12.02.2021).
13. Münch M. Classification of Emergency Scenarios. URL : <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1108/1108.2634.pdf> (дата звернення 12.02.2021).
14. PART I General aspects. 2. The nature of emergencies and disasters. URL : https://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/emergencies/em2002chap2.pdf (дата звернення 12.02.2021).
15. FEMA. Preliminary Damage Assessment Guide. <https://www.fema.gov/disasters/preliminary-damage-assessment-reports/guide> (дата звернення 12.02.2021).
16. Damage Assessment Operations Manual A Guide to Assessing Damage and Impact April 5, 2016. URL: https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/Damage_Assessment_Manual_April_62016.pdf (дата звернення 12.02.2021).
17. Anagnostopoulos S., Moretti M., Panoutsopoulou M., Panagiotopoulou D., Thoma T. Post-earthquake damage and usability assessment of Buildings: further development and applications. Final report. URL: <https://ec.europa.eu/echo/sites/echo-site/files/peadab.pdf> (дата звернення 12.02.2021).
18. 5 Ways Drones are Being Used for Disaster Relief. URL: <https://safetymanagement.eku.edu/blog/5-ways-drones-are-being-used-for-disaster-relief/pdf> (дата звернення 12.02.2021).
19. CRASAR. Missions, Choice of sUAS Platforms, and Manpower for Flying Floods: Lessons learned from our deployment with Fort Bend County May 30-31. URL : <http://crasar.org/missions-choice-of-suas-platforms-and-manpower-for-flying-floods-lessons-learned-from-our-deployment-with-fort-bend-county-may-30-31-2016/> (дата звернення 12.02.2021).
20. Drone collaboration thrives in Mozambique. URL: <https://drones.wfp.org/updates/drone-collaboration-thrives-mozambique> (дата звернення 12.02.2021).
21. How Drones Aid in Disaster Response. URL : <https://www.precisionhawk.com/blog/how-drones-aid-in-disaster-response> (дата звернення 12.02.2021).
22. Kazakhstan and China: exchange of experience on using drones to reduce disaster risk in the best interest of children. URL : <https://www.unicef.org/eca/press-releases/kazakhstan-and-china-exchange-experience-using-drones-reduce-disaster-risk-best> (дата звернення 12.02.2021).
23. Drones used to show damage done by Notre Dame fire. URL: <https://www.commercialdroneprofessional.com/drone-footage-used-to-show-damage-done-by-notre-dame-fire/> (дата звернення 12.02.2021).
24. Воробаев Н. П. Применение беспилотных летательных аппаратов в интересах МЧС России. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov-v-interesah-mchs-rossii> (дата звернення 12.02.2021).
25. Беспилотники на вооружении «чрезвычайного ведомства» Башкортостана. URL: <https://02.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/intervyu/1483235> (дата звернення 10.03.2021).
26. Bonner M. How Insurers Are Using Drones. URL: <https://www.thebalancesmb.com/how-drones-change-insurance-industry-4125242> (дата звернення 10.03.2021).
27. Jordan Er. Drones Help Insurance Companies Check Windstorm Damage in Iowa. URL: <https://www.insurancejournal.com/news/midwest/2020/08/31/580856.htm> (дата звернення: 10.03.2021).
28. That Drone Hovering Over Your Home? It's the Insurance Inspector. URL: <https://www.wsj.com/articles/that-drone-hovering-over-your-home-its-the-insurance-inspector-1501839002> (дата звернення 10.03.2021).

REFERENCES

1. Informatsiino – analitychna dovidka pro vynyknennia NS v Ukraini u 2020 rotsi [Information and analytical report on the occurrence of emergencies in Ukraine in 2020.]. Retrieved from <https://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-zakvartal/119288.html> [in Ukrainian].
2. Pro zatverdzhennia Metodyky otsinky zbytkiv vid naslidkiv nadzvychainykh sytuatsii tekhnogennoho i pryrodnoho kharakteru [About the statement of the Methodology of an estimation of losses from consequences of emergencies of technogenic and natural character]: Postanova KM Ukrainy vid 15.02.2002 № 175 (iz zminamy). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/175-2002-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].

3. Smith M. Flying drone peers into Japan's damaged reactors. Retrieved from <http://edition.cnn.com/2011/WORLD/asiapcf/04/10/japan.nuclear.reactors/index.html> [in English].
4. Mitchell R. Into the Fukushima Reactor: A One-Way Journey for Drones. Retrieved from <https://www.allaboutcircuits.com/news/one-way-journey-for-drones-the-fukushima-incident/> [in English].
5. Drones for Disaster Response and Relief Operations. Retrieved from: <https://www.issuelab.org/resources/21683/21683.pdf> [in English].
6. Kim K., Pant P., Yamashita E. Disasters, drones, and crowd-sourced damage assessment. Retrieved from http://web.mit.edu/cron/project/CUPUM2015/proceedings/Content/pss/339_kim_h.pdf [in English].
7. Amateur Drone Videos Could Aid in Natural Disaster Damage Assessment. Retrieved from <https://www.cmu.edu/news/stories/archives/2020/august/drones-hurricane-damage.html> [in English].
8. California police adopt WingtraOne drone for wildfire damage assessment <https://www.suasnews.com/2020/11/california-police-adopt-wingtraone-drone-for-wildfire-damage-assessment/>.
9. Greenwood F., Nelson Er. L., Greenough P. G. Retrieved from Flying into the hurricane: A case study of UAV use in damage assessment during the 2017 hurricanes in Texas and Florida [in English].
10. Magid K. Drony, kotorye spasajut zhizni [Drones that save lives.]. Retrieved from <http://protrud.info/articles/oborudovanie-i-tehnologii/drony-kotorye-spasajut-zhizni.php> [in Russian].
11. Mulakala Jay. How Insurance Companies Are Using Drone Technology To Quickly Address Claims. Retrieved from <https://www.linkedin.com/pulse/how-insurance-companies-using-drone-technology-quickly-jay-mulakala> [in English].
12. Ocenka ushherba, ubytkov i potrebnostej posle chrezvychajnyh situacij [Assessment of damage, loss and needs after emergencies]. Tom A. Rukovodstvo. Retrieved from <https://www.gfdrr.org/sites/default/files/PDNA/RUS.pdf> [in Russian].
13. Münch M. Classification of Emergency Scenarios. Retrieved from <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1108/1108.2634.pdf> [in English].
14. PART I General aspects. 2. The nature of emergencies and disasters. Retrieved from https://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/emergencies/em2002chap2.pdf.
15. FEMA. Preliminary Damage Assessment Guide. Retrieved from <https://www.fema.gov/disasters/preliminary-damage-assessment-reports/guide> [in English].
16. Damage Assessment Operations Manual A Guide to Assessing Damage and Impact April 5, 2016. Retrieved from https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/Damage_Assessment_Manual_April_62016.pdf [in English].
17. Anagnostopoulos S., Moretti M., Panoutsopoulou M., Panagiotopoulou D., Thoma T. Post-earthquake damage and usability assessment of Buildings: further development and applications. Final report. Retrieved from <https://ec.europa.eu/echo/sites/echo-site/files/peadab.pdf> [in English].
18. 5 Ways Drones are Being Used for Disaster Relief. Retrieved from <https://safetymanagement.eku.edu/blog/5-ways-drones-are-being-used-for-disaster-relief/pdf> [in English].
19. CRASAR. Missions, Choice of sUAS Platforms, and Manpower for Flying Floods: Lessons learned from our deployment with Fort Bend County May 30-31. Retrieved from <http://crasar.org/missions-choice-of-suas-platforms-and-manpower-for-flying-floods-lessons-learned-from-our-deployment-with-fort-bend-county-may-30-31-2016/> [in English].
20. Drone collaboration thrives in Mozambique. Retrieved from <https://drones.wfp.org/updates/drone-collaboration-thrives-mozambique> [in English].
21. How Drones Aid in Disaster Response. Retrieved from <https://www.precisionhawk.com/blog/how-drones-aid-in-disaster-response> [in English].
22. Kazakhstan and China: exchange of experience on using drones to reduce disaster risk in the best interest of children. Retrieved from <https://www.unicef.org/eca/press-releases/kazakhstan-and-china-exchange-experience-using-drones-reduce-disaster-risk-best> [in English].
23. Drones used to show damage done by Notre Dame fire. Retrieved from <https://www.commercialdroneprofessional.com/drone-footage-used-to-show-damage-done-by-notre-dame-fire/> [in English].
24. Voropaev N. P. Primenenie bespilotnyh letatel'nyh apparatov v interesah MChS Rossii [The use of unmanned aerial vehicles in the interests of the Russian Emergencies Ministry.]. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov-v-interesah-mchs-rossii> [in Russian].
25. Bespilotniki na vooruzhenii «chrezvychajnogo vedomstva» Bashkortostana [Unmanned aerial vehicles in service with the "emergency department" of Bashkortostan]. Retrieved from <https://02.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/intervyu/1483235> [in Russian].
26. Bonner M. How Insurers Are Using Drones. Retrieved from <https://www.thebalancesmb.com/how-drones-change-insurance-industry-4125242> [in English].
27. Jordan Er. Drones Help Insurance Companies Check Windstorm Damage in Iowa. Retrieved from <https://www.insurancejournal.com/news/midwest/2020/08/31/580856.html> [in English].
28. That Drone Hovering Over Your Home? It's the Insurance Inspector. Retrieved from <https://www.wsj.com/articles/that-drone-hovering-over-your-home-its-the-insurance-inspector-1501839002> [in English].

FEATURES OF APPLICATION OF UNMANNED AVIATION BY FOREIGN COUNTRIES IN THE INTEREST OF DAMAGE ASSESSMENT FROM EMERGENCY SITUATIONS

S. Mosov, V. Khyzhnyak, A. Lytovchenko, D. Yadchenko

Institute of Public Administration and Research on Civil Defense, Ukraine

KEYWORDS

emergency,
unmanned aerial
vehicle, loss
assessment

ANNOTATION

The article examines the experience, features, and trends of the use of unmanned aviation by foreign states in the interest of assessing the losses caused to economic objects and individuals as a result of emergencies of different origins, which is an urgent issue for Ukraine. The purpose of the article was to identify the features, and trends in the use of unmanned aircraft in foreign countries in the interest of assessing losses from emergencies. As a result of research on the object of the impact of negative factors, the types of damage from emergencies, which are the subject of assessment using the unmanned aerial vehicles in foreign countries, were determined: harm to the life and health of specific people (medical and biological), which is determined by specific violations of their health, leading to some of them. The community (population of the country, society) to social losses and, as a result, as a result, a reduction in the average life expectancy; losses to the socioeconomic system (socioeconomic), which manifests itself in the loss of one or another type of property, costs of relocating people, payments of compensation to victims, lost profits from non-concluding and broken contracts, disruption of the normal economic activity, deterioration of living conditions of people, etc.; losses to the state (sociopolitical); environmental damage (ecological), which means the deterioration of the natural environment or the cost of its restoration, the loss of the national economic value of territories or the cost of its rehabilitation. The results of the studies made it is possible to draw the following conclusions: the use of information from the species and parametric equipment, which is installed onboard the drones, allows foreign countries to quickly assess losses from accidents at industrial enterprises, railway accidents with dangerous goods, terrorist acts to determine the degree of pollution of large areas with chemical or nuclear waste, determine losses from forest fires, etc. Unmanned aerial vehicles, according to the experience of foreign countries, are a modern, accessible, operational, and objective source of relevant spatial information. Attention is focused on the fact that the use of unmanned aircraft for assessing damage from emergencies by government agencies has created a basis for insurance companies to use drones in their activities. It is proposed to consider the directions for further research: research of modern experience and global trends in the use of unmanned aviation by the leading countries of the world for forecasting and in the course of emergency response; study of ways to counter amateur drones that interfere with rescuers during emergency response.

УДК 614.841.45

ОЦІНЮВАННЯ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ЗДАТНОСТІ ВЕРТИКАЛЬНИХ ВОГНЕЗАХИСНИХ ЕКРАНІВ ДЛЯ НЕСУЧИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.1.44-55>

Новак С.В.¹, ORCID iD [0000-0001-7087-318X](https://orcid.org/0000-0001-7087-318X)

Дріжд В.Л.², ORCID iD [0000-0003-2507-7007](https://orcid.org/0000-0003-2507-7007)

Добростан О.В.^{1*}, ORCID iD [0000-0001-8908-0729](https://orcid.org/0000-0001-8908-0729)

*E-mail: dob2009@ukr.net

¹Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна

²Наукове-виробниче підприємство «Спецматеріали», Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 05.05.2021

Пройшла рецензування: 24.05.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

Ключові слова: гранична температура, вертикальний вогнезахисний екран, вогнезахисна здатність, вогнестійкість захищеної конструкції, клас вогнестійкості, несуча будівельна конструкція

АНОТАЦІЯ

Застосовна на європейському рівні процедура оцінювання вогнезахисної здатності виробів і систем, призначених для вогнезахисту будівельних конструкцій, має невизначеності і вимагає уточнення. Через це актуальним є дослідження, спрямоване на її удосконалення та розвиток. В статті визначено експериментальні та розрахункові складові удосконаленої процедури оцінювання вогнезахисної здатності вертикальних екранів, призначених для вогнезахисту несучих будівельних конструкцій, виготовлених зі сталі, залізобетону, сталезалізобетону або деревини. Обґрунтовано застосування в розрахунковій складовій цієї процедури двох альтернативних підходів, в одному з яких результати вимірювання температури в порожнині застосовують в якості граничної умови при розв'язанні теплотехнічної задачі, в іншому – за результатами вимірювання температури в порожнині і на поверхні сталевих колон шляхом розв'язання оберненої задачі теплопровідності визначають ефективний коефіцієнт теплопровідності вертикального вогнезахисного екрана. Показано, що запропонована процедура дозволяє визначати параметри несучих будівельних конструкцій, зокрема коефіцієнт поперечного перерізу сталевих конструкцій, і товщину вертикального вогнезахисного екрану, які забезпечують нормовані класи вогнестійкості цих конструкцій.

Постановка проблеми. Для забезпечення виконання Основної вимоги «Безпечність у разі пожежі» [1] застосовують вироби і системи для вогнезахисту будівельних конструкцій. До цієї категорії виробів і систем належать горизонтальні вогнезахисні екрани, вертикальні вогнезахисні екрани, а також вогнезахисні покриття, плити, штукатурки

та облицювання [2]. Такі вироби і системи призначено для підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій, які вони захищають, і вони не мають власної вогнестійкості. Класифікація за вогнестійкістю стосується захищеної будівельної конструкції, включаючи її вогнезахист, а не самих виробів і систем для вогнезахисту.

Вогнестійкість захищених будівельних конструкцій встановлюють користуючись даними, отриманими під час випробувань з визначення впливу застосованих виробів і систем для вогнезахисту на вогнестійкість будівельних конструкцій, які вони захищають, і відповідними методами розрахунку, які регламентовано Європейськими будівельними кодами [3–9].

Застосовна на європейському рівні процедура оцінювання вогнезахисної здатності виробів і систем, призначених для вогнезахисту будівельних конструкцій, має невизначеності і вимагає уточнення. Через це актуальним є дослідження, спрямоване на удосконалення та розвиток зазначеної процедури оцінювання, зокрема для вертикальних екранів, призначених для вогнезахисту несучих будівельних конструкцій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для оцінювання вогнезахисної здатності виробів і систем, призначених для вогнезахисту будівельних конструкцій, застосовують європейські методи випробувань, наведені в стандартах серії EN 13381 [10–18], і розрахункові методи, які регламентовано Європейськими будівельними кодами [3–9]. Ці методи випробувань використовують для визначення впливу застосованих виробів і систем для вогнезахисту на вогнестійкість будівельних конструкцій. Випробування, які потрібно провести для визначення цього впливу, залежать від [2]:

– виду вогнезахисного засобу, яким можуть бути:

- а) горизонтальні вогнезахисні екрани;
- б) вертикальні вогнезахисні екрани;
- в) вогнезахисні покриття, плити, штукатурки та облицювання;

– виду будівельних конструкцій, які підлягають вогнезахисту:

- а) сталеві конструкції;
- б) залізобетонні конструкції;
- в) сталезалізобетонні конструкції;
- г) дерев'яні конструкції;
- д) алюмінієві конструкції.

Загальним принципом для цих випробувань є вогневий вплив на вироби і системи для вогнезахисту за стандартним

температурним режимом згідно з EN 1363-1 [19]. Для реактивних матеріалів, що спучуються, можуть знадобитися додаткові випробування за режиму повільного нагрівання [2].

Випробування з визначення впливу горизонтальних вогнезахисних екранів на вогнестійкість горизонтальних будівельних конструкцій проводять згідно з EN 13381-1 [10]. Таким вогнезахисним екраном є будь-який горизонтальний екран або покриття стелі, що не являє собою частину несучої будівельної конструкції будинку і може складатися з декількох шарів матеріалів, разом з опорним каркасом, підвісками, кріпильними пристроями і теплоізоляційними матеріалами, підвішений до будівельної конструкції або прикріплений безпосередньо до неї, або ж такий, що є самонесучим і кріпиться під будівельною конструкцією.

Вертикальні будівельні конструкції (зазвичай колони), оснащені вогнезахистом у вигляді вертикального вогнезахисного екрана, піддають випробуванню згідно з EN 13381-2 [11]. Вертикальним вогнезахисним екраном є виріб або конструкція, що може складатися з декількох шарів матеріалів, встановлюваний перед вертикальною будівельною конструкцією і призначений для підвищення вогнестійкості цієї конструкції.

У цих двох стандартах у складі зразків для випробування застосовують будівельні конструкції з залізобетону, сталезалізобетону, деревини. В EN 13381-2 [11] також використовують сталеві колони. Упродовж цих випробувань вимірюють температуру обігрівної поверхні будівельної конструкції, яку захищають екраном, а також температуру всередині порожнини, якою є весь вільний простір між необігрівною поверхнею вогнезахисного екрана і обігрівною поверхнею будівельної конструкції (для горизонтального екрану) або затвором печі (для вертикального екрану).

Залізобетонні конструкції (плити, балки, колони), сталеві конструкції (балки і колони двотаврового профілю (I або H) з короткими або довгими полицями, а також

пустотілі колони круглого або прямокутного поперечного перерізу), сталезалізобетонні конструкції (плити), пустотілі сталеві колони, заповнені бетоном, дерев'яні конструкції (перекрыття, стіни, балки, колони), оснащені вогнезахистом у вигляді покриттів, плит, штукатурок або облицювань, що підлягають оцінюванню, піддають випробуванням згідно з EN 13381-3 [12], EN 13381-4 [13], EN 13381-5 [14], EN 13381-6 [15], EN 13381-7 [16], EN 13381-8 [17], EN 13381-9 [18]. При цьому сталеві конструкції випробовують згідно з EN 13381-4 [13] для систем вогнезахисту без реактивних вогнезахисних матеріалів і згідно з EN 13381-8 [17] для систем вогнезахисту з реактивними матеріалами і проводять додаткове випробування згідно з EN 13381-9 [18] у разі, якщо систему вогнезахисту використовують на сталевих перфорованих балках. Упродовж зазначених випробувань вимірюють температуру на поверхні будівельної конструкції, а для деяких конструкцій – також всередині конструкції.

Слід відмітити, що серед розглянутих стандартів серії EN 13381 тільки методи, які наведені для сталевих конструкцій (EN 13381-4 [13], EN 13381-8 [17]), дозволяють безпосередньо визначати вогнезахисну здатність пасивних і реактивних систем вогнезахисту. Результати, отримані за цими методами, охоплюють діапазон значень товщини системи вогнезахисту, діапазон значень площі поперечного перерізу сталевих конструкцій, що характеризується коефіцієнтами поперечного перерізу, діапазон значень проектної температури сталі, а також діапазон забезпечуваних класів вогнестійкості, і можуть безпосередньо використовуватися у будівельному проектуванні. Вони дозволяють для сталевих конструкцій, яка має певні параметри (значення коефіцієнта поперечного перерізу), визначати мінімальну товщину системи вогнезахисту, за якої для нормованого проміжку часу вогневого впливу, який відповідає певному класу вогнестійкості, температура

конструкції не перевищує критичну температуру сталі. Застосування результатів випробувань, отриманих за іншими стандартами цієї серії, не дозволяє безпосередньо визначати мінімальну товщину виробу або системи вогнезахисту та параметри будівельної конструкції, які забезпечують її нормований клас вогнестійкості, і вимагає використання положень відповідних Єврокодів [3–9]. Однак не всі ці Єврокоди встановлюють однозначні положення щодо використання зазначених результатів випробувань для визначення вогнезахисної здатності випробуваних виробів і систем, призначених для вогнезахисту. Зокрема, це стосується вертикальних вогнезахисних екранів, для визначення вогнезахисної здатності яких, як наведено в [2], мають використовуватися Єврокоди, подані в EN 1992-1-2 [4], EN 1993-1-2 [5], EN 1994-1-2 [6] та EN 1995-1-2 [7]. Тому є підстави вважати, що недостатня визначеність процедур оцінювання вогнезахисної здатності виробів і систем для вогнезахисту, зокрема вертикальних вогнезахисних екранів для несучих будівельних конструкцій, обумовлює необхідність проведення дослідження у цьому напрямі.

Мета дослідження. Метою дослідження було удосконалення процедури оцінювання вогнезахисної здатності вертикальних екранів, призначених для вогнезахисту несучих будівельних конструкцій, виготовлених зі сталі, залізобетону, сталезалізобетону або деревини.

Для досягнення цієї мети було поставлено завдання щодо встановлення експериментальних і розрахункових складових процедури, придатної для визначення параметрів несучих будівельних конструкцій і товщини вертикального вогнезахисного екрану, які забезпечують нормовані класи вогнестійкості цих конструкцій.

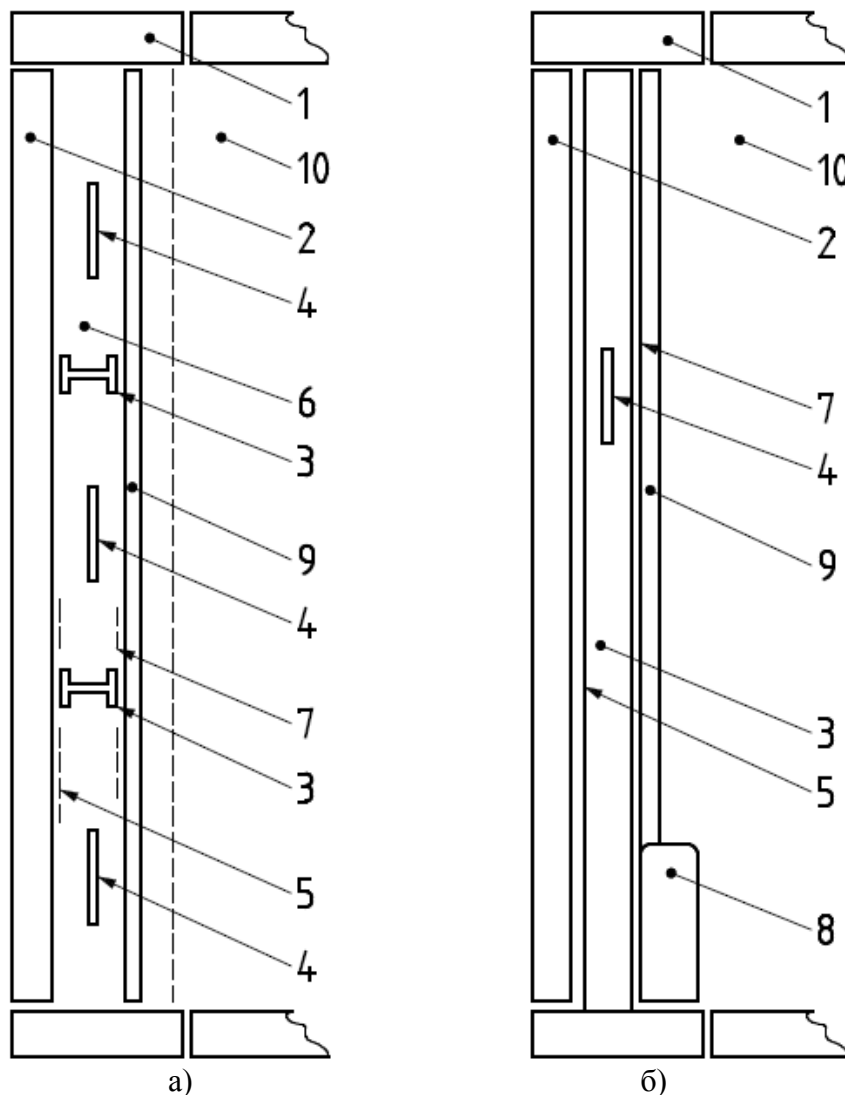
Методи дослідження. Для дослідження застосовано аналітичний метод, який полягає у розгляданні і вивченні положень європейських стандартів EN 13381-2 [11], EN 13381-4 [13] і EN 13381-8 [17], які регламентують методи випробувань для

визначення впливу вертикальних вогнезахисних екранів, пасивних і реактивних систем вогнезахисту сталевих конструкцій на вогнестійкість несучих будівельних конструкцій, а також європейських стандартів (Єврокодів) EN 1991-1-2 [3], EN 1992-1-2 [4], EN 1993-1-2 [5], EN 1994-1-2 [6] та EN 1995-1-2 [7], які встановлюють методи розрахунку на вогнестійкість будівельних конструкцій, виготовлених зі сталі, залізобетону, сталезалізобетону або деревини.

Виклад основного матеріалу. Запропонована за результатами аналітичного дослідження удосконалена процедура оцінювання вогнезахисної здатності вертикальних вогнезахисних екранів має дві складові – експериментальну і розрахункову. В її експериментальній частині проводять вимірювання температури всередині порожнини (у просторі між необігрівною поверхнею вертикального вогнезахисного екрана і затвором печі) і на поверхні будівельної конструкції в умовах вогневого впливу за стандартним температурним режимом. У розрахунковій частині за отриманими експериментальними даними щодо температури в порожнині і на поверхні будівельної конструкції визначають параметри несучих будівельних конструкцій і значення товщини вертикального вогнезахисного екрана, які забезпечують нормовані класи вогнестійкості цих конструкцій.

У експериментальній частині застосовують процедури щодо виготовлення зразків для випробування, встановлення термопар і зразків в печі, вимірювання температури в печі, в порожнині і на поверхні будівельної конструкції. Відповідно до них зразок для випробування у вигляді вертикального вогнезахисного екрана, колону (колони) для випробування і затвор печі монтують на каркасі для випробування, який повинен

мати таку конструкцію, за якої забезпечується його достатня жорсткість, необхідна для конструкції для випробування згідно з EN 1363-1 [19]. Придатною для цієї мети, наприклад, є конструкція каркасу, яка має верхній і бокові елементи, виготовлені із сталевого профілю і захищені бетоном з номінальною густиною не менше ніж 2000 кг/м³. Геометричні розміри каркаса для випробування мають бути такими, щоб у ньому можна було встановити затвор печі, колону (колони) для випробування і зразок вертикального вогнезахисного екрана для випробування разом з опорною конструкцією і забезпечувалася можливість вогневого впливу на конструкцію для випробування з заданими розмірами. Приклад конструкції для випробування наведено на рис. 1 [11]. В цій конструкції застосовано дві сталеві колони і вертикальний вогнезахисний екран, призначений для захисту будівельної конструкції з одного боку. Колони, які передбачено використовувати для випробування, потрібно вибирати з числа стандартних виробів, описаних у 6.4.1 EN 13381-2 [11], і вони мають бути сталевими, залізобетонними, пустотілими сталевими колонами, заповненими бетоном, або ж з деревини. Замість цих стандартних виробів дозволено використовувати інші колони, які застосовують на практиці, згідно з 6.4.2 EN 13381-2 [11]. Застосування змішування різних типів матеріалів для колон в одному випробуванні не допускається. Колони для випробування повинні мати висоту (3000 ± 50) мм і закріплюватися у вертикальній площині в каркасі для випробування зверху і знизу з забезпеченням допуску на розширення. Проміжок між колонами для випробування і вертикальним вогнезахисним екраном має, як правило, відповідати передбачуваному на практиці, але, разом з тим, бути не меншим за 5 мм.



1 – каркас для випробування; 2 – затвор печі; 3 – сталевая колона; 4 – пластинчатый термометр; 5 – проміжок (20 ± 10) мм; 6 – порожнина; 7 – проміжок (> 5 мм); 8 – опорна конструкція; 9 – вертикальний вогнезахисний екран; 10 – піч.

Рисунок 1 – Конструкція для випробування: а) – вигляд зверху; б) – вигляд з боку

Вертикальні вогнезахисні екрани зазвичай являють собою конструкції у вигляді плит або панелей, що складаються з деревини, гіпсу, мінеральної вати або інших подібних матеріалів. Їх потрібно встановлювати перед колоною для випробування згідно з інструкціями, описаними в настанові з монтування. Для вертикального вогнезахисного екрана, призначеного для захисту будівельної конструкції з одного боку, зазвичай потрібно проводити тільки одне випробування. У разі, якщо вертикальний вогнезахисний екран виготовляють з елементів або компонентів різних розмірів або якщо вони можуть встановлюватися різними способами, потрібно проводити

окремі випробування на елементах або компонентах за максимальних або мінімальних розмірів із застосуванням кожної з передбачуваних процедур монтування. Якщо вертикальний вогнезахисний екран призначено для захисту двох або більше боків будівельної конструкції і його будова однакова з усіх боків, потрібне тільки одне випробування. Під час цього випробування затвором печі має слугувати сам вертикальний вогнезахисний екран. У разі, якщо вертикальний вогнезахисний екран призначено для захисту двох або більше боків будівельної конструкції і його будова з усіх боків неоднакова, то необхідні окремі випробування для кожного типу

екрана, кожен з яких по черзі піддають випробуванню в печі. Якщо вертикальний вогнезахисний екран призначено для використання у випадку, коли він утворює вентилявану порожнину, в якій встановлено будівельну конструкцію, вогнезахист якої він забезпечує, то вентиляція порожнини має здійснюватися у спосіб, що відповідає практиці.

Вогневому випробуванню піддають вертикальну несучу будівельну конструкцію у формі колони, навантаження до якої не прикладене, споряджену вогнезахистом за допомогою вертикального вогнезахисного екрана. Упродовж цього випробування температуру і тиск в печі регулюють з таким розрахунком, щоб забезпечити дотримання критеріїв, поданих в EN 1363-1 [19]. Під час випробування вимірюють температуру в порожнині і на поверхні колони для випробування. Випробування, зазвичай, продовжують до моменту, коли середня температура, виміряна всіма термодатчиками в порожнині, досягає відповідного граничного значення (див. табл. 1) для використовуваної колони, або коли будь-яке окреме значення температури, зареєстрованої в порожнині, досягне 750 °C для сталевих, залізобетонних або пустотілих сталевих колон, заповнених бетоном, і 500 °C для дерев'яних колон. За отриманими експериментальними даними щодо температур в порожнині і на поверхні колони для оцінюють її несучу здатність. Результат визначення несучої здатності колони відповідає проміжку часу, що минув, з точністю до останньої вимірної хвилини, від початку випробування до моменту досягнення заданого (граничного) значення температури в порожнині або на поверхні конструкції, що відповідає кожному типу матеріалу конструкції, залежно від того, що досягається раніше. Граничні температури – це температури (визначені як для порожнини, так і для поверхні конструкції), за яких конкретний конструкційний матеріал, з якого виконано будівельну конструкцію (колону), втрачає здатність витримувати навантаження. Їх значення наведено в табл. 1 [11]. Якщо

будівельні конструкції містять комбінацію різних типів матеріалів, потрібно вибирати найнижче значення граничної температури, що відповідає цим матеріалам. Якщо граничне значення температури до моменту завершення випробування не досягається, то за проміжок часу до втрати несучої здатності беруть тривалість цього випробування.

Межі застосовності результатів оцінювання несучої здатності (сфера прямого застосування отриманих результатів) є такими.

Результат оцінювання застосовний тільки до випробуваних вертикальних вогнезахисних екранів, густина і товщина яких відповідають показникам випробуваного виробу. Ширину вертикального вогнезахисного екрана дозволено збільшувати, якщо було випробувано зразок шириною не менше ніж 3 м. До висоти вертикального вогнезахисного екрана застосовні ті самі правила, які вказано в сфері прямого застосування EN 1364-1 [20]. Якщо панелі або плити у складі вертикального вогнезахисного екрана виготовляють з передбаченням діапазону геометричних розмірів і проведено окремі випробування для панелей або плит мінімального та максимального розміру, результати, що відповідають найнижчому значенню, застосовні до всіх проміжних розмірів.

Таблиця 1 – Граничні температури для оцінювання несучої здатності

Матеріал, з якого виготовлено колону для випробування	Значення граничної температури в порожнині, °C	Значення граничної температури на поверхні конструкції, °C
Залізобетон	600	–
Сталь	530	510
Сталезалізобетон	400	350
Холоднокатані сталеві конструкції	370	350
Деревина	300	–

Джерело: складено авторами

Вогнестійкість, визначена прямим застосуванням результатів випробування, застосовна до використовуваного виробу у випадках, коли порожнина, утворена між вертикальним вогнезахисним екраном і

наявним затвором печі, встановленим навпроти екрана, має таку саму або більшу глибину, ніж мала місце під час випробування.

Якщо випробування проводять на колонах, описаних у 6.4 EN 13381-2 [11], отримані результати щодо вогнестійкості можна застосовувати до інших вертикальних будівельних конструкцій, виготовлених з інших матеріалів, відповідно до таблиці 2, беручи до уваги граничні температури як у порожнині, так і на поверхні будівельної конструкції, наведені в табл. 1. Зокрема, вогнестійкість, визначена під час випробування з використанням дерев'яної колони, застосовна до всіх збірних конструкцій, до складу яких входять сталеві колони з будь-яким коефіцієнтом поперечного перерізу, і до залізобетонних колон будь-якого поперечного перерізу. Результати, отримані з використанням колон для випробування, застосовані до комбінованих будівельних конструкцій, які складаються з колони та балки, за умови, що має місце механічне контактування або кріплення балки, що спирається на колони, до вертикального вогнезахисного екрана, яким користуються. Більш детально сферу прямого застосування результатів випробувань наведено в 15 EN 13381-2 [11].

Таблиця 2 – Можливість застосування отриманих результатів випробувань до вертикальних будівельних конструкцій, виготовлених з інших матеріалів

Матеріал, з якого виготовлено колону для випробування	Можливість застосування отриманих результатів випробувань до вертикальних будівельних конструкцій, виготовлених з інших матеріалів			
	Сталь	Звичайний бетон	Сталезалізобетон	Деревина
Сталь	Так	Так	Так	Так
Звичайний бетон	Ні	Так	Ні	Ні
Сталезалізобетон	Ні	Так	Так	Ні
Деревина	Так	Так	Так	Так

Джерело: складено авторами

Наведена сфера прямого застосування

дозволяє визначати відповідність вогнестійкості будівельної конструкції, підданої випробуванню, і будівельних конструкцій з інших матеріалів нормованому класу вогнестійкості. Однак у цій сфері наявні деякі спрощення. Зокрема це стосується положення про те, що вогнестійкість, визначена під час випробування з використанням сталеві колони, застосовна до збірних конструкцій, до складу яких входять сталеві колони з коефіцієнтом поперечного перерізу, нижчим за той, що мав місце під час випробування. Також це відноситься до положення про те, що вогнестійкість, визначена під час випробування з використанням дерев'яної колони, застосовна до всіх збірних конструкцій, до складу яких входять сталеві колони з будь-яким коефіцієнтом поперечного перерізу. В той же час для забезпечення певного класу вогнестійкості захищеної сталеві конструкції зниження її коефіцієнту поперечного перерізу потребує меншої товщини системи вогнезахисту [21]. Це стосується і товщини вогнезахисного екрану певної конструкції. Зі зниженням коефіцієнту поперечного перерізу сталеві конструкції зменшується товщина екрану, за якої забезпечується нормована вогнестійкість. З метою практичного застосування результатів випробувань є доцільним визначати уточнені дані щодо вогнестійкості будівельних конструкцій, захищених екраном певною товщиною. Тому в запропонованій процедурі оцінювання вогнезахисної здатності вертикальних вогнезахисних екранів, яка розглядається, впроваджено розрахункову складову, яка визначає сферу розширеного застосування отриманих результатів випробувань щодо визначення зазначених уточнених даних стосовно вогнестійкості.

У зазначеній розрахунковій процедурі використовується два альтернативних підходи, які ґрунтуються на положеннях Єврокодів, наведених в EN 1991-1-2 [3], EN 1992-1-2 [4], EN 1993-1-2 [5], EN 1994-1-2 [6] та EN 1995-1-2 [7]. В одному з цих підходів результати вимірювання температури в порожнині застосовують в якості граничної умови (температури

нагрівального газового середовища біля поверхні будівельної конструкції) при розв'язанні теплотехнічної задачі щодо розрахунку підвищення температури в будівельній конструкції, захищеній вертикальним екраном, і визначенні її вогнестійкості за методами, вставленими в цих Єврокодах. В іншому підході за результатами вимірювання температури в порожнині і на поверхні сталевій колони шляхом розв'язання оберненої задачі теплопровідності визначають ефективний коефіцієнт теплопровідності вертикального вогнезахисного екрана, значення якого використовують при розрахунку підвищення температури і вогнестійкості будівельної конструкції за зазначеними Єврокодами. Розглянемо ці підходи на прикладах їх застосування для будівельних сталевих конструкцій, захищених вертикальним екраном.

Для розрахунку підвищення температури в сталевій конструкції, захищеній вертикальним екраном, відповідно до першого підходу застосовують таке рівняння [5]:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} h_{net} \Delta t, \quad (1)$$

де $\Delta\theta_{a,t}$ – підвищення температури сталевій конструкції за проміжок часу Δt , °C;

k_{sh} – коригувальний коефіцієнт ефекту затінення;

A_m/V – коефіцієнт поперечного перерізу сталевій конструкції, м⁻¹;

c_a – питома теплоємність сталі, Дж/(кг·К);

ρ_a – густина сталі, кг/м³;

h_{net} – розрахункове значення результуючого теплового потоку на поверхні сталевій конструкції, Вт/м²;

Δt – розрахунковий проміжок часу, с.

Результуючий тепловий потік $\dot{h}_{net}$ визначають, враховуючи конвекційну $\dot{h}_{net,c}$ та радіаційну $\dot{h}_{net,r}$ його складові, за формулами [3, 22]:

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r}; \quad (2)$$

$$\dot{h}_{net} = \alpha^* (\theta_g - \theta_m), \quad (3)$$

де α^* – сумарний коефіцієнт тепловіддачі конвекцією та тепловою радіацією на поверхні сталевій конструкції, Вт/(м²·К);

θ_g – температура газового середовища всередині порожнини, °C;

θ_m – температура поверхні сталевій конструкції, °C;

Формули і значення коефіцієнтів, необхідні для проведення розрахунків за (1) – (3), подано в EN 1991-1-2 [3], EN 1993-1-2 [5], ДСТУ-Н Б В.2.6-211 [22].

За результатами розрахунків визначають максимальні значення коефіцієнту поперечного перерізу A_m/V , за яких для проміжків часу вогневого впливу, що відповідають нормованим класам вогнестійкості (від R 15 до R 360), температура поверхні сталевій конструкції нижча за проектну. Приклад подання отриманих результатів наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Приклад подання результатів оцінювання вогнезахисної здатності вертикального вогнезахисного екрану для підходу із завданням температури в порожнині в якості граничної умови

Проектна температура сталевій конструкції θ_b , °C	350	400	450	500	550	600	650	700
Клас вогнестійкості	Максимальне значення коефіцієнту поперечного перерізу A_m/V , за якого температура поверхні сталевій конструкції нижча за проектну, м ⁻¹							
R 15								
R 30								
R 45								
R 60								
R 120								
R 180								
R 240								
R 360								

Для розрахунку підвищення температури в сталевій конструкції, захищеній вертикальним екраном, відповідно до другого підходу застосовують математичну модель процесу теплопровідності аналогічну тій, яку наведено в п.2.2.3 ДСТУ-Н Б В.2.6-211 [22] і К.2 ДСТУ Б В.1.1-17 [23].

Відмінністю цієї моделі є те, що між необігрівною поверхнею вертикального

вогнезахисного екрану і поверхнею сталевій конструкції задається рівняння для додаткового шару (повітряного прошарку) з термічним опором, а не умова ідеального теплового контакту, як це запроваджено в [22, 23].

Процес теплопровідності у вертикальному вогнезахисному екрані в цій моделі визначається таким рівнянням:

$$c_p \rho_p \frac{\partial \theta_p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_p \frac{\partial \theta_p}{\partial x} \right), \quad (4)$$

де x – координата в екрані, м;
 t – проміжок часу від початку вогневого впливу, с;
 θ_p – температура екрану, °C;
 λ_p – ефективний коефіцієнт теплопровідності екрану, Вт/(м·K);
 c_p – питома теплоємність екрану, Дж/(кг·K);
 ρ_p – густина екрану, кг/м³

Із застосуванням зазначеної математичної моделі за експериментальними даними щодо температури в порожнині і на поверхні сталевій колони проводять розв'язання оберненої задачі теплопровідності, за результатами якого

визначають ефективний коефіцієнт теплопровідності вертикального вогнезахисного екрану, як функцію від температури. Постановка і спосіб розв'язання цієї оберненої задачі є аналогічними тим, які наведено в Л.3 ДСТУ Б В.1.1-17 [23] і [21]. На наступному етапі шляхом розв'язання прямої задачі теплопровідності розраховують підвищення температури в сталевих конструкцій, які захищені вертикальним екраном різної товщини і мають різні коефіцієнти поперечного перерізу. За результатами цих розрахунків визначають мінімальну товщину вертикального вогнезахисного екрану, необхідну для того, щоб для сталевих конструкцій, що характеризуються значеннями коефіцієнта поперечного перерізу з інтервалом 20 м⁻¹, для проміжків часу вогневого впливу, що відповідають нормованим класам вогнестійкості, температура поверхні була нижче за проектну. Приклад подання отриманих результатів (для певного класу вогнестійкості сталевій конструкції) надано у табл. 4.

Таблиця 4 – Приклад подання результатів оцінювання вогнезахисної здатності вертикального вогнезахисного екрану для підходу із визначенням його ефективного коефіцієнту теплопровідності

Проектна температура сталевій конструкції θ_b , °C	350	400	450	500	550	600	650	700
Коефіцієнт поперечного перерізу A_m/V , м ⁻¹	Мінімальне значення товщини вертикального вогнезахисного екрану, за якого температура поверхні сталевій конструкції нижча за проектну, d_p мм							
40								
60								
...								
380								
400								

Результати оцінювання вогнезахисної здатності вертикального вогнезахисного екрану, отримані за цими підходами використовують у будівельному проектуванні. При цьому за 4.2.4 EN 1993-1-2 [5] розраховують значення критичної температури $\theta_{a,cr}$ сталевій конструкції. За даними, наведеними в таблиці 3,

визначають максимальне значення коефіцієнту поперечного перерізу A_m/V , за якого при застосуванні вертикального вогнезахисного екрану забезпечується нормований клас вогнестійкості сталевій конструкції (виконується умова $\theta_b \leq \theta_{a,cr}$). За даними, наведеними в таблиці 4, визначають мінімальне значення товщини

вертикального вогнезахисного екрану, за якого для сталевих конструкцій з певним коефіцієнтом поперечного перерізу A_m/V забезпечується нормований клас вогнестійкості цієї конструкції (виконується умова $\theta_D \leq \theta_{a,cr}$).

Висновки та напрями подальших досліджень. Проведеним дослідженням показано експериментальні та розрахункові складові удосконаленої процедури оцінювання вогнезахисної здатності вертикальних екранів, призначених для захисту несучих будівельних конструкцій, виготовлених зі сталі, залізобетону, сталезалізобетону або деревини.

Обґрунтовано застосування в розрахунковій складовій цієї процедури двох альтернативних підходів, в одному з

яких результати вимірювання температури в порожнині застосовують в якості граничної умови при розв'язанні теплотехнічної задачі, в іншому – за результатами вимірювання температури в порожнині і на поверхні сталевих колон шляхом розв'язання оберненої задачі теплопровідності визначають ефективний коефіцієнт теплопровідності вертикального вогнезахисного екрану. Показано, що запропонована процедура дозволяє визначати параметри несучих будівельних конструкцій, зокрема коефіцієнт поперечного перерізу сталевих конструкцій, і товщину вертикального вогнезахисного екрану, які забезпечують нормовані класи вогнестійкості цих конструкцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Regulation (EU) № 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonized conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC. – OJ L 88, 4.4.2011. P. 5–43.
2. EN 13501-2:2016. Fire classification of construction products and building elements – Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2016 CEN. 79 p.
3. EN 13381-4:2013. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 4: Applied passive protection to steel members. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2013 CEN. 83 p.
4. EN 13381-8:2013. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 8: Applied reactive protection to steel members. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2013 CEN. 80 p.
5. Калафат К. В., Вахитова Л. Н. Каталог средств огнезащиты стальных конструкций 2017 : публикация. Метінвест, 2017. 91 с.
6. Пронин Д. Г. Огнестойкость стальных несущих конструкций: публикация. Аксиом графикс юнион, 2015. 52 с.
7. Вахитова Л. Н., Калафат К. В. Основы огнезащиты стальных конструкций. *Промислове виробництво та інженерні споруди*. № 2. 2015. С. 23–27.
8. EN 13381-1:2014. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 1: Horizontal protective membranes. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2014 CEN. 52 p.
9. EN 13381-2:2014. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 2: Vertical protective membranes. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2014 CEN. 40 p.
10. EN 1365-3:1999. Fire resistance tests for loadbearing elements – Part 3: Beams. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Central Secretariat: rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels. 1999 CEN. 14 p.
11. EN 1365-4:1999. Fire resistance tests for loadbearing elements – Part 4: Columns. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Central Secretariat: rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels. 1999 CEN. 11 p.
12. EN 1993-1-2:2005 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Central Secretariat: rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels. 2005 CEN. 78 p.
13. Novak S., Drizhd V., Dobrostan O. Thermal state of steel structures with a combined fire protection system under conditions of fire exposure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. № 3/10 (105). 2020. P. 17–25.
14. ДСТУ 8768:2018. Двотаври сталеві гарячекатані. Сортамент. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018. 9 с.
15. ТУ У 24.3-13481691-007-2003 Суміш для покриття «Ендотерм 210104». Технічні умови. Донецький центр стандартизації, метрології та сертифікації. 2003. 25 с.

16. ТУ У 24.3-13481691-009-2004 Суміш для вогнезахисного покриття «ЕНДОТЕРМ 170205». Технічні умови. Технічні умови. Донецький центр стандартизації, метрології та сертифікації. 2004. 18 с.
17. ГОСТ 25129-82 Грунтовка ГФ-021. Технические условия (с Изменениями № 1, 2). Министерство химической промышленности СССР. 1983.

REFERENCES

1. Regulation (EU) № 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonized conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC. – OJ L 88, 4.4.2011. P. 5–43 [in English].
2. EN 13501-2:2016. Fire classification of construction products and building elements – Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2016 CEN. 79 p. [in English].
3. EN 13381-4:2013. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 4: Applied passive protection to steel members. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2013 CEN. 83 p. [in English].
4. EN 13381-8:2013. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 8: Applied reactive protection to steel members. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2013 CEN. 80 p. [in English].
5. Calafat K. V., Vakhitova L. N. Catalog of fire protection products for steel structures 2017: publication. Metinvest, 2017. 91 p.[in Russian].
6. Pronin D. G. Fire resistance of steel load-bearing structures: publication. Axiom Graphics Union, 2015. 52 p. [in Russian].
7. Vakhitova L. N., Calafat K. V. Fundamentals of fire protection of steel structures. Industrial production and engineering structures. 2015, № 2. 23–27 p. [in Russian].
8. EN 13381-1:2014. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 1: Horizontal protective membranes. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2014 CEN. 52 p. [in English].
9. EN 13381-2:2014. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 2: Vertical protective membranes. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2014 CEN. 40 p. [in English].
10. EN 1365-3:1999. Fire resistance tests for loadbearing elements – Part 3: Beams. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Central Secretariat: rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels. 1999 CEN. 14 p. [in English]
11. EN 1365-4:1999. Fire resistance tests for loadbearing elements – Part 4: Columns. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Central Secretariat: rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels. 1999 CEN. 11 p. [in English]
12. EN 1993-1-2:2005 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Central Secretariat: rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels. 2005 CEN. 78 p. [in English].
13. Novak S., Drizhd V., Dobrostan O. Thermal state of steel structures with a combined fire protection system under conditions of fire exposure. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. № 3/10 (105). 2020. P. 17–25.
14. DSTU 8768: 2018. I-beams steel hot-rolled. Assortment. Kyiv: UkrNDNC, 2018. 9 p. [in Ukrainian].
15. TU U 24.3-13481691-007-2003 Mixture for coating "Endotherm 210104". Specifications. Donetsk Center for Standardization, Metrology and Certification. 2003. 25 p.[in Ukrainian].
16. TU U 24.3-13481691-009-2004 Mixture for fire-retardant coating "ENDOTHERM 170205". Specifications. Specifications. Donetsk Center for Standardization, Metrology and Certification. 2004. 18 p.
17. GOST 25129-82 Primer GF-021. Technical conditions (with Changes № 1, 2).1983. [in Russian].

ASSESSMENT OF FIRE-PROTECTIVE ABILITY OF VERTICAL PROTECTIVE MEMBERS FOR LOAD-BEARING BUILDING STRUCTURES

S. Novak¹, V. Drizhd², O. Dobrostan¹,

¹*Institute of Public Administration and Research on Civil Defense, Ukraine*

²*Scientific and production enterprise "Special materials", Ukraine*

KEYWORDS	ANNOTATION
limiting temperature, vertical protective member, fire-protective ability, fire resistance of the protected design, fire resistance class, load-bearing building structure	The procedure for assessing the fire-protective ability of products and systems intended for fire protection of building structures applicable at the European level has uncertainties and requires clarification. Therefore, research aimed at improving and developing this evaluation procedure is relevant, in particular for vertical protective member for fire protection of load-bearing structures. The article identifies the experimental and computational components of the improved procedure for assessing the fire-protective ability of vertical protective member to protect load-bearing structures made of steel, reinforced concrete, reinforced concrete or timber. This procedure is based on the provisions of European standards EN 13381-2, EN 13381-4 and EN 13381-8, which regulate test methods for determining the effect of vertical protective members, passive and reactive fire protection systems of steel structures on the fire resistance of load-bearing building structures. It also applies the provisions of the European Building Codes in the European standards EN 1991-1-2, EN 1992-1-2, EN 1993-1-2, EN 1994-1-2 and EN 1995-1-2, which establish methods of calculating the fire resistance of building structures made of steel, reinforced concrete, reinforced concrete or timber. The application in the computational component of this procedure of two alternative approaches is substantiated, in one of which the results of temperature measurement in the cavity are used as a boundary condition in solving the thermal problem. In another approach, the effective thermal conductivity of a vertical protective member is determined by measuring the temperature in the cavity and on the surface of a steel column by solving the inverse thermal conductivity problem. It is shown that the proposed procedure allows to determine the parameters of load-bearing building structures, in particular the coefficient of cross section of the steel structure, and the thickness of the vertical protective member, which provide normalized fire resistance classes of these structures.

УДК 614.841.33

ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ПРИВЕДЕННЯ МЕЖИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ОТРИМАНОЇ ПІД ЧАС ВОГНЕВИХ ВИПРОБУВАНЬ ДО МЕЖИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗА СТАНДАРТНИМ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ ПОЖЕЖІ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.1.56-63>

Веселівський Р. Б., ORCID iD [0000-0003-3266-578X](https://orcid.org/0000-0003-3266-578X)

E-mail: roman_veselivskuy@yahoo.com

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 05.05.2021

Пройшла рецензування: 24.05.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

приведення, межа вогнестійкості,
метод співставлення площ,
стандартний температурний режим,
температура прогріву,
теплоізолювальна здатність

АНОТАЦІЯ

Проаналізовано способи та досвід застосування різних методів щодо приведення межі вогнестійкості будівельних конструкцій у випадку відхилення температурного режиму вогневого випробування від стандартного температурного режиму пожежі. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень виконано співставлення реальних та стандартних температурних впливів з використанням методу співставлення площ, що знаходяться під кривою пожежі та обмежених ординатою температури, при якій досягнуто один з критеріїв вогнестійкості та віссю абсцис. Перевірено за допомогою аналітичного розрахунку з використанням функції Гріна адекватність методу приведення межі вогнестійкості. Встановлено, що метод приведення реальної температури отриманої в результаті проведення вогневого випробування до стандартного температурного режиму пожежі, є допустимим для використання. Похибка між експериментально визначеною та теоретично розрахованою межею вогнестійкості становить не більше 10 %.

Постановка проблеми. Межа вогнестійкості будівельних конструкцій залежить від багатьох факторів, таких як: теплові впливи і пов'язані з ними високі температури, статичні і динамічні навантаження. Правильне оцінювання цих факторів відіграє важливу роль в ході аналізу поведінки будівельних конструкцій в умовах пожежі.

Вогнестійкість будівельних конструкцій – це здатність конструкцій зберігати свої несучі і (або) огорожувальні функції в умовах впливу на них високих температур пожежі. Для оцінки вогнестійкості конструкцій використовуються експериментальні і розрахункові методи.

Експериментальні методи базуються на проведенні вогневих випробувань в печі при визначеному температурному режимі, а розрахункові – на моделюванні теплового і напружено-деформованого станів, які виникають в конструкціях при дії на них стандартного температурного режиму або в умовах реального розподілу пожежного навантаження в приміщеннях з урахуванням реальної конструктивної схеми будинку під час проведення натурних вогневих випробувань. [1]

Суть визначення межі вогнестійкості будівельних конструкцій полягає у визначенні проміжку часу, по завершенні якого в умовах стандартного

температурного режиму пожежі настає один із нормованих граничних станів з вогнестійкості для цих конструкцій. Визначення межі вогнестійкості будівельних конструкцій проводиться відповідно до [1] та за методами випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій конкретних видів (колон, балок, перегородок, перекриттів, покриттів тощо) які регламентуються окремими стандартами та іншими методами [2,3,4,5].

Для ствердження, що конструкція чи її фрагмент мають певну межу вогнестійкості, слід проводити вогневі випробування за наведеними вище методами. У існуючих методах та дослідженнях щодо визначення межі вогнестійкості огорожувальних конструкцій в Україні, за основу беруть температуру на необігрівій поверхні конструкції, яка і свідчить про фактичний показник часу до настання граничного стану з вогнестійкості. Враховуючи те, що сучасні огорожувальні будівельні конструкції виготовляють багатошаровими та з різних за своєю структурою матеріалів, цікавим буде питання поведінки такої конструкції всередині окремих шарів. У випадку багатошарової огорожувальної конструкції, як наприклад стіни з енергоефективним утеплювачем із пінополістиролу, мінеральної вати, пінополіуретану, або їх поєднання, інформація про зміну температури всередині окремих шарів, дасть уявлення про їх поведінку в процесі пожежі, швидкість вигорання горючого утеплювача, початок деформування огорожувальної конструкції, тощо [6,7].

Сутність розрахункових методів визначення межі вогнестійкості [8] полягає у визначенні часу, по закінченні якого під впливом високих температур пожежі будівельні конструкції втрачають свої огорожувальні та несучі властивості. На втрату огорожувальної здатності розраховують внутрішні стіни, перегородки і перекриття.

При вирішенні задачі по розрахунку межі вогнестійкості будівельних конструкцій враховується наступне:

розрахунку піддається окремо взята

конструкція або конструктивний елемент без урахування зв'язку з іншими конструкціями, тобто не враховується сумісна робота конструкцій будівлі чи споруди;

конструктивні елементи в умовах дії стандартного температурного режиму, представленого у вигляді залежності температури від часу, нагріваються однаково по всій довжині або висоті;

витоками тепла з торців конструкції нехтують;

температурні напруження у конструкції, що з'явилися в результаті її нерівномірного прогрівання і в силу зміни пружно-пластичних властивостей матеріалу, не враховуються.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Окрему увагу необхідно приділити випадкам коли при проведенні експериментальних вогневих досліджень будівельних конструкцій режим нагріву у випробувальній печі відрізняється від стандартного. Це зумовлює необхідність приведення реальної температури до стандартної температурної кривої пожежі. S. Ingberg [9] пов'язував виміряні температури та тривалість пожежі з еквівалентним впливом стандартної температурної кривої у випробувальній печі. Григор'ян Б. В. [10] пропонує метод в якому як перехідний критерій пропонується використовувати абсолютну величину несучої здатності колони при нагріванні. Фізична основа даного методу полягає у визначенні часу втрати несучої здатності елемента при стандартному режимі пожежі за часом досягнення такої ж самої несучої здатності при реальній пожежі. Реалізація методу полягає в тому, що, попередньо оцінивши тривалість можливої пожежі та величину несучої здатності елемента в граничному стані, можна за допомогою графіка зміни несучої здатності конструкції при "стандартному" режимі пожежі визначити еквівалентний час дії цієї пожежі. Даний розрахунок вогнестійкості залізобетонних конструкцій для реального режиму пожежі включає завдання вихідних параметрів можливої пожежі (γ - коефіцієнт коригування стандартної кривої "температура – час" і

t_{max} – час досягнення максимальної температури). Maślak M. у свої працях [11, 12] приймає, що час впливу реальної пожежі прирівнюється до відповідного нормованого стандартного режиму нагріву, тоді, коли ефект вогневого впливу його на конструкцію рівний ефекту стандартного режиму пожежі. Якщо відповідний вплив реальної пожежі визначається для часу $t_{fi,*}$, то аналогічний вплив стандартної пожежі спричинить час t_e , що відмінний від $t_{fi,*}$. Цей час називається часом впливу пожежі (equivalent time of fire exposure).

Актуальність розроблення, удосконалення та обґрунтування методів для визначення межі вогнестійкості не залишає сумніву, у зв'язку з цим можна стверджувати, що дана задача потребує подальшого вирішення.

Мета дослідження. Метою дослідження є розкриття особливостей приведення межі вогнестійкості отриманої під час вогневих випробувань до межі вогнестійкості за стандартним температурним режимом пожежі. Для досягнення мети необхідно на підставі експериментальних та теоретичних досліджень обґрунтувати можливість приведення межі вогнестійкості огорожувальних будівельних конструкцій у випадку відхилення температурного режиму вогневого випробування від стандартного температурного режиму пожежі.

Основний матеріал. У дослідженнях котрі представлені у [13] щодо визначення межі вогнестійкості за ознакою втрати теплоізолювальної здатності дослідних зразків реальна температура в печі була з відхиленнями від стандартного температурного режиму пожежі, похибка якої виходила за межі допустимої яка визначена в ДСТУ Б.В.1.1-7.98*. Зокрема, це експериментальні та теоретичні дослідження огорожувальної будівельної конструкції з мінероловатним наповнювачем (далі СПМ). Відповідно потребує вирішення як співставити реальні та стандартні температурні впливи з метою порівняння відповідних їм меж вогнестійкості будівельних конструкцій.

Реальна зміна температури у вогневій

печі при проведенні вогневих випробуваннях описується залежністю $T = 183,79 \ln(x) + 227,39$ з коефіцієнтом апроксимації $R^2 = 0,905$. Відповідно дана залежність була використана і для аналітичного моделювання процесу прогріву з використанням функції Гріна [14].

Виконавши дослідження проведено порівняльний аналіз за зміною значень температур отриманих експериментальним та аналітичним методами до критичної температури прогріву огорожувальної будівельної конструкції.

У табл. 1 наведено розбіжність P (у %) розрахункових та експериментальних глибин прогріву дослідного зразка СПМ у фіксовані моменти часу ($\tau, \text{хв}$), де, a – глибини прогріву отримані експериментальним та аналітичним методами відповідно.

Таблиця 1 – Порівняння значень глибини прогріву отриманих аналітично і вимірних експериментально

Час нагріву конструкції ($\tau, \text{хв}$)	Розбіжність розрахункових та експериментальних глибин прогріву ($P, \%$)
10	8
20	4,5
30	4
40	6,5
50	5,6
60	5,4
70	4,8
80	3,5
90	2,3
100	2,7
110	3,2
120	2,2
130	2,1
140	2
150	2

На рис. 1 показано співставлення розрахункового та експериментального дослідження розподілу температурного поля по товщині дослідного зразка марки СПМ на 150-ій хв, де точки на графіку – це термопари, що розміщені по товщині конструкції на визначеній відстані одна від одної, а $T_{кр}$ – це температура на необігрівій поверхні конструкції, що

свідчить про втрату вогнестійкості конструкції за ознакою теплоізолювальної здатності.

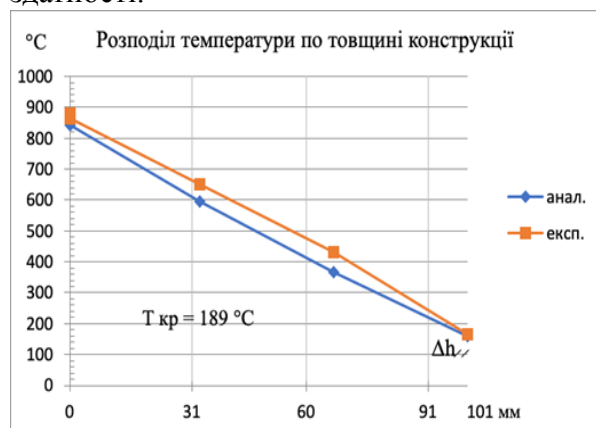


Рисунок 1 – Графіки теоретичних та експериментальних досліджень огорожувальної конструкції марки СПМ на 150-й хв

З табл. 1 та рисунка 1 видно, що максимальна розбіжність між значеннями глибин прогріву, отриманими аналітичним та експериментальним методами, не перевищує 8 %, а на 150-й хв становить 2 %.

За результатами співставлень можна стверджувати, що для зразка марки СПМ аналітичний метод дає збіжні до експериментальних значень температури прогріву по товщині дослідного зразка.

Методи дослідження. Наступним етапом є співставлення реальних та стандартних температурних впливів. Для цього виконано приведення реальної температури до стандартної температурної кривої. Для цього приведення використано метод який описаний в [15].

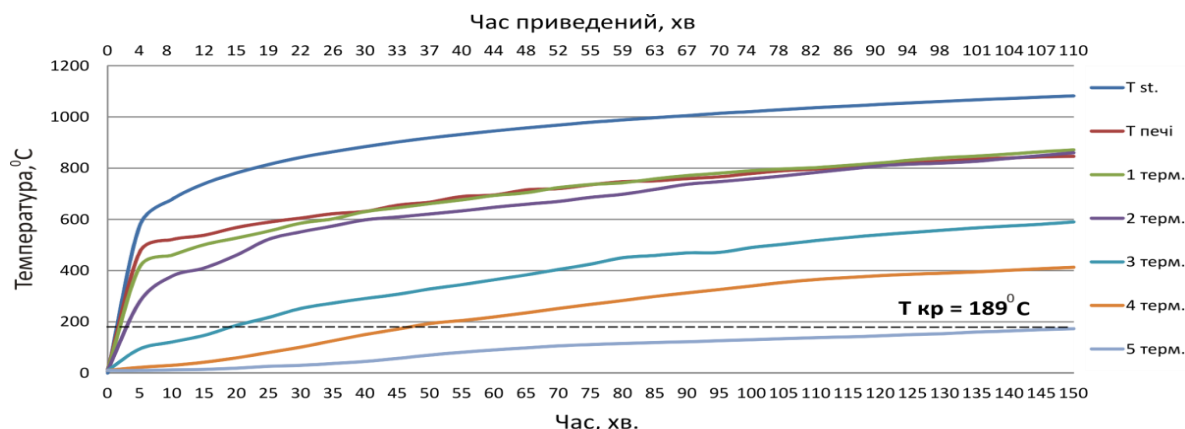


Рисунок 3 – Зміна температури по товщині зразка СПМ:

1-5 терм. – покази термопар, Тпечі – середнє арифметичне значення за показами двох термопар в печі, Тст – стандартна температурна крива, Ткр – критична температура на необігрівній поверхні.

Суть цього методу полягає у співставленні площ, що знаходяться під кривою пожежі та обмежених ординатою температури, при якій досягнуто один з критеріїв вогнестійкості та віссю абсцис (площа ABC та AB'C', рис. 2).

При умові, що $A_{ABC} = A_{AB'C'}$, приводиться межа вогнестійкості конструкції, отриманої при дії реальної пожежі, що визначається точкою C, до межі вогнестійкості цієї ж конструкції від дії стандартної пожежі, що визначається точкою C'.

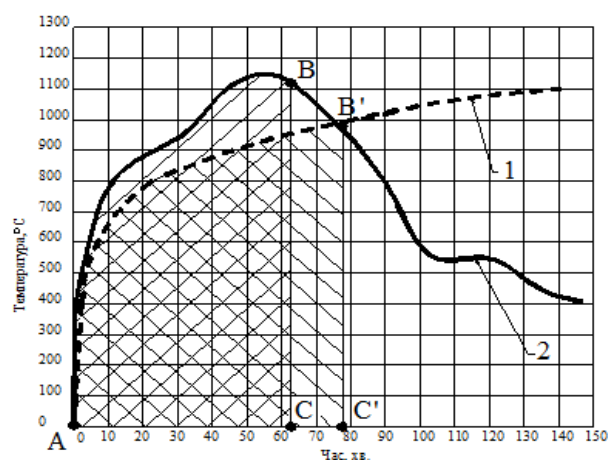


Рисунок 2 – Приведення межі вогнестійкості, отриманої за реальним температурним режимом, до межі вогнестійкості за стандартним температурним режимом:

1 – стандартний температурний режим; 2 – реальний температурний режим.

Очевидно, що необхідно виконати перевірку адекватності методу приведення межі вогнестійкості. Для цього було проведено розрахунок нестационарного температурного поля з використанням функції Гріна за стандартним температурним режимом який описується залежністю [1].

$$T_{st} = 345 \lg(8t+1)+20 \quad (1)$$

Даним розрахунком було визначено межу вогнестійкості за ознакою втрати теплоізолювальної здатності для зразка сендвіч-панелі з мінераловатним наповнювачем при дії на дану будівельну огорожувальну конструкцію стандартного температурного режиму пожежі.

Оскільки межа вогнестійкості конструкції за ознакою втрати теплоізолювальної здатності визначається перевищенням

середньої температури на необігрівній поверхні конструкції над початковою середньою температурою цієї поверхні в декількох точках на 140 °С, або перевищенням середньої температури на необігрівній поверхні конструкції над початковою середньою температурою цієї поверхні в одній точці на 180 °С, порівняльний аналіз та співставлення експериментальних та теоретичних результатів здійснено по одній термопарі (точці) яка знаходилась на необігрівній поверхні досліджуваного зразка.

На рис. 4 показано співставлення температур на необігрівній поверхні, отриманих експериментально та розрахованих за допомогою аналітичного методу.

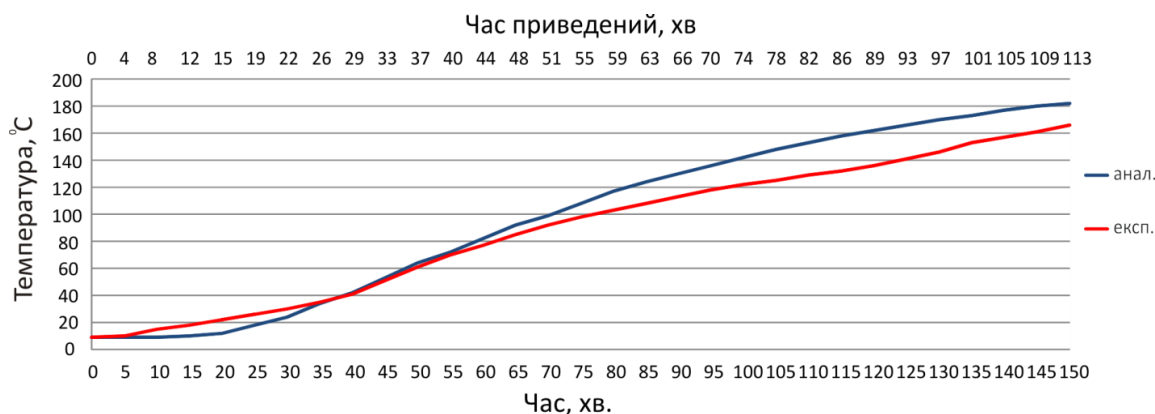


Рисунок 4 – Порівняння графіків теоретичних та експериментальних досліджень межі вогнестійкості зразка марки СПМ, де : час, хв – межа вогнестійкості отримана в умовах реального вогневого впливу; час приведення, хв – приведена межа вогнестійкості в умовах стандартного температурного режиму пожежі

Розбіжність між експериментально визначеною та теоретично розрахованою межею вогнестійкості за ознакою втрати теплоізолювальної здатності становить 9,6 % і розбіжність між зміною температури в залежності від часу випробування складає на більше 15 %.

Висновок та перспективи подальших досліджень. Провівши теоретичні та експериментальні дослідження можна зробити висновок, що метод приведення реальної температури отриманої в результаті проведення вогневого випробування до стандартного

температурного режиму пожежі, за допомогою якого визначається межа вогнестійкості є допустимим для використання. Похибка між експериментально визначеною та теоретично розрахованою межею вогнестійкості становить не більше 10 %. Отримані результати свідчать про доцільність використання даного методу при визначенні межі вогнестійкості будівельних конструкцій у випадку відхилення температури в печі від стандартної температурно-часової залежності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ Б В.1.1-4-98 Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги : * [Чинний від 01-03-1999]. Київ: Державний комітет будівництва, 1998. 47 с.
2. Захист від пожежі. Перегородки. Метод випробування на вогнестійкість : ДСТУ Б.В.1.1-15:2007 [Чинний від 01-01-2008] Київ: Мінрегіонбуд України, 2007. 13 с.
3. Захист від пожежі. Колони. Метод випробування на вогнестійкість : ДСТУ Б В.1.1-14:2007 [Чинний від 01-01-2008] Київ: Мінрегіонбуд України, 2007. 12 с.
4. Захист від пожежі. Перекриття та покриття. Метод випробування на вогнестійкість : ДСТУ Б В. 1.1-20:2007 [Чинний від 01-04-2008] Київ: Мінрегіонбуд України, 2007. 17 с.
5. Захист від пожежі. Балки. Метод випробування на вогнестійкість : ДСТУ Б В.1.1-13:2007 [Чинний від 22-06-2008] Київ: Мінрегіонбуд України, 2007. 10 с.
6. Демчина Б. Г. Вогнетривкість енергоефективних будівельних конструкцій. Ресурсо-економні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 1999. Вип. 2. С. 89-92.
7. Половко А. П. Вогнестійкість енергоефективних стінових огорожувальних конструкцій житлових та громадських будівель : дис. ... канд. техн. наук : 21.06.02 / Львів. держ. ун-т безпеки життєдіяльності. Львів, 2009. 193 арк.
8. Пожежна безпека об'єктів будівництва : ДБН В.1.1-7:2016 [Чинний від 31.10.2016]. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. 39 с.
9. Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials, ASTM E-119, 1997 Annual Book of ASTM Standards, Section 4 Construction, Volume 04.07 Building Seals and Sealants; Fire Standards; Dimension Stone, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA (1997) pp. 441–461.
10. Григор'ян Б. В. Вогнестійкість стиснутих залізобетонних елементів при температурних режимах близьких до реальних : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Харків. держ. акад. залізничного транспорту. Харків, 2001. 24 с.
11. Maślak M., Równoważny czas ekspozycji w szacowaniu odporności ogniowej elementów konstrukcji stalowych. Konstrukcje Stalowe, 2004. Kwiecień. S. 27–28.
12. Maślak M., Modelowanie przebiegu pożaru w ocenie możliwości pożarowej elementów konstrukcji budowlanej. Inżynieria i Budownictwo, 2004. № 7., S. 387–391.
13. Веселівський Р. Б. Обґрунтування умов застосування вертикальних багатoshарових огорожувальних конструкцій будівель і споруд з урахуванням їх вогнестійкості : дис. ... канд. техн. наук : 21.06.02 / Львів. держ. ун-т безпеки життєдіяльності. Львів, 2012. 144 арк.
14. Процюк Б. В., Семерак М. М., Веселівський Р. Б., Синюта В. М. Дослідження нестационарного температурного поля в багатoshаровій плоскій конструкції. Пожежна безпека. 2012. № 20. С. 111–117.
15. Демчина Б. Г. Вогнестійкість одно- і багатoshарових просторових конструкцій житлових та громадських будівель : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.23.01 / Харків. держ. техн. ун-т будівництва та архітектури. Харків, 2003. 367 арк.
16. Половко А. П., Веселівський Р. Б., Василенко О. О., Шелюх Ю. Є. Експериментальне дослідження вогнестійкості багатoshарових огорожувальних конструкцій. Пожежна безпека. 2011. № 19. С. 118–123.
17. Odporność ogniowa konstrukcji budowlanych / M. Kosiorek, J. A. Pogorzelski, Z. Laskowska, K. Pilich. Warszawa : Arkady, 1988. 230 str.
18. Harmathy T.Z., Design to cope with fully developed fires, [w:] Smith E.E., Harmathy T.Z. (eds.), Design of Buildings for fire safety, Proceedings of a symposium sponsored by American Society for Testing and Materials Committee E05 on Fire Standards, Boston, Massachusetts, 27 June 1978, ASTM Special Technical Publication 685, Philadelphia, Pennsylvania, USA 1979, pp. 198–276.

REFERENCES

1. Zakhyst vid pozhezhi. Budivelni konstruktsii. Metody vyprobuvan na vohnestiikist. Zahalni vymohy [Fire protection. Building constructions Test methods for fire resistance. general requirements]. (1998*). DSTU B.V.1.1-4: 1999* from 1st March 1999. Kyiv: State Construction Committee [in Ukrainian].
2. Zakhyst vid pozhezhi. Perehorodky. Metod vyprobuвання na vohnestiikist [Fire protection. Internal non-loadbearing walls. Fire resistance test method]. (2007). DSTU B.V.1.1-15: 2007 from 1st January 2008. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine [in Ukrainian].
3. Zakhyst vid pozhezhi. Kolony. Metod vyprobuвання na vohnestiikist [Fire protection. Columns. Fire resistance test method]. (2007). DSTU B.V.1.1-14: 2007 from 1st January 2008. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine [in Ukrainian].
4. Zakhyst vid pozhezhi. Perekryttia ta pokryttia. Metod vyprobuвання na vohnestiikist [Fire protection. Floors and roofs. Fire resistance test method]. (2007). DSTU B.V.1.1-20: 2007 from 1st April 2008. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine [in Ukrainian].

5. Zakhyst vid pozhezhi. Balky. Metod vyprobuвання na vohnestiikist [Fire protection. Beams. Fire resistance test method]. (2007). DSTU B.V.1.1-13: 2007 from 22st June 2007. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine [in Ukrainian].
6. Demchyna B. G. (1999). Vohnetryvkist enerhoefektyvnykh budivelnnykh konstrukttsii [Fire resistance of energy efficient building structures]. Resurso-ekonomni materialy, konstrukttsii, budivli ta sporudy, 2, 89-92. [in Ukrainian].
7. Polovko A. P. (2009). Vohnestiikist enerhoefektyvnykh stinovykh ohorodzhualnykh konstrukttsii zhytlovykh ta hromadskykh budivel [Fire resistance of power effective enclosed constructions of residential and public buildings]. (Candidate's thesis). Lviv State University of Life Safety. Lviv [in Ukrainian].
8. Pozhezhna bezpeka ob'ektiv budivnytstva [Fire safety objects of construction. General requirements]. (2016). DBN V.1.1-7: 2016 from 31st October 2016. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine. [in Ukrainian].
9. Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials, ASTM E-119, 1997 Annual Book of ASTM Standards, Section 4 Construction, Volume 04.07 Building Seals and Sealants; Fire Standards; Dimension Stone, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA (1997) pp. 441–461 [in English].
10. Hryhorian B. V. (2001) Vohnestiikist stysnutykh zalizobetonnykh elementiv pry temperaturnykh rezhymakh blyzkykh do realnykh [Fire resistance of compressed reinforced concrete elements under temperature conditions close to real]. (Extended abstract of candidate's thesis). Kharkiv State Academy of Railway Transport. Kharkiv [in Ukrainian].
11. Maślak M. (2004). Równoważny czas ekspozycji w szacowaniu odporności ogniowej elementów konstrukcji stalowych [Equivalent exposure time in estimating the fire resistance of steel construction elements]. Konstrukcje Stalowe, April, 27–28 [in Polish].
12. Maślak M. (2004) Modelowanie przebiegu pożaru w ocenie możliwości pożarowej elementów konstrukcji budowlanej [Modeling of the course of fire in the assessment of the fire capacity of building structure elements]. Inżynieria i Budownictwo, 7, 387–391 [in Polish].
13. Veselivskyy R. B. (2012) Obgruntuvannya umov zastosuvannya vertykalnykh bahatosharovykh ohorodzhualnykh konstrukttsii budivel i sporud z urakhuvanniam yikh vohnestiikosti [Substantiation of application of vertical multilayer envelope structures of buildings and constructions according to their fire-resistance]. (Candidate's thesis). Lviv State University of Life Safety. Lviv [in Ukrainian].
14. Procjuk B. V., Semerak M. M., Veselivskyy R. B., Synjuta V. M. (2012) Doslidzhennia nestatsionarnoho temperaturnoho polia v bahatosharovii ploskii konstrukttsii [Investigation of transient temperature field in multilayered planar structure]. Pozhezhna bezpeka. 20. P. 111–117 [in Ukrainian].
15. Demchyna B. G. (2003) Vohnestiikist odno- i bahatosharovykh prostorovykh konstrukttsii zhytlovykh ta hromadskykh budivel [Fire resistance of one-layer and multi-layer spatial structures of residential and public buildings]. (Doctor thesis). Kharkiv State Technical University of Construction and Architecture. Kharkiv [in Ukrainian].
16. Polovko A. P., Veselivskyy R. B., Vasylenko O. O., Sheljukh Ju. Je. (2011) Eksperymentalne doslidzhennia vohnestiikosti bahatosharovykh ohorodzhualnykh konstrukttsii [Experimental study of fire resistance of multilayer enclosing wall structures]. Pozhezhna bezpeka, 19, 118–123 [in Ukrainian].
17. Kosiorek M., Pogorzelski J. A., Laskowska Z., Pilich K. (1998). Odporność ogniowa konstrukcji budowlanych [Fire resistance of building structure]. Warsaw: Arkady [in Polish].
18. Harmathy T.Z., Design to cope with fully developed fires, [w:] Smith E.E., Harmathy T.Z. (eds.), Design of Buildings for fire safety, Proceedings of a symposium sponsored by American Society for Testing and Materials Committee E05 on Fire Standards, Boston, Massachusetts, 27 June 1978, ASTM Special Technical Publication 685, Philadelphia, Pennsylvania, USA 1979, pp. 198–276. [in English].

JUSTIFICATION OF THE METHOD OF MATCHING OF FIRE RESISTANCE LIMIT OBTAINED DURING OF THE FIRE TEST TO THE FIRE RESISTANCE LIMIT ACCORDING TO THE STANDARD TEMPERATURE MODE

R. Veselivsky

Lviv State University of Life Safety

KEYWORDS	ANNOTATION
matching, fire resistance limit, area comparison method, standard temperature mode, heating temperature, heat-insulating ability	Ways and experience of application of various methods concerning the matching of a limit of fire resistance of building constructions in case of deviation of a temperature mode of fire test from a standard temperature mode of a fire have been analyzed. A comparative analysis of the change in temperature values obtained by experimental and analytical methods up to the critical heating temperature of the enclosing building structure. According to the results of theoretical and experimental studies, it is established that the maximum discrepancy between the values of depths of heat obtained by analytical and experimental methods does not exceed 8%. On the basis of theoretical and experimental researches, the comparison of real and standard temperature effects was performed using the method of comparing the areas under the fire curve and limited by the ordinate of temperature, which achieved one of the criteria of fire resistance and abscissa. Using the method of area comparison, the limit of fire resistance of matching to the standard temperature of the fire was obtained on the basis of the loss of heat-insulating ability of the sample of the enclosing multilayer building structure. The adequacy of the method of matching the limit of fire resistance was checked by analytical calculation using the Green's function. Analysis and comparison of experimental and theoretical results were performed on one thermocouple (point) which was on the unheated surface of the studied sample. The difference between the experimentally determined and theoretically calculated limit of fire resistance on the basis of loss of heat-insulating ability is 9.6% and the difference between the change in temperature depending on the test time is not more than 15%. It is established that the method of matching the real temperature obtained as a result of the fire test to the standard temperature mode of the fire is acceptable for use. The error between the experimentally determined and theoretically calculated limit of fire resistance is not more than 10%.

УДК 614.841.45

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ВОГНЕЗАХИСТУ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.1.64-74>

Новак С.В.¹, ORCID iD [0000-0001-7087-318X](https://orcid.org/0000-0001-7087-318X)

Дріжд В.Л.², ORCID iD [0000-0003-2507-7007](https://orcid.org/0000-0003-2507-7007)

Добростан О.В.^{1*}, ORCID iD [0000-0001-8908-0729](https://orcid.org/0000-0001-8908-0729)

*E-mail: dob2009@ukr.net

¹Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту,
Україна

²Наукове-виробниче підприємство «Спецматеріали», Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

АНОТАЦІЯ

Надійшла до редакції: 05.05.2021

Пройшла рецензування: 24.05.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

Ключові слова: вогнестійкість, вогнезахисний екран, вогнезахисне покриття, критична температура, система вогнезахисту, сталева конструкція

Існуючі системи вогнезахисту для сталевих конструкцій із використанням вогнезахисних покриттів профілю або вогнезахисних екранів не завжди є прийнятними для застосування на практиці через їхню значну товщину, необхідну для забезпечення найвищих класів вогнестійкості цих конструкцій. Зменшення цієї товщини можливо можна здійснити шляхом застосування системи вогнезахисту, в якій ефективно поєднано фізико-хімічні властивості пасивних і реактивних вогнезахисних матеріалів, а також вогнезахисних екранів. Невизначеність впливу параметрів такої системи вогнезахисту на вогнестійкість сталевих конструкцій обумовлює проведення дослідження у цьому напрямку. Проведені дослідження ставили за мету оцінку вогнестійкості сталевих конструкцій з системою вогнезахисту, в якій застосовано вогнезахисний екран і вогнезахисне покриття сталевого профілю. Визначено особливості залежностей температури сталевих конструкцій двотаврового профілю з такою системою вогнезахисту від тривалості вогневого впливу за стандартним температурним режимом. Встановлено, що швидкість підвищення температури найбільша для сталеві конструкції з реактивним вогнезахисним покриттям профілю, найменша – для конструкції з пасивним покриттям. Визначено вплив параметрів системи вогнезахисту на вогнестійкість сталевих конструкцій. Показано, що застосування вогнезахисних екранів призводить до значного підвищення вогнестійкості сталевих конструкцій. За наявності на поверхні конструкції реактивного покриття це підвищення складає від 90 % до 100 %. У разі використання пасивного покриття профілю вогнестійкість конструкції збільшується на величину, яка становить від 67 % до 88 %. Ефективність застосування вогнезахисних екранів більша у разі наявності на поверхні конструкції пасивного покриття ніж реактивного матеріалу. Використання реактивного покриття на внутрішній і зовнішній поверхнях вогнезахисних екранів не призводить до підвищення вогнестійкості сталеві конструкції, яку захищають екраном.

Постановка проблеми. Однією з основних вимог до будівель є збереження під час пожежі несучої здатності будівельних конструкцій протягом визначеного проміжку часу [1]. З цією метою для сталевих конструкцій (колон і балок) застосовують реактивні і пасивні вогнезахисні матеріали, а також горизонтальні і вертикальні вогнезахисні екрани [2].

Реактивні вогнезахисні матеріали в умовах теплового впливу під час пожежі змінюють свій фізичний стан, значно збільшуються в об'ємі завдяки спучуванню і в такий спосіб забезпечують вогнезахист конструкцій завдяки теплоізолювальному ефекту і перебігу ендотермічних реакцій [3, 4]. Товщина сухого шару вогнезахисного покриття з реактивних матеріалів не перевищує декількох міліметрів [5]. Однак ці матеріали здатні забезпечувати несучу здатність сталевих конструкцій протягом обмеженого проміжку часу вогневого впливу, який зазвичай складає (30 – 60) хв [6].

Пасивні вогнезахисні матеріали (штукатурки, плити, панелі, мати) не змінюють свого фізичного стану під час нагрівання і забезпечують вогнезахист конструкцій завдяки своїм теплофізичним властивостям [3]. Такі матеріали здатні забезпечувати несучу здатність сталевих конструкцій протягом проміжків часу вогневого впливу, які відповідають найвищим класам вогнестійкості цих конструкцій (R 120, R 180, R 240, R 360) [2, 7].

Горизонтальними і вертикальними екранами є вироби або конструкції, що можуть складатися з одного або декількох шарів матеріалів, встановлювані перед будівельною конструкцією (балкою, колоною), яку вони захищають [8, 9]. Вони забезпечують вогнезахист будівельної конструкції завдяки тепловому екрануванню її обігрівної поверхні. Вогнезахисні екрани також здатні забезпечувати найвищі класи вогнестійкості сталевих конструкцій [2, 7].

Товщина систем вогнезахисту із використанням пасивних матеріалів або вогнезахисних екранів, необхідна для

забезпечення найвищих класів вогнестійкості сталевих конструкцій, є значною і становить (40 – 70) мм і більше [5, 7], що не завжди є прийнятним для застосування таких систем на практиці. Зменшення цієї товщини можливо можна здійснити шляхом застосування системи вогнезахисту, в якій ефективно поєднано фізико-хімічні властивості пасивних і реактивних вогнезахисних матеріалів, а також вогнезахисних екранів. Така система вогнезахисту можливо зможе забезпечувати несучу здатність сталевих конструкцій протягом тривалого проміжку часу вогневого впливу за товщини вогнезахисту, значення якої менше ніж для систем вогнезахисту без екрану.

Зважаючи на вищезазначене і широке застосування в будівлях сталевих конструкцій, а також необхідність мінімізації їхніх масо-габаритних показників, актуальним слід вважати дослідження, спрямовані на подальше удосконалення і розвиток технології систем вогнезахисту цих конструкцій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сталеві колони і балки належать до несучих будівельних конструкцій, що не виконують огорожувальної функції під час пожежі, і для них встановлено класи вогнестійкості від R 15 до R 360 [2]. Настанням втрати несучої здатності цих конструкцій вважають перевищення нормованих значень швидкості деформації (швидкості осьового зміщення колон і швидкості прогину балок) і фактичної деформації (осьового зміщення колон і прогину балок). Оцінювання вогнестійкості сталевих конструкцій за цією ознакою втрати несучої здатності проводять шляхом випробування за методами, наведеними в EN 1365-3 [10] (для балок) та EN 1365-4 [11] (для колон). В той же час існує інший підхід, за якого ознакою втрати несучої здатності вважають досягнення критичної температури сталевих конструкцій. Це температура, за якої очікується руйнування сталевих конструкцій при рівномірному розподілі температури в ній для заданого рівня її навантаження [12]. Такий підхід впроваджено в стандартах EN 13381-1 [8],

EN 13381-2 [9], EN 13381-4 [3], EN 13381-8 [4], в яких наведено методи випробування з метою визначення впливу горизонтальних і вертикальних вогнезахисних екранів та пасивних і реактивних вогнезахисних матеріалів на вогнестійкість сталевих конструкцій, які вони захищають.

Методи випробування, наведені в EN 13381-4 [3] і EN 13381-8 [4], забезпечують одержання даних щодо вогнезахисної здатності систем вогнезахисту для сталевих конструкцій, в яких використано пасивні або реактивні матеріали, у формі, придатній для прямого внесення у норми будівельного проектування. За цими методами набір коротких ненавантажених сталевих конструкцій (колон або балок довжиною 1,0 м), захищених системою вогнезахисту, піддають випробуванню в умовах вогневого впливу за стандартним температурним режимом. Також вогневому впливу в аналогічний спосіб піддають навантажені і ненавантажені балки або колони з метою одержання інформації щодо здатності системи вогнезахисту залишатися неушкодженою і такою, яка зберігає адгезію до сталевих конструкцій (здатність до зчеплення). Упродовж випробування вимірюють температуру конструкцій у ряді точок їхньої сталевих поверхні. Для оцінювання системи вогнезахисту використовують дані щодо температури коротких сталевих конструкцій. Разом з цим, ці дані коригують з урахуванням показників здатності системи вогнезахисту до зчеплення. Оцінювання властивостей системи вогнезахисту, що характеризують обмеження теплового впливу, виконують, виходячи з коригованої середньої температури сталі для кожної короткої конструкції, користуючись однією з процедур оцінювання, наведених в стандарті. В результаті цього оцінювання одержують ряд таблиць і графічних відображень, що стосуються проміжків часу збереженості вогнестійкості 15 хв, 30 хв, 45 хв тощо. Кожна таблиця або графічне відображення вказують мінімальну товщину системи вогнезахисту,

необхідну для гарантування того, що проектні (критичні) температури 350 °C, 400 °C, ..., 700 °C на сталевих конструкціях, які мають певні коефіцієнти поперечного перерізу, не буде перевищено.

Упродовж випробування горизонтальних і вертикальних вогнезахисних екранів за методами, наведеними в EN 13381-1 [8] і EN 13381-2 [9], в умовах вогневого впливу на екран за стандартним температурним режимом вимірюють температуру обігрівної поверхні будівельної конструкції (балки або колони), яку захищають екраном, а також температуру всередині порожнини, якою є весь вільний простір між необігрівною поверхнею вогнезахисного екрана і обігрівною поверхнею будівельної конструкції (для горизонтального екрану) або затвором печі (для вертикального екрану). За отриманими експериментальними даними щодо цих температур оцінюють несучу здатність будівельної конструкції, яку захищають екраном. Результат визначення несучої здатності відповідає проміжку часу, що минув від початку випробування до моменту досягнення заданого (граничного) значення температури в порожнині або на поверхні будівельної конструкції, залежно від того, що досягається раніше. Для сталевих конструкцій значення граничної температури в порожнині і на поверхні становлять 530 °C і 510 °C, відповідно [8, 9]. Слід відмітити, що в зазначених методах не передбачено застосування в зразку для випробування вогнезахисного покриття або облицювання будівельної конструкції (балки або колони), яку захищають екраном. Під час випробування використовують незахищені конструкції.

Результати випробувань, отримані за вищезазначеними методами для різних матеріалів, показують, що збереженість несучої здатності сталевих конструкцій протягом тривалих проміжків часу вогневого впливу (120 хв і більше) досягається застосуванням пасивних вогнезахисних матеріалів або вогнезахисних екранів [5, 7]. Використання в системах вогнезахисту

тільки реактивних вогнезахисних матеріалів забезпечує вогнестійкість сталевих конструкцій протягом обмеженої тривалості вогневого впливу, яка зазвичай не перевищує 60 хв [5, 6].

Важливим показником систем вогнезахисту є їхня маса і габарити, що пов'язані з товщиною вогнезахисного покриття на поверхні сталевих конструкцій або товщиною вогнезахисного екрана. Для збереження несучої здатності сталевих конструкцій протягом тривалих проміжків часу вогневого впливу необхідно застосовувати системи вогнезахисту, які мають значну товщину (десятки міліметрів і більше), що в деяких випадках обмежує їхнє практичне використання [5, 7]. Існує можливий підхід щодо зменшення цієї товщини, який полягає в комбінованому застосуванні матеріалів в системі вогнезахисту. Проведеним в роботі [13] дослідженням встановлено дані щодо зменшення товщини системи вогнезахисту, в якій застосовано комбінацію пасивного і реактивного матеріалу, і показано, що така система є ефективною для нетривалих проміжків часу вогневого впливу. Можливе інше конструктивне рішення для системи вогнезахисту, відповідно до якого на поверхню сталевих профілів наносять шар вогнезахисного покриття і створюють вогнезахисний короб для захищеного сталевих профілів, який виконує функцію теплового екрана. Однак недостатньо опублікованих результатів досліджень для обґрунтування можливості зменшення товщини системи вогнезахисту за рахунок такого комбінованого застосування матеріалів. Тому є підстави вважати, що невизначеність впливу параметрів системи вогнезахисту, в якій застосовано вогнезахисний екран і вогнезахисне покриття сталевих профілів, на вогнестійкість сталевих конструкцій, обумовлює проведення дослідження у цьому напрямку.

Мета дослідження. Проведені дослідження ставили за мету оцінку вогнестійкості сталевих конструкцій з системою вогнезахисту, в якій застосовано вогнезахисний екран і вогнезахисне покриття сталевих профілів.

Для досягнення цієї мети було поставлено такі завдання:

- визначити конструктивні рішення експериментальних зразків захищених сталевих конструкцій для проведення дослідження;

- визначити залежності температури експериментальних зразків від тривалості вогневого впливу за стандартним температурним режимом;

- провести аналіз отриманих експериментальних даних і оцінити вплив параметрів системи вогнезахисту, в якій застосовано вогнезахисний екран і вогнезахисне покриття сталевих профілів, на вогнестійкість сталевих конструкцій.

Метод і результати дослідження.

Для дослідження застосовано методику, яка ґрунтується на положеннях EN 13381-4 [3], EN 13381-8 [4], EN 13381-2 [9].

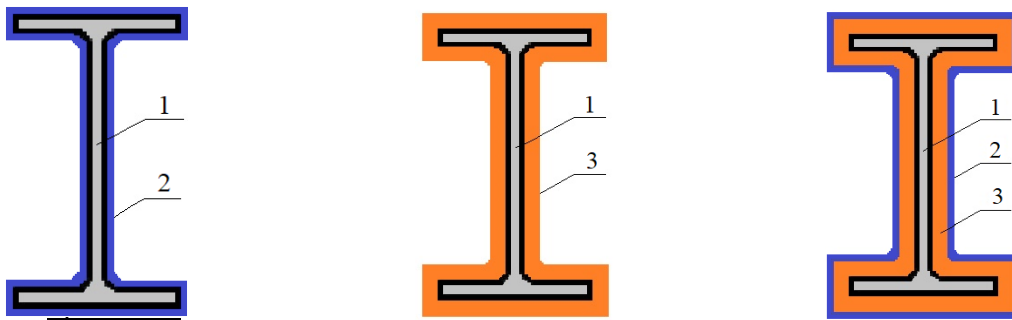
Виготовляли шість експериментальних зразків, які було поділено на дві групи А і В. Параметри цих зразків наведено в табл. 1. На рис. 1, 2 показано їхню конструкцію. Для створення зразків використовували сталеві колони висотою 2,0 м двотаврового перерізу профілю № 20 за ДСТУ 8768 [14], які мають коефіцієнт поперечного перерізу $A_m/V = 292 \text{ м}^{-1}$, пасивний вогнезахисний матеріал (штукатурку) на основі суміші «Ендотерм 210104» [15], реактивний вогнезахисний матеріал, що спучується, на основі суміші «Ендотерм 170205» [16] і вогнезахисний екран коробчастої форми з оцинкованої сталі завтовшки 0,5 мм. Перед вогнезахисним обробленням на поверхню колон наносили ґрунтове покриття ГФ-021 [17] завтовшки 0,05 мм. В зразках А1–А3 застосовано відповідно реактивну, пасивну і комбіновану системи вогнезахисту без вогнезахисних екранів, в зразках В1–В3 – системи вогнезахисту з екранами. В конструкції зразків В1 і В3 застосовано вогнезахисні екрани, які мають реактивне покриття на внутрішній і зовнішній поверхнях екрану. У зразку В2 таке покриття поверхні екрану відсутнє. У зразках В2 і В3 на поверхню колон наносили пасивне вогнезахисне покриття, у зразку В1 – реактивне покриття. Мінімальна відстань між покриттям

колони і внутрішньою поверхнею екрану має місце для зразка B2 і становить 10 мм.

Для виготовлення зразків використовували суміші з однієї партії продукції.

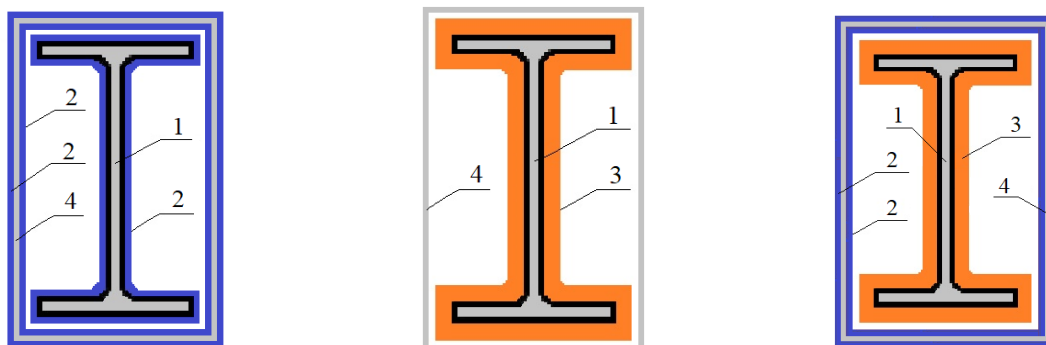
Таблиця 1 – Параметри експериментальних зразків

№	Група	Позна-чка зразка	Наявність пасивного покриття на поверхні профілю/ товщина покриття, мм	Наявність реактивного покриття на поверхні профілю або штукатурки/ товщина покриття, мм	Наяв-ність екрану в зразку	Наявність реактивного покриття на внутрішній поверхні екрану/ товщина покриття, мм	Наявність реактивного покриття на зовнішній поверхні екрану/ товщина покриття, мм
1	A	A1	Ні	Так/2,17	Ні	Ні	Ні
2	A	A2	Так/28,25	Ні	Ні	Ні	Ні
3	A	A3	Так/20,73	Так/2,12	Ні	Ні	Ні
4	B	B1	Ні	Так/2,07	Так	Так/1,80	Так/0,47
5	B	B2	Так/29,06	Ні	Так	Ні	Ні
6	B	B3	Так/24,53	Ні	Так	Так/0,87	Так/0,29



1 – сталеві колони; 2 – реактивне покриття; 3 – пасивне покриття

Рисунок 1 – Конструкція експериментальних зразків групи A



1 – сталеві колони; 2 – реактивне покриття; 3 – пасивне покриття; 4 – екран

Рисунок 2 – Конструкція експериментальних зразків групи B

Для вимірювання температури зразків на сталеву поверхню кожної колони встановлювали по три термопари. Їх розташовували по середині висоти колони по центру стінки двотавра і по центрах внутрішніх поверхонь полиць двотавра.

Всі експериментальні зразки одночасно без навантаження встановлювали в піч, піддавали вогневому впливу за стандартним температурним режимом і вимірювали їхню температуру. За отриманими експериментальними даними для різної тривалості вогневого впливу визначали значення середньої температури кожного зразка і проміжки часу до досягнення на кожному зразку проектних температур, які становлять 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C. Результати визначення середньої температури зразків (далі – температури зразків) і цих проміжків часу наведено на рис. 3, 4 і табл. 2.

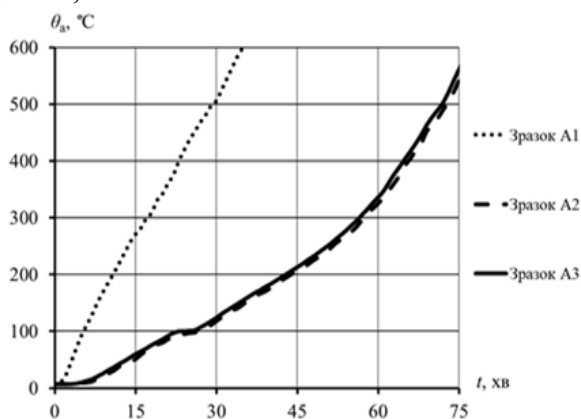


Рисунок 3 – Залежності температури експериментальних зразків групи А (без вогнезахисних екранів) від тривалості вогневого впливу за стандартним температурним режимом

Для всіх зразків групи А залежність їхньої температури від тривалості вогневого впливу за стандартним температурним режимом має монотонно зростаючий характер (рис. 3). Швидкість підвищення температури найбільша для зразка А1 (з реактивним покриттям), найменша – для зразка А2 (з пасивним покриттям). Для зразка А3 (з комбінованим покриттям) швидкість підвищення температури незначно більша ніж для

зразка А2.

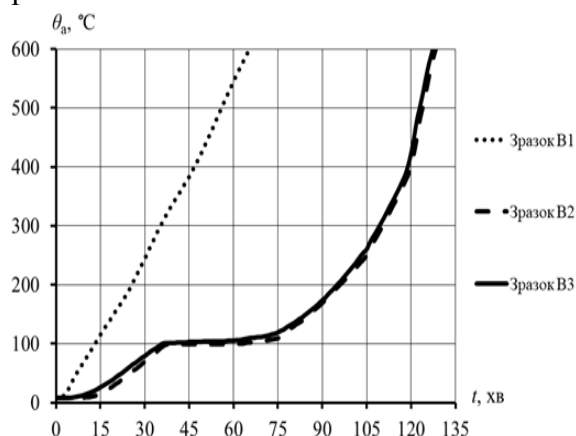


Рисунок 4 – Залежності температури експериментальних зразків групи В (з вогнезахисними екранами) від тривалості вогневого впливу за стандартним температурним режимом

Таблиця 2 – Значення проміжків часу до досягнення проектних температур

Проектна температура θ_D , °C	350	400	450	500	550
Зразок	Проміжком часу t_D , хв				
A1	20	23	25	28	31
A2	61	64	68	71	75
A3	60	63	67	70	73
B1	39	45	50	54	59
B2	114	119	121	123	125
B3	113	118	120	122	124

Значення температури 550 °C для зразків А1, А2, А3 досягається за тривалості вогневого впливу 31 хв, 75 хв, 73 хв, відповідно.

Для зразків групи В монотонно зростаючий характер залежності температури від тривалості вогневого впливу спостерігається тільки для зразка В1 (з реактивним покриттям профілю). Для зразків В2 і В3 (з пасивним покриттям профілю) на цій залежності має місце ділянка зі сталою температурою, яка становить 100 °C (рис. 4). Швидкість підвищення температури найбільша для зразка В1, найменша – для зразків В2 і В3. Значення температури 550 °C для зразків В1, В2, В3 досягається за тривалості вогневого впливу 59 хв, 125 хв, 124 хв,

відповідно. Згідно з EN 13381-4 [3], EN 13381-8 [4], EN 1993-1-2 [12] результат визначення несучої здатності (вогнестійкості) сталевій конструкції відповідає проміжку часу, що минув від початку випробування до досягнення на її поверхні критичної температури сталі. Значення цієї критичної температури залежить від низки параметрів, наприклад, від рівня навантаження сталевій конструкції, і його визначають за 4.2.4 EN 1993-1-2 [12]. Це значення зазвичай знаходиться в діапазоні від 350 °C до 700 °C [3, 4, 12]. Дані, наведені в табл. 2, визначають межу вогнестійкості сталевих конструкцій з різними параметрами системи вогнезахисту для низки значень критичної температури сталі θ_{cr} , які відповідають проектним температурам θ_D , що становлять 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C. З урахуванням зазначеного із аналізу отриманих результатів можна зробити такі висновки щодо впливу параметрів системи вогнезахисту, яку досліджували в даній роботі, на вогнестійкість сталевих конструкцій.

Застосування вогнезахисних екранів призводить до значного підвищення вогнестійкості сталевих конструкцій. Величини цього підвищення $\delta t_{cr,BA}$, розраховані за формулою (1), наведено в табл. 3. За наявності на поверхні конструкції реактивного покриття підвищення $\delta t_{cr,BA}$ складає від 90 % до 100 %. У разі використання пасивного покриття профілю вогнестійкість збільшується на величину, яка становить від 67 % до 88 %. При цьому, якщо прийняти значення критичної температури сталі рівним 510 °C (як граничну величину температури на сталевій поверхні конструкції згідно EN 13381-2 [9]), то при застосуванні вогнезахисного екрану у разі наявності реактивного покриття профілю вогнестійкість зростає з 28 хв до 54 хв, а за наявності пасивного покриття – з 71 хв до 123 хв (табл. 2).

$$\delta t_{cr,BA} = 100(t_{cr,B} - t_{cr,A}) / t_{cr,A} \quad (1)$$

де $t_{cr,B}$ – проміжок часу до досягнення критичної температури сталі, визначений для зразка групи B (з вогнезахисним екраном), хв;

$t_{cr,A}$ – проміжок часу до досягнення критичної температури сталі, визначений для зразка групи A (без вогнезахисного екрану), хв.

Таблиця 3 – Величини підвищення вогнестійкості сталевих конструкцій за рахунок застосування вогнезахисних екранів

Критична температура сталі θ_{cr} , °C	350	400	450	500	550
Зразки для порівняння	Величина підвищення вогнестійкості $\delta t_{cr,BA}$, %				
B1, A1	95	96	100	93	90
B2, A2	87	86	78	73	67
B3, A3	88	87	79	74	70

Ефективність застосування вогнезахисних екранів більша у разі наявності на поверхні конструкції пасивного покриття ніж реактивного матеріалу. Наприклад, вогнестійкість сталевій конструкції, захищеної екраном, з пасивним покриттям профілю у разі $\theta_{cr} = 510$ °C становить 123 хв (табл. 2, зразок B2), в той час, як для конструкції з реактивним покриттям вона складає 54 хв (табл. 2, зразок B1).

Застосування реактивного покриття на внутрішній і зовнішній поверхнях вогнезахисних екранів не призводить до підвищення вогнестійкості сталевій конструкції, яку захищають екраном. Про це свідчать дані щодо порівняння проміжків часу до досягнення проектних температур, наведених в табл. 2 для зразків B2 і B3. Різниця між значеннями цих проміжків не перевищує 2 хв.

Такі висновки можуть вважатися за доцільні з практичної точки зору, тому що дозволяють обґрунтовано підходити до визначення параметрів складових системи вогнезахисту для сталевих конструкцій. Однак неможливо не відмітити, що результати даного дослідження отримані для системи вогнезахисту, до складу якої

входять пасивний і реактивний вогнезахисні матеріали тільки двох торгових марок [15, 16] і вогнезахисний екран тільки однієї конструкції. Крім того максимальне значення проміжку часу до досягнення критичної температури сталі, визначене для цієї системи вогнезахисту, що складає 125 хв, є значно меншим ніж тривалість вогневого впливу для найвищого нормованого класу вогнестійкості сталевих конструкцій R 360 [8]. Неоднозначним є вплив на вогнестійкість сталевих конструкцій, захищених системою з екраном, в якій товщина покриття з пасивного матеріалу перевищує значення, яке було під час проведеного дослідження. Можливо застосування пасивного покриття на поверхні вогнезахисного екрану дозволить значно підвищити проміжок часу до досягнення критичної температури сталі. Така невизначеність накладає певні обмеження на використання отриманих результатів, що може трактуватися, як недоліки даного дослідження. Неможливість зняти названі обмеження в рамках даного дослідження породжує потенційно цікавий напрям подальших досліджень. Вони, зокрема, можуть бути орієнтовані на виявлення залежностей між проміжком часу до досягнення критичної температури сталі, товщиною вогнезахисного покриття профілю і вогнезахисного екрану, коефіцієнтом поперечного перерізу сталеві конструкції для системи вогнезахисту, придатної забезпечувати вогнестійкість протягом тривалих проміжків часу вогневого впливу. Таке виявлення дозволить визначити оптимальні параметри системи вогнезахисту з екраном, прийнятні для забезпечення вогнестійкості сталевих конструкцій для широкого діапазону тривалості вогневого впливу за стандартним температурним режимом.

Висновки та напрями подальших досліджень. Проведеним дослідженням визначено особливості залежностей температури сталевих конструкцій двотаврового профілю з системою вогнезахисту, в якій застосовано вогнезахисне покриття профілю і

вогнезахисний екран, від тривалості вогневого впливу за стандартним температурним режимом. Встановлено, що ця залежність для сталевих конструкцій з реактивним покриттям профілю має монотонно зростаючий характер. Для конструкцій з пасивним покриттям профілю на цій залежності має місце ділянка зі сталою температурою, яка становить 100 °С. Швидкість підвищення температури найбільша для конструкції з реактивним покриттям профілю (значення температури 550 °С досягається за тривалості вогневого впливу 59 хв), найменша – для конструкції з пасивним покриттям (ця температура досягається за тривалості 125 хв).

Визначено вплив параметрів системи вогнезахисту на вогнестійкість сталевих конструкцій. Показано, що застосування вогнезахисних екранів призводить до значного підвищення вогнестійкості сталевих конструкцій. За наявності на поверхні конструкції реактивного покриття це підвищення складає від 90 % до 100 %. У разі використання пасивного покриття профілю вогнестійкість конструкції збільшується на величину, яка становить від 67 % до 88 %. Ефективність застосування вогнезахисних екранів більша у разі наявності на поверхні конструкції пасивного покриття ніж реактивного матеріалу. Вогнестійкість сталеві конструкції з пасивним покриттям профілю для критичної температури сталі 510 °С становить 123 хв, в той час, як для конструкції з реактивним покриттям вона складає 54 хв. Застосування реактивного покриття на внутрішній і зовнішній поверхнях вогнезахисних екранів не призводить до підвищення вогнестійкості сталеві конструкції, яку захищають екраном.

Визначено напрями подальших досліджень, які орієнтовані на виявлення залежностей між проміжком часу до досягнення критичної температури сталі, товщиною вогнезахисного покриття профілю і вогнезахисного екрану, коефіцієнтом поперечного перерізу сталеві конструкції для системи вогнезахисту, придатної забезпечувати

вогнестійкість протягом тривалих стандартним температурним режимом.
проміжків часу вогневого впливу за

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Regulation (EU) № 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonized conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC. – OJ L 88, 4.4.2011. P. 5–43.
2. EN 13501-2:2016. Fire classification of construction products and building elements – Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2016 CEN. 79 p.
3. EN 13381-4:2013. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 4: Applied passive protection to steel members. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2013 CEN. 83 p.
4. EN 13381-8:2013. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 8: Applied reactive protection to steel members. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2013 CEN. 80 p.
5. Калафат К. В., Вахитова Л. Н. Каталог средств огнезащиты стальных конструкций 2017 : публикация. Метінвест, 2017. 91 с.
6. Пронин Д.Г. Огнестойкость стальных несущих конструкций: публикация. Аксиом графикс юнион, 2015. 52 с.
7. Вахитова Л. Н., Калафат К. В. Основы огнезащиты стальных конструкций. *Промислове виробництво та інженерні споруди*. 2015, № 2. С. 23–27.
8. EN 13381-1:2014. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 1: Horizontal protective membranes. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2014 CEN. 52 p.
9. EN 13381-2:2014. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 2: Vertical protective membranes. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2014 CEN. 40 p.
10. EN 1365-3:1999. Fire resistance tests for loadbearing elements – Part 3: Beams. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Central Secretariat: rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels. 1999 CEN. 14 p.
11. EN 1365-4:1999. Fire resistance tests for loadbearing elements – Part 4: Columns. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Central Secretariat: rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels. 1999 CEN. 11 p.
12. EN 1993-1-2:2005 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Central Secretariat: rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels. 2005 CEN. 78 p.
13. Novak S., Drizhd V., Dobrostan O. Thermal state of steel structures with a combined fire protection system under conditions of fire exposure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. № 3/10 (105). 2020. P. 17–25.
14. ДСТУ 8768:2018. Двотаври сталеві гарячекатані. Сортамент. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018. 9 с.
15. ТУ У 24.3-13481691-007-2003 Суміш для покриття «Ендотерм 210104». Технічні умови. Донецький центр стандартизації, метрології та сертифікації. 2003. 25 с.
16. ТУ У 24.3-13481691-009-2004 Суміш для вогнезахисного покриття «ЕНДОТЕРМ 170205». Технічні умови. Технічні умови. Донецький центр стандартизації, метрології та сертифікації. 2004. 18 с.
17. ГОСТ 25129-82 Грунтовка ГФ-021. Технические условия (с Изменениями № 1, 2). URL : <https://docs.cntd.ru/document/1200004623> (дата звернення 12.05.2021).

REFERENCES

1. Regulation (EU) № 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonized conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC. – OJ L 88, 4.4.2011. P. 5–43. [in English].
2. EN 13501-2:2016. Fire classification of construction products and building elements – Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2016 CEN. 79 p. [in English].

3. EN 13381-4:2013. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 4: Applied passive protection to steel members. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2013 CEN. 83 p. [in English].
4. EN 13381-8:2013. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 8: Applied reactive protection to steel members. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2013 CEN. 80 p. [in English].
5. Calafat K. V., Vakhitova L. N. Catalog of fire protection products for steel structures 2017: publication. Metinvest, 2017. 91 p. [in Russian].
6. Pronin D.G. Fire resistance of steel load-bearing structures: publication. Axiom Graphics Union, 2015. 52 p. [in Russian].
7. Vakhitova L. N., Calafat K. V. Fundamentals of fire protection of steel structures. Industrial production and engineering structures. 2015, № 2. 23–27 p. [in Russian].
8. EN 13381-1:2014. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 1: Horizontal protective membranes. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2014 CEN. 52 p. [in English].
9. EN 13381-2:2014. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 2: Vertical protective membranes. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2014 CEN. 40 p. [in English].
10. EN 1365-3:1999. Fire resistance tests for loadbearing elements – Part 3: Beams. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Central Secretariat: rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels. 1999 CEN. 14 p. [in English].
11. EN 1365-4:1999. Fire resistance tests for loadbearing elements – Part 4: Columns. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Central Secretariat: rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels. 1999 CEN. 11 p. [in English].
12. EN 1993-1-2:2005 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Central Secretariat: rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels. 2005 CEN. 78 p. [in English].
13. Novak, S., Drizhd, V., Dobrostan, O. Thermal state of steel structures with a combined fire protection system under conditions of fire exposure. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. № 3/10 (105). 2020. P. 17–25 [in Ukrainian].
14. DSTU 8768: 2018. I-beams steel hot-rolled. Assortment. Kyiv: UkrNDNC, 2018. 9 p. [in Ukrainian].
15. TU U 24.3-13481691-007-2003 Mixture for coating "Endotherm 210104". Specifications. Donetsk Center for Standardization, Metrology and Certification. 2003. 25 p. [in Ukrainian].
16. TU U 24.3-13481691-009-2004 Mixture for fire-retardant coating "ENDOTHERM 170205". Specifications. Specifications. Donetsk Center for Standardization, Metrology and Certification. 2004. 18 p. [in Ukrainian].
17. GOST 25129-82 Primer GF-021. Technical conditions (with Changes № 1, 2). Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/1200004623> [in Russian].

INFLUENCE OF FIRE PROTECTION SYSTEM PARAMETERS ON FIRE RESISTANCE OF STEEL STRUCTURES

S. Novak¹, V. Drizhd², O. Dobrostan¹,

¹*Institute of Public Administration and Research on Civil Defense, Ukraine*

²*Scientific and production enterprise Special materials, Ukraine*

KEYWORDS	ANNOTATION
fire resistance, fire protection screen, fire protection coating, critical temperature, fire protection system, steel structure	Existing fire protection systems for steel structures using fire-retardant profile coatings or fire-retardant screens are not always acceptable for practical use due to their considerable thickness required to ensure the highest fire resistance classes of these structures. Reducing this thickness can possibly be done by using a fire protection system that effectively combines the physicochemical properties of passive and reactive fire retardant materials, as well as fire shields. Uncertainty of influence of parameters of such system of fire protection on fire resistance of steel designs causes carrying out of research in this direction. The studies aimed to assess the fire resistance of steel structures with a fire protection system, which uses a fire shield and fire protection coating of the steel profile. Peculiarities of temperature dependences of steel structures of I-column profile with such combined system of fire protection on duration of fire influence on standard temperature mode are

defined. It is established that the rate of temperature rise is the highest for a steel structure with a reactive fire-retardant coating of the profile (the value of 550 °C is reached for the duration of fire exposure 59 min), the lowest – for a structure with passive coating (this temperature is reached for 125 min). The influence of the parameters of the fire protection system on the fire resistance of steel structures is determined. It is shown that the use of fire shields leads to a significant increase in fire resistance of steel structures. If there is a reactive coating on the surface of the structure, this increase is from 90 % to 100 %. In the case of using a passive coating of the profile, the fire resistance of the structure increases by an amount ranging from 67 % to 88 %. The effectiveness of fire shields is greater in the presence of a passive coating on the surface of the structure than the reactive material. The use of reactive coating on the inner and outer surfaces of fire shields does not increase the fire resistance of the steel structure, which is protected by a screen.

УДК 351.861

КЛАСТЕРИЗАЦІЯ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ ЗА РІВНЕМ НЕБЕЗПЕКИ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЄДИНОЇ ДЕРЖАВНОЇ СИСТЕМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.1.75-84>

Тютюник В.В.^{1*}, ORCID iD [0000-0001-5394-6367](https://orcid.org/0000-0001-5394-6367)

Тютюник О.О.², ORCID iD [0000-0002-3330-8920](https://orcid.org/0000-0002-3330-8920)

Удянський М.М.¹, ORCID iD [0000-0002-5734-8492](https://orcid.org/0000-0002-5734-8492)

Яценко О.А.¹, ORCID iD [0000-0001-7129-389X](https://orcid.org/0000-0001-7129-389X)

*E-mail: tutunik_v@ukr.net

¹Національний університет цивільного захисту України, Україна

²Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 27.05.2021

Пройшла рецензування: 11.06.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА :

надзвичайна ситуація, кластерний аналіз, невизначеність інформації, Єдина державна система цивільного захисту, інформаційно-аналітична підсистема управління процесами запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій, система моніторингу надзвичайних ситуацій, система ситуаційних центрів.

АНОТАЦІЯ

Представлено результати класифікації території України за рівнем небезпеки життєдіяльності населення в умовах виникнення надзвичайних ситуацій (НС) різного походження. Аналіз проведено шляхом комплексного розгляду кількості виникнення НС природного та техногенного характеру за 2015–2019 рр. Класифікацію регіонів держави виконано за допомогою кластерного аналізу, який полягає у знаходженні груп схожих об'єктів у вибірці даних, так званих кластерів. У результаті класифікації за кількістю виникнення НС природного характеру області України об'єднано у три кластери. До першого кластеру, з високим рівнем виникнення НС, віднесено області де кількість виникнення НС природного характеру знаходиться на рівні 7–8 подій на рік. До другого кластеру, з середнім рівнем виникнення НС, віднесено області де кількість виникнення НС природного характеру знаходиться на рівні 4–6 подій на рік. До третього кластеру, з відносно низьким рівнем виникнення НС, віднесено області де кількість виникнення НС природного характеру знаходиться на рівні до 3 подій на рік. У результаті класифікації за кількістю виникнення НС техногенного характеру області України об'єднано у три кластери. До першого кластеру, з високим рівнем виникнення НС, віднесено області де кількість виникнення НС техногенного характеру знаходиться на рівні 5–6 подій на рік. До другого кластеру, з середнім рівнем виникнення НС, віднесено області де кількість виникнення НС техногенного характеру знаходиться на рівні 3–4 подій на рік. До третього кластеру, з відносно низьким рівнем виникнення НС, віднесено області де кількість виникнення НС техногенного характеру знаходиться на рівні до 2 подій на рік. За результатами проведеного кластерного аналізу регіонів України дана оцінка ефективності функціонування Єдиної державної системи цивільного захисту (ЄДСЦЗ). З урахуванням невизначеності параметрів, які впливають на умови нормального функціонування території держави, запропоновано створення ефективної інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами запобігання та ліквідації НС при комплексному включенні в діючу ЄДСЦЗ по вертикалі від об'єктового до державного рівнів, різних функціональних елементів територіальної системи моніторингу НС та системи ситуаційних центрів. Виходячи з проведеного аналізу встановлено, що функціонування ЄДСЦЗ, а відповідно й інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами

запобігання та ліквідації НС, відбувається в умовах імовірності виникнення небезпек для регіонів держави. Така динаміка обумовлюється невизначеністю параметрів, які впливають на умови нормального функціонування території України. У зв'язку з цим виникає проблема прийняття оптимальних антикризових рішень в умовах невизначеності щодо забезпечення відповідного рівня безпеки життєдіяльності держави. Показано, що процедура прийняття управлінських рішень ускладнюється тим, що необхідними умовами ефективності рішень є їх своєчасність, повнота й оптимальність. Тому, підвищення ефективності прийнятих рішень пов'язане з необхідністю рішення задачі багатокритеріальної оптимізації в умовах невизначеності, що потребує розробки формальних, нормативних методів і моделей комплексного рішення проблеми прийняття рішень в умовах багатокритеріальності й невизначеності при управлінні процесами запобігання та ліквідації НС для забезпечення ефективного функціонування ЄДСЦЗ.

Постановка проблеми. В Україні для забезпечення реалізації державної політики у сфері цивільного захисту функціонує ЄДСЦЗ, яка складається з функціональних і територіальних підсистем [1] та спрямована на розв'язання питань забезпечення необхідного рівня безпеки життєдіяльності території держави лише в умовах, коли виникла НС.

При цьому, базуючись на уявленнях системного підходу, цілковито відкритими для держави залишаються проблемні питання реалізації в системі ЄДСЦЗ функції моніторингу та розробки ефективних управлінських рішень всіх локальних підсистем, спрямованих на попередження та локалізацію НС, в умовах зародження джерел небезпек різної природи.

Це вказує на необхідність термінового розв'язання питань включення до складу ЄДСЦЗ інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами запобігання та ліквідації НС.

Створення ефективної інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами запобігання та ліквідації НС пропонується у відповідності за підходом, який графічно представлено на рис. 1. У цьому підході реалізовано комплексне включення в діючу систему ЄДСЦЗ по вертикалі від об'єктового до державного

рівнів різних функціональних елементів територіальної підсистеми моніторингу НС та складових підсистеми ситуаційних центрів, які жорстко пов'язані між собою на інформаційному та виконавчому рівнях для прийняття відповідних антикризових рішень для розв'язання різних функціональних задач моніторингу, попередження та ліквідації НС природного, техногенного, соціального та воєнного характеру [2–4]. Одним з актуальних напрямків розробки у ЄДСЦЗ інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами запобігання та ліквідації НС є забезпечення стану стабільного функціонування території України в умовах прояву НС природного та техногенного характеру, який потребує комплексного вивчення, в умовах невизначеності вхідних даних, як безпосередньо умов зародження та розвитку небезпеки, так і взаємозв'язків, що впливатимуть надалі на каскадні прояви небезпек різного характеру, а також наслідків від цих небезпек. Для цього необхідне формування об'єктивних критеріїв, які, по-перше, мають визначати рівень доцільності застосування запропонованих заходів з підвищення рівня безпеки держави, по-друге, будуть основою для створення відповідної системи захисту.

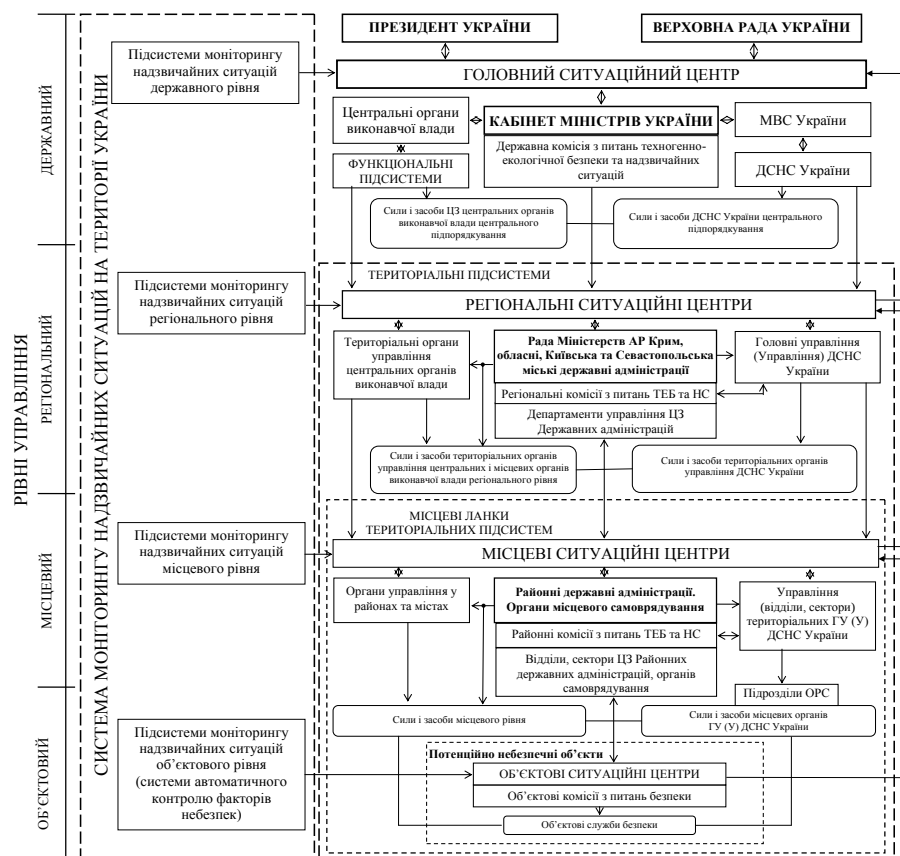


Рисунок 1. – Комплексна функціональна схема інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами запобігання та ліквідації НС у Єдиній державній системі цивільного захисту

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В умовах нерівномірного розподілу джерел небезпек по території України кожній області держави притаманні свої рівні природного, техногенного, соціального та воєнного навантажень, які впливають на склад сил та тактико-технічні характеристики засобів системи безпеки. Знання цих рівнів необхідно для адекватного реагування на небезпеки. Тому оцінка ефективності функціонування існуючої ЄДСЦЗ потребує розробки наукових підходів щодо урахування динамічних особливостей регіонів за якісно-кількісним рівнем небезпеки та стабільністю життєдіяльності території держави в умовах дестабілізуючого впливу цих небезпек [2–5].

Аналіз наукової літератури [6–9] показує, що при розв’язанні проблеми формування системи комплексних заходів для запобігання НС різної природи виникає необхідність дослідження

особливостей прояву нелінійних взаємозв’язків між складовими процесів життєдіяльності України у режимах повсякденного функціонування та надзвичайного стану.

Тому, загальною метою нашого дослідження є розвиток, базуючись на уявленнях системного підходу та шляхом використання методів штучного інтелекту, науково-технічних основ створення у ЄДСЦЗ інформаційно-аналітичної підсистеми підтримки прийняття рішень щодо забезпечення функціонування ситуаційних центрів для стратегічного управління процесами запобігання та ліквідації НС.

Метою цієї роботи є розробка системи критеріїв оцінювання ефективності функціонування в умовах невизначеності вхідної інформації ЄДСЦЗ шляхом проведення наукових досліджень, спрямованих на аналіз класифікації та ранжирування на регіональному рівні управління локальних територій України за

кількістю виникнення НС природного та техногенного характеру.

Методи дослідження. Класифікацію регіонів держави за кількістю виникнення НС природного та техногенного характеру виконано за допомогою кластерного аналізу, який полягає у знаходженні груп схожих об'єктів у вибірці даних, так званих кластерів, які характеризуються наступними основними властивостями: щільність, дисперсія, розмір, форма та віддільність. Під щільністю мається на увазі властивість, яка дозволяє визначити кластер, як скупчення точок у просторі даних, відносно щільне у порівнянні з іншими областями простору, що містять або малу кількість точок або не містять їх взагалі. Дисперсія характеризує міру розсіювання точок у просторі відносно центра кластера. Розмір кластера тісно пов'язаний з дисперсією. Форма кластера визначається положенням точок у просторі. При зображенні кластерів у вигляді різних форм виникає необхідність визначення «зв'язаності» точок у кластері у вигляді відносної міри відстані між ними. Міри відстані зазвичай не обмежені зверху та залежать від вибору шкали (масштабу) вимірів. Віддільність характеризує міру перекриття кластерів і наскільки далеко один від одного вони розташовані у просторі.

При визначенні міри відстані однією з найбільш відомих відстаней є евклідова відстань, яка визначається як:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{z=1}^p (X_{iz} - X_{jz})^2}, \quad (1)$$

де d_{ij} – відстань між об'єктами i та j ; X_{iz} – абсолютне значення z -ї змінної для i -го об'єкта; X_{jz} – абсолютне значення z -ї змінної для j -го об'єкта.

Проте при аналізі міри відстані оцінка схожості сильно залежить від відмінностей у зрушеннях даних; так, змінні, що характеризуються великими абсолютними значеннями та стандартними відхиленнями, можуть зменшити вплив

змінних, які характеризуються малими абсолютними значеннями та стандартними відхиленнями. Тому для зменшення цього впливу в роботі перед визначенням міри відстані d_{ij} проведений процес стандартизації даних, що базується на нормалізації змінних до одиничної дисперсії та нульового середнього:

$$X_{iz}^* = \frac{X_{iz} - M[X_i]}{\sigma_{X_i}}; \quad X_{jz}^* = \frac{X_{jz} - M[X_j]}{\sigma_{X_j}}, \quad (2)$$

де X_{iz}^* , X_{jz}^* – стандартизовані значення z -х змінних для i -го та j -го об'єктів; $M[X_i]$, $M[X_j]$ – математичні очкування, характерні для змінних i -го та j -го об'єктів; σ_{X_i} , σ_{X_j} – стандартні відхилення, характерні для змінних i -го та j -го об'єктів.

Відомі методи кластерного аналізу можна розподілити на дві групи – ієрархічні та неієрархічні методи. Суть ієрархічної кластеризації полягає у послідовному об'єднанні менших кластерів у великі, так звані агломеративні методи, або в розділенні великих кластерів на менші, так звані дивізімні методи.

Використання методу Варда, як одного з широко використовуваних агломеративних методів при ієрархічній кластеризації основних змінних, що визначають умови повсякденного функціонування території та прояву техногенної небезпеки, а також при ієрархічній кластеризації регіонів України відповідно за значеннями цих змінних, дозволило нам отримати нові результати. Перевага методу Варда полягає в тому, що він відрізняється від усіх інших агломеративних методів, оскільки використовує методи дисперсійного аналізу для оцінки відстані між кластерами. Метод мінімізує суму квадратів дисперсії для кластерів, які можуть бути сформовані на кожному кроці.

Виклад основного матеріалу. На першому кроці проведено кластерний аналіз областей за кількістю виникнення НС природного характеру. Аналіз вибірки включав 125 спостережень по території

України за період 2015–2019 рр. із кроком спостереження – один рік. Результати кластеризації областей України за кількістю виникнення НС природного характеру представлені у вигляді дендрограми на рис. 2 та у картографічному вигляді на рис. 3.

На рис. 2 і 3 спостерігається розділення території України на райони з різною кількістю виникнення НС природного характеру за 2015–2019 рр. Комплексний аналіз держави дозволило розділити територію України на три основних кластери. До першого кластеру, з високим рівнем виникнення НС природного характеру, відносяться Київська та Чернігівська області, а також місто Київ. Кількість виникнення НС природного характеру у цих областях знаходиться на рівні $K_{НС}^{Прир} = 7 \div 8$ НС. До другого

кластеру, з середнім рівнем виникнення НС природного характеру, відносяться Волинська, Полтавська, Миколаївська, Чернівецька, Одеська, Житомирська, Хмельницька, Івано-Франківська, Рівненська, Кіровоградська, Сумська та Харківська області. Кількість виникнення НС природного характеру у цих областях знаходиться на рівні $K_{НС}^{Прир} = 4 \div 6$ НС. До третього кластеру, з відносно низьким рівнем виникнення НС природного характеру, відносяться інші області держави. Кількість виникнення НС природного характеру у цих областях знаходиться на рівні $K_{НС}^{Прир} = 0 \div 3$ НС.

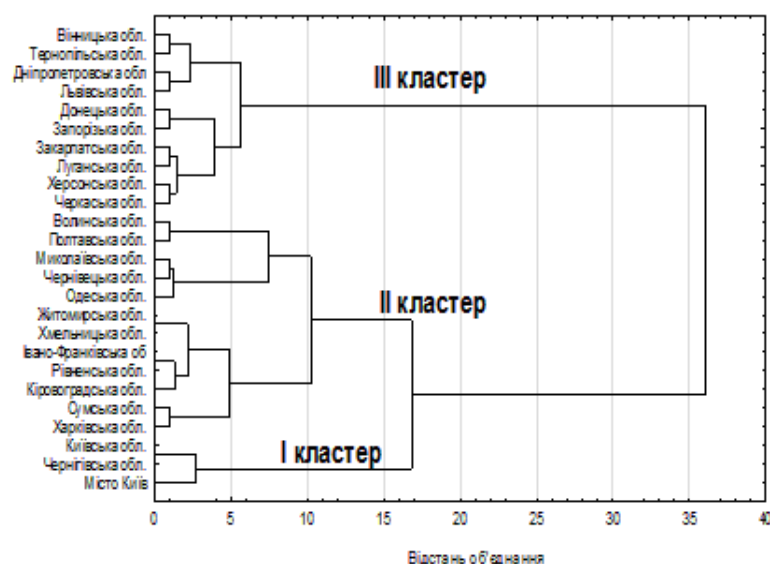


Рисунок 2 – Дендрограма кластеризації областей України за кількістю виникнення НС природного характеру за 2015–2019 рр.



Рисунок 3 – Картографічне представлення результатів кластеризації областей України за кількістю виникнення НС природного характеру за 2015–2019 рр.

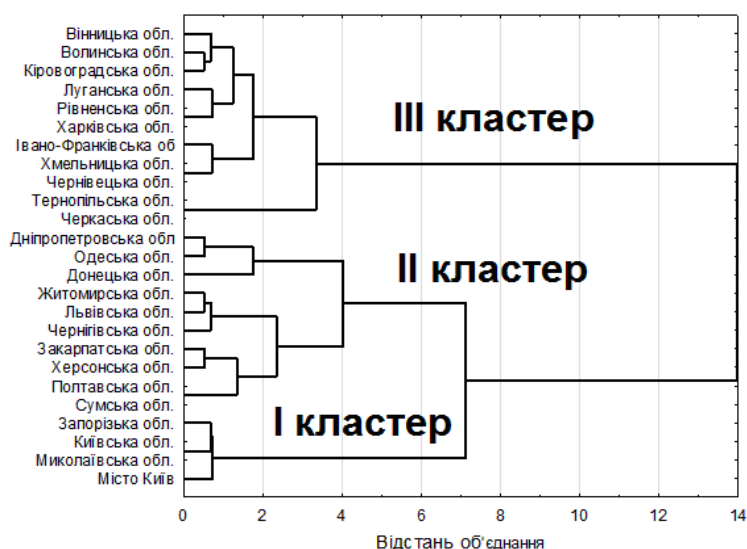


Рисунок 4 – Дендрограма кластеризації областей України за кількістю виникнення НС техногенного характеру за 2015–2020 рр.



Рисунок 5 – Картографічне представлення результатів кластеризації областей України за кількістю виникнення НС техногенного характеру за 2015–2019 рр.

На другому кроці проведено кластерний аналіз областей за кількістю виникнення НС техногенного характеру. Аналіз вибірки включав 125 спостережень по території України за період 2015–2019 рр. із кроком спостереження – один рік. Результати кластеризації областей України за кількістю виникнення НС техногенного характеру представлені у вигляді дендрограми на рис. 4 та у картографічному вигляді на рис. 5.

На рис. 4 і 5 спостерігається розділення території України на райони з різною кількістю виникнення НС техногенного характеру за 2015–2019 рр.. Комплексний

аналіз держави дозволило розділити територію України на три основних кластери. До першого кластеру, з високим рівнем виникнення НС техногенного характеру, відносяться Київська, Запорізька та Миколаївська області, а також місто Київ. Кількість виникнення НС техногенного характеру у цих областях знаходиться на рівні $K_{НС}^{Техн.} = 5 \div 6$ НС. До другого кластеру, з середнім рівнем виникнення НС техногенного характеру, відносяться Дніпропетровська, Одеська, Донецька, Житомирська, Львівська, Чернігівська, Закарпатська, Херсонська,

Полтавська та Сумська області. Кількість виникнення НС техногенного характеру у цих областях знаходиться на рівні $K_{НС}^{Тех.} = 3 \div 4$ НС. До третього кластеру, з відносно низьким рівнем виникнення НС техногенного характеру, відносяться інші області держави. Кількість виникнення НС техногенного характеру у цих областях знаходиться на рівні $K_{НС}^{Тех.} = 0 \div 2$ НС.

Виходячи з проведеного аналізу необхідно констатувати, що функціонування ЄДСЦЗ відбувається в умовах імовірності виникнення небезпек для життєдіяльності регіонів держави. Така динаміка обумовлюється невизначеністю параметрів, які впливають на умови нормального функціонування території України, невизначеністю часу та місця виникнення небезпек, а також невизначеністю наслідками від цих небезпек. У зв'язку з цим виникає проблема прийняття оптимальних антикризових рішень в умовах невизначеності щодо забезпечення відповідного рівня безпеки життєдіяльності держави. Але згідно [10] необхідними умовами прийняття антикризових рішень є своєчасність, повнота та оптимальність.

Забезпечення повноти рішень вимагає як можна більш повного обліку внутрішніх і зовнішніх факторів, що впливають на ухвалення рішення, глибокого аналізу їх взаємозв'язків, що веде до росту розмірності задачі прийняття рішень, її багатокритеріальності. У свою чергу це приводить до росту невизначеності вихідних даних, що обумовлене неповнотою знань про взаємозв'язок факторів і, як наслідок, неточного її опису, неможливістю або неточністю виміру деяких факторів, випадкових зовнішніх і внутрішніх впливів тощо. Додаткова складність полягає в тому, що невизначеності різномірні й можуть бути представлені у вигляді випадкових або інтервальних величин та нечітких множин.

Таким чином, підвищення ефективності прийняття рішень пов'язане з необхідністю рішення задачі багатокритеріальної оптимізації в умовах невизначеності. Традиційний, розповсюджений підхід до

рішення таких задач, заснований на їх евристичному спрощенні та детермінізації, як засобу зняття невизначеності, у міру ускладнення задач і підвищення значимості рішень стає усе менш ефективним [11].

У цих умовах виникає необхідність розробки формальних, нормативних методів і моделей комплексного рішення проблеми прийняття рішень в умовах багатокритеріальності й невизначеності при управлінні процесами попередження й локалізації наслідків НС для забезпечення ефективного функціонування ЄДСЦЗ.

Висновки та напрями подальшого дослідження. Запропоновано створення ефективної інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами запобігання та ліквідації НС шляхом комплексного включення в діючу систему ЄДСЦЗ по вертикалі, від об'єктового до державного рівнів різних функціональних елементів територіальної системи моніторингу НС та складових системи ситуаційних центрів, які жорстко пов'язані між собою на інформаційному та виконавчому рівнях для прийняття відповідних антикризових рішень, для розв'язання різних функціональних задач моніторингу, запобігання та ліквідації НС природного, техногенного, соціального та воєнного характеру.

Проведено кластерний аналіз території України за кількістю виникнення НС природного характеру за 2015–2019 рр. У результаті районування області України об'єднано у три кластери. До I кластеру, з високим рівнем виникнення НС природного характеру, відносяться Київська та Чернігівська області, а також місто Київ. Кількість виникнення НС природного характеру у цих областях знаходиться на рівні $K_{НС}^{Прир} = 7 \div 8$ НС. До II кластеру, з середнім рівнем виникнення НС природного характеру, відносяться Волинська, Полтавська, Миколаївська, Чернівецька, Одеська, Житомирська, Хмельницька, Івано-Франківська, Рівненська, Кіровоградська, Сумська та Харківська області. Кількість виникнення НС природного характеру у цих областях знаходиться на рівні $K_{НС}^{Прир} = 4 \div 6$ НС. До

III кластеру, з відносно низьким рівнем виникнення НС природного характеру, відносяться інші області держави. Кількість виникнення НС природного характеру у цих областях знаходиться на рівні $K_{НС}^{Прир} = 0 \div 3$ НС.

Проведено кластерний аналіз території України за кількістю виникнення НС техногенного характеру за 2015–2019 рр. У результаті районування області України об'єднано у три кластери. До I кластеру, з високим рівнем виникнення НС техногенного характеру, відносяться Київська, Запорізька та Миколаївська області, а також місто Київ. Кількість виникнення НС техногенного характеру у цих областях знаходиться на рівні $K_{НС}^{Техн.} = 5 \div 6$ НС. До II кластеру, з середнім рівнем виникнення НС техногенного характеру, відносяться Дніпропетровська, Одеська, Донецька, Житомирська, Львівська, Чернігівська, Закарпатська, Херсонська, Полтавська та Сумська області. Кількість виникнення НС техногенного характеру у цих областях знаходиться на рівні $K_{НС}^{Техн.} = 3 \div 4$ НС. До III кластеру, з відносно низьким рівнем виникнення НС техногенного характеру, відносяться інші області держави. Кількість виникнення НС техногенного характеру у цих областях знаходиться на рівні $K_{НС}^{Техн.} = 0 \div 2$ НС.

Виходячи з проведеного аналізу встановлено, що функціонування ЄДСЦЗ, а відповідно й інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами запобігання та ліквідації НС (яка складається з функціональних елементів територіальної системи моніторингу НС та системи ситуаційних центрів), відбувається в умовах імовірності виникнення небезпек для регіонів держави. Така динаміка обумовлюється невизначеністю параметрів, які впливають на умови нормального функціонування території України. У зв'язку з цим виникає проблема прийняття оптимальних антикризових рішень в умовах невизначеності щодо забезпечення відповідного рівня безпеки життєдіяльності держави.

Показано, що процедура прийняття управлінських рішень ускладнюється тим, що необхідними умовами ефективності рішень є їх своєчасність, повнота й оптимальність. Тому, підвищення ефективності прийнятих рішень пов'язане з необхідністю рішення задачі багатокритеріальної оптимізації в умовах невизначеності, що потребує розробки формальних, нормативних методів і моделей комплексного рішення проблеми прийняття рішень в умовах багатокритеріальності й невизначеності при управлінні процесами попередження й локалізації наслідків НС для забезпечення ефективного функціонування ЄДСЦЗ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кулешов М. М., Садковий В. П., Тютюник В. В. Державна система цивільного захисту. Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2020. 232 с.
2. Тютюник В. В., Калугін В. Д., Писклакова О. О. Основоположні принципи створення у Єдиній державній системі цивільного захисту інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків надзвичайних ситуацій. *Збірник наукових праць Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава: Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2018. №4(50). С. 168–177.
3. Тютюник В. В., Калугін В. Д., Писклакова О. О. Оцінка умов створення у Єдиній державній системі цивільного захисту інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків надзвичайних ситуацій на основі аналізу динаміки прояву небезпек на території України. *Наукове видання «Комунальне господарство міст. Науково-технічний збірник. Серія: «Технічні науки та архітектура»*. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. №1(147). С. 66–82.
4. Тютюник В. В., Калугін В. Д., Писклакова О. О. Управлінські основи створення у Єдиній державній системі цивільного захисту інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків надзвичайних ситуацій. *Вісник національного університету цивільного захисту України. Серія*

- Державне управління.* Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2020. Вип. 1(12). С. 546–571.
5. Тютюник В. В., Черногор Л. Ф., Калугін В. Д. Системний підхід до оцінки небезпеки життєдіяльності при територіально часовому розподілі енергії джерел надзвичайних ситуацій. *Збірник наукових праць Проблеми надзвичайних ситуацій.* Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2011. Вип. 14. С. 171–194.
 6. Биченок М. М., Трофимчук О. М. Проблеми природно-техногенної безпеки в Україні. Київ: РНБОУ, 2002. 153 с.
 7. Черногор Л. Ф. Физика и экология катастроф. Харьков: Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, 2012. 556 с.
 8. Черногор Л. Ф. О нелинейности в природе и науке. Харьков: Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, 2008. 528 с.
 9. Андронов В. А., Дівізінюк М. М., Калугін В. Д., Тютюник В. В. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні. Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2016. 319 с.
 10. Глушков В. М. Введение в теорию самосовершенствующихся систем. Киев: Изд-во КВИРТУ, 1962. 109 с.
 11. Петров Э. Г., Брынза Н. А., Колесник Л. В., Писклакова О. А. Методы и модели принятия решений в условиях многокритериальности и неопределенности. Херсон: Гринь Д.С., 2014. 192 с.

REFERENCES

1. Kuljeshov M. M., Sadkovy V. P., Tiutiunyk V. V. Derzhavna systema cyvilnogho zakhystu [State system of civil protection]. Kharkiv: Nacionalnyj universytet cyvilnogho zakhystu Ukrainy, 2020. 232 s. [In Ukrainian].
2. Tiutiunyk V.V., Kalughin V.D., Pysklakova O.O. Osnovopolozhni pryncypy stvorennja u jedynij derzhavnij systemi cyvilnogho zakhystu informacijno-analitychnoji pidsystemy upravlinnja procesamy poperedzhennja j lokalizaciji naslidkiv nadzvychajnykh sytuacij [Fundamental principles of creation in the Unified state system of civil protection of information-analytical subsystem of management of processes of prevention and localization of consequences of emergency situations]. *Zbirnyk naukovykh pracj "Systemy upravlinnja, navighaciji ta zv'jazku"*. Poltava: Poltavskijj nacionalnyj tekhnichnyj universytet imeni Jurija Kondratjuka, 2018. N4(50). S. 168–177. [In Ukrainian].
3. Tiutiunyk V. V., Kalughin V. D., Pysklakova O. O. Ocinka umov stvorennja u Jedynij derzhavnij systemi cyvilnogho zakhystu informacijno-analitychnoji pidsystemy upravlinnja procesamy poperedzhennja j lokalizaciji naslidkiv nadzvychajnykh sytuacij na osnovi analizu dynamiky projavu nebezpek na terytoriji Ukrainy [Estimation of conditions of creation in the Unified state system of civil protection of information-analytical subsystem of management of processes of prevention and localization of consequences of emergency situations on the basis of the analysis of dynamics of manifestation of dangers in the territory of Ukraine]. *Naukove vydannja «Komunaljne ghospodarstvo mist. Naukovo-tekhnichnyj zbirnyk. Serija: «Tekhnichni nauky ta arkhitektura»*. Kharkiv: KhNUMGh im. O.M. Beketova, 2019. N1(147). S. 66–82. [In Ukrainian].
4. Tiutiunyk V. V., Kalughin V. D., Pysklakova O. O. Upravlinsjki osnovy stvorennja u Jedynij derzhavnij systemi cyvilnogho zakhystu informacijno-analitychnoji pidsystemy upravlinnja procesamy poperedzhennja j lokalizaciji naslidkiv nadzvychajnykh sytuacij [Management bases of creation in the Unified state system of civil protection of the information-analytical subsystem of management of processes of the prevention and localization of consequences of emergency situations]. *Visnyk nacionalnogho universytetu cyvilnogho zakhystu Ukrainy. Serija "Derzhavne upravlinnja"*. Kharkiv: Nacionalnyj universytet cyvilnogho zakhystu Ukrainy, 2020. Vyp. 1(12). S. 546–571. [In Ukrainian].
5. Tiutiunyk V. V., Chornogor L. F., Kalughin V. D. Systemnyj pidkhid do ocinky nebezpeky zhyttjedijalnosti pry terytorialno chasovomu rozpodili energhiji dzherel nadzvychajnykh sytuacij [A systematic approach to life risk assessment in the territorial-temporal distribution of energy sources of emergencies]. *Zbirnyk naukovykh pracj "Problemy nadzvychajnykh sytuacij"*. Kharkiv: Nacionalnyj universytet cyvilnogho zakhystu Ukrainy, 2011. Vyp. 14. S. 171–194. [In Ukrainian].
6. Bichenok M. M., Trofimchuk O. M. Problemi prirodno-tekhnogennoi bezpeki v Ukraïni [Problems of natural and man-made safety in Ukraine]. Kiïv: RNBOU, 2002. 153 s. [In Russian].
7. Chernogor L. F. Fizika i ekologiya katastrof [Physics and ecology of disasters]. Khar'kov: Khar'kovskiy natsional'nyy universitet imeni V.N. Karazina, 2012. 556 s. [In Russian].
8. Chernogor L. F. O nelineynosti v prirode i nauke [On nonlinearity in nature and science]. Khar'kov: Khar'kovskiy natsional'nyy universitet imeni V. N. Karazina, 2008. 528 s. [In Russian].
9. Andronov V. A., Divizinjuk M. M., Kalughin V. D., Tjutjunyk V. V. Naukovo-konstruktorsjki osnovy stvorennja kompleksnoji systemy monitoryngu nadzvychajnykh sytuacij v Ukraini [Scientific and design basis for the creation of a comprehensive system for monitoring emergencies in Ukraine]. Kharkiv: Nacionalnyj universytet cyvilnogho zakhystu Ukrainy, 2016. 319 s. [In Ukrainian].
10. Glushkov V. M. Vvedenie v teoriyu samosovershenstvuyushchikhsya system [Introduction to the theory of self-improving systems]. Kiev: Izd-vo KVIRTU, 1962. 109 s. [In Russian].

11. Petrov E. G., Brynza N. A., Kolesnik L. V., Pisklakova O. A. *Metody i modeli prinyatiya resheniy v usloviyakh mnogokriterial'nosti i neopredelennosti* [Methods and models of decision making in conditions of multi-criteria and uncertainty]. Kherson: Grin' D.S., 2014. 192 s. [In Russian].

REGIONS OF UKRAINE CLUSTERING LEVEL OF RISK AND WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF A UNIFIED STATE CIVIL DEFENSE SYSTEM UNDER UNCERTAINTY INPUT INFORMATION ABOUT EMERGENCIES

V. Tiutiunyk¹, O. Tiutiunyk², M. Udianskyi¹, O. Yashchenko¹

¹National University of Civil Defense of Ukraine

²Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics

KEYWORDS

emergency situation, cluster analysis, uncertainty of information, The Unified State Civil Protection System, information-analytical subsystem, processes of prevention and liquidation of emergency situations, system of monitoring of emergency situations, system of situation centers

ANNOTATION

The results of the classification of the territory of Ukraine according to the levels of danger to the vital activity of the population in the conditions of emergencies of various origins are presented. The analysis was carried out by means of a comprehensive consideration of the number of emergencies of natural and man-made nature for 2015–2019. The classification of regions of the state was carried out using cluster analysis, which assumes the finding of groups of similar objects in the data sample, the so-called clusters. As a result of the classification by the number of natural emergencies, the regions of Ukraine are combined into three clusters. The first cluster, with a high level of emergencies, includes areas where the number of emergencies of a natural nature is at the level of 7–8 events per year. The second cluster, with an average level of emergencies, includes areas where the number of natural emergencies is at the level of 4–6 events per year. The third cluster, with a relatively low level of emergencies, includes areas where the number of emergencies of a natural nature is at the level of up to 3 events per year. As a result of the classification by the number of occurrence of technogenic emergencies, the regions of Ukraine are combined into three clusters. The first cluster, with a high level of emergencies, includes areas where the number of emergencies of a technogenic nature is at the level of 5–6 events per year. The second cluster, with an average level of emergencies, includes areas where the number of man-made emergencies is at the level of 3–4 events per year. The third cluster, with a relatively low level of emergencies, includes areas where the number of man-made emergencies is at the level of up to 2 events per year. Based on the results of the cluster analysis of the regions of Ukraine, an assessment of the effectiveness of the functioning of the Unified State System of Civil Protection is given. Taking into account the uncertainty of the parameters affecting the conditions for the normal functioning of the territory of the state, it is proposed to create an effective information and analytical subsystem for managing the processes of prevention and elimination of emergencies with the integrated inclusion of various functional elements of the territorial system in the existing Unified State Civil Protection System vertically from the facility to the state levels. monitoring of emergency situations and the system of situational centers. Based on the analysis, it was found that the functioning of the Unified State Civil Protection System, and, accordingly, the information and analytical subsystem for managing the processes of preventing and eliminating emergency situations, is carried out in conditions of the likelihood of hazards for the regions of the state. This dynamics is due to the uncertainty of the parameters affecting the conditions for the normal functioning of the territory of Ukraine. In this regard, the problem arises of making optimal anti-crisis decisions in conditions of uncertainty to ensure an appropriate level of safety for the life of the state. It is shown that the procedure for making managerial decisions is complicated by the fact that the necessary conditions for the effectiveness of decisions are their timeliness, completeness and optimality. Therefore, increasing the efficiency of the decisions made is tied to the need to solve the problem of multicriteria optimization in conditions of uncertainty. This requires the development of formal, normative methods and models for a comprehensive solution to the problem of decision-making in conditions of multi-criteria and uncertainty in managing the processes of prevention and elimination of emergency situations to ensure the effective functioning of the Unified State Civil Protection System.

Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека

науковий журнал
ISSN 2518-1777

Підписано до друку 25.06.2021
Формат 60х90/8
Обл.вид.арк. —
Друк цифровий. Замовлення №____
Віддруковано згідно з наданим оригінал-макетом
ТОВ «Про формат»
Україна, 04080, м. Київ, вул. Кирилівська, 86
Реєстраційне свідоцтво ДК №5942 від 11 січня 2018 р.
Тир. 50 прим.