



НАУКОВИЙ ВІСНИК: Цивільний захист та пожежна безпека

№ 2 (12), 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

Огурицов 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. 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.

Літературні редактори: **Помазанова Т. І.**
Івашина Н. О.
(англ. мова)

Випускові редактори: **Борисова А. С.**
Литвиновський Є. Ю.

Адреса редакції:

03074, м. Київ, вул. Вишгородська, 21

Телефони:

(+380) (44) 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 КВ № 24507-14447 ПР

Журнал включено до категорії «Б» Переліку
наукових фахових видань України в галузі
технічних наук за спеціальностями:
261 «Пожежна безпека»,
263 «Цивільна безпека»
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 22. 12.2021 № 7

Ідентифікатор випуску DOI:
<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.2>

Підписано до друку 23.12.2021

Формат 60 × 84/8
Наклад 50 прим.

ЗМІСТ

CONTENT

**В. Михайлов, В. Коваленко,
О. Корнієнко, В. Свірський,
М. Копильний, А. Онищук**

Дослідження строку придатності
вогнезахисного покриття (просочення)
вогнезахисних засобів для деревини

4

**V. Mykhailov, V. Kovalenko, O. Kornienko,
V. Svirskyi,
M. Kopylnyi, A. Onyshchuk**

Study of the expiration date of fire-protective
coating (impregnation) of fire-protective agents
for wood

**А. Циганков, В. Ніжник,
Я. Балло, О. Сізіков,
О. Жихарєв, О. Тесленко**

Вплив часу прибуття підрозділів пожежної
охорони до місця виклику на тривалість
гасіння пожежі на території зони відчуження

11

**A. Tsyhankov, V. Nizhnyk,
Ya. Ballo, O. Sizikov,
O. Zhikharev, O. Teslenko**

Influence of the time of arrival of fire protection
subjects to the place of call on the duration of
fire extinguishing on the territory of the
alienation zone

**О. Нуянзін, Т. Самченко,
В. Нуянзін, А. Майборода**

Наукове обґрунтування методу
розрахункової оцінки класу вогнестійкості
будівельних конструкцій кабельних тунелів

20

**O. Nuianzin, T. Samchenko,
V. Nuianzin, A. Maiboroda**

Scientific substantiation of the method of
calculation assessment of the class of fire
resistance of building structures of cable
tunnels

**Я. Балло, С. Голікова,
О. Сізіков, О. Жихарєв,
О. Савченко, Л. Несенюк**

Вимоги пожежної безпеки до висотних
громадських будівель з умовною висотою
від 100 м до 150 м

30

**Ya. Ballo, S. Golikova,
O. Sizikov, O. Zhikharev,
O. Savchenko, L. Nesenyuk**

Fire safety requirements for high-rise public
buildings with a conditional height of 100 m to
150 m

С. Новак, В. Дріжд, О. Добростан

Оцінювання вогнезахисних властивостей
покріттів і облицювань для сталевих
конструкцій

43

S. Novak, V. Drizhd, O. Dobrostan

Evaluation of fire protective properties of
coatings and facings for steel structures

**С. Мосов, В. Хижняк,
А. Литовченко, Д. Ядченко**

Класифікація, функції та завдання
безпілотної авіації у сфері цивільного
захисту України

54

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

Classification, functions and tasks of
unmanned aviation in the field of civil
protection of Ukraine

С. Новак, М. Новак, В. Дріжд

Оцінювання теплофізичних властивостей
реактивних вогнезахисних покріттів для
сталевих конструкцій

69

S. Novak, M. Novak, V. Drizhd

Evaluation of thermal properties of reactive
fire protective coatings for steel structures

**Т. Скоробагатько, А. Борисов,
П. Ілляченко, А. Пруський,
М. Дівізінюк, О. Гудович**

Питання безпечного гасіння пожеж на об'єктах з наявністю сонячних електростанцій

**А. Слюсар, Л. Калиненко,
А. Фомін, Л. Запольський,
Н. Ільїна, Є. Морщ**

Огляд цивільного захисту: нормативно-правова база, шляхи реалізації та кінцеві результати

**Р. Климаць, В. Ніжник,
О. Нікулін, О. Крикун,
Д. Середя, С. Цимбалістий**

Експериментальні дослідження встановлення закономірності зниження температури і припинення горіння трансформаторного масла залежно від параметрів гравійної засипки маслоприймача

**Є. Кириченко, В. Гвоздь,
В. Ващенко, О. Кириченко,
О. Дядюшенко, В. Мельник**

Закономірності впливу технологічних параметрів і зовнішніх чинників на температуру займання та час згоряння частинок магнію та алюмінію в продуктах розкладання оксидів металів

**T. Skorobahatko, A. Borisov,
P. Illiuchenko, A. Pruskyi,
M. Divizinyuk, O. Gudovych**

82 On the issue of safe fire-fighting at facilities with solar power plants

**A. Sliusar, L. Kalynenko,
A. Fomin, L. Zapolskiy,
N. Ilina, Ye. Morshch**

92 Civil protection review: regulatory legal acts, ways of implementation and final results

**R. Klymas, V. Nizhnyk,
O. Nikulin, O. Krykun,
D. Sereda, S. Tsymbalistiy**

101 Experimental research of establishment of the regularity of temperature reduction and stopping of the combustion of transformer oil depending on the parameters of gravel backfill of the oil receiver

**Ye. Kyrychenko, V. Gvozd,
V. Vaschenko, O. Kyrychenko,
O. Diadiushenko, V. Melnyk**

111 Regularities of influence of technological parameters and external factors on the ignition temperature and combustion time of magnesium and aluminum in decomposition products of metal oxides

УДК 614.841

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРОКУ ПРИДАТНОСТІ ВОГНЕЗАХИСНОГО ПОКРИВУ (ПРОСОЧЕННЯ) ВОГНЕЗАХИСНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ДЕРЕВИНИ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.2.4-10>

Михайлов В. М., ORCID iD 0000-0002-5629-1500

Коваленко В. В., ORCID iD 0000-0001-5780-5684

Корнієнко О. В.,* ORCID iD 0000-0001-6762-0245

Свірський В. В., ORCID iD 0000-0003-0820-9143

Копильний М. І., ORCID iD 0000-0001-6582-7445

Онищук А. Є., ORCID iD 0000-0002-1829-126X

*E-mail: Kornienko_a@ukr.net

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 28.09.2021

Пройшла рецензування: 08.10.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

вогнезахисні засоби,
вогнезахисна деревина, строк
придатності, умови зберігання,
група вогнезахисної ефективності.

АНОТАЦІЯ

Розглянуто проблемні питання щодо з'ясування терміну збереження ефективності вогнезахисту деревини, обробленої просочувальними вогнезахисними засобами та покриттями. Описано методику проведення натурних експериментальних досліджень з визначення строку придатності вогнезахисного покриття та просочень, а також метод зі встановлення групи вогнезахисної ефективності вогнезахисних засобів. Наведено загальний вигляд установки для визначення групи вогнезахисної ефективності покриттів та просочувальних речовин для деревини. Надано проміжні результати досліджень щодо строку придатності деяких вогнезахисних покриттів і просочень на зразках деревини, що зберігалися протягом двох років в опалювальних та неопалювальних приміщеннях.

Постановка проблеми. З метою забезпечення протипожежного захисту будівельних конструкцій і виробів із деревини здійснюється їх вогнезахисне оброблення. Обробці піддаються матеріали та конструкції з деревини широкого спектра призначення: від несучих та огорожувальних конструкцій, до горищних покриттів, настилів підлоги, оздоблення стін і стель тощо [1].

В Україні засоби вогнезахисту підлягають добровільній сертифікації шляхом всебічного обстеження їх виробництва, перевірки технічної документації на відповідну продукцію та проведення випробувань з визначення показників якості. За даними Державного центру сертифікації, в Україні, починаючи з 2002 року, було сертифіковано близько 100 вогнезахисних засобів, із яких 30 – для

оброблення дерев'яних конструкцій (з них 20 – просочувальні вогнезахисні засоби).

Згідно з вимогами нормативних документів [1; 2], технологічних регламентів та технічних умов на вогнезахисні засоби в акредитованих випробувальних лабораторіях проводяться випробування з визначення низки показників якості захисних речовин і захищеної деревини [3–5], у тому числі вогнезахисної ефективності та строку придатності вогнезахисного покриття або просочення (строку експлуатування вогнезахисної деревини).

За строк придатності вогнезахисного покриття (просочення) згідно з [2] приймають проміжок часу, упродовж якого вогнезахисний засіб після його застосування здатний забезпечити вогнезахист.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Проблеми, пов'язані з визначенням строку придатності вогнезахисного покриву або просочення в умовах їх експлуатації, досліджувались в роботах [6–11]. Зокрема, в цих працях було встановлено, що в процесі експлуатації під впливом зміни кліматичних факторів (температури, вологості, сонячного опромінення) виникає часткова або повна втрата вогнезахисної ефективності деревини внаслідок природного старіння, відшарування, розтріскування та руйнування шарів вогнезахисних покриттів; дифузії і висолювання речовин антипіренів зсередини деревини на її поверхню. Також було виявлено, що для деяких типів вогнезахисних покриттів зниження їх вогнезахисної ефективності значно випереджає у часі появу зовнішніх ознак руйнування покриття, а реальний строк експлуатації деяких вогнезахисних покриттів менший за прогнозований. Разом із тим отримані в цих роботах дані стосуються лише незначної частини вогнезахисних засобів, які сертифіковано в Україні, а з'ясування *строку придатності вогнезахисних покриттів та просочень інших засобів потребує проведення відповідних досліджень.*

Метою статті є узагальнення результатів нових експериментальних досліджень з визначення строку придатності вогнезахисного покриву (просочення) за результатами натурних випробувань вогнезахисних зразків деревини, що були закладені в опалювальні та неопалювальні складські приміщення на довгострокове зберігання. Зазначені дослідження дають можливість отримати достовірні дані для оцінки експлуатаційних характеристик вогнезахисних покриттів і просочень для їх подальшого використання у практичній діяльності.

Методи дослідження. Експериментальні дослідження з визначення строку придатності вогнезахисного покриву (просочення) проводились відповідно до методу з

визначення строку експлуатування захищеної деревини, описаного в [5], з такими відмінностями: випробуванням піддавались зразки деревини, що були оброблені як просочувальними вогнезахисними засобами, так і вогнезахисними покриттями; закладання зразків здійснювалося в опалювальне та неопалювальне приміщення. Вологість повітря в опалювальному та неопалювальному приміщенні не перевищувала відповідно 60 % та 80 %, а швидкість руху повітря в обох приміщеннях була меншою за 0,3 м/с.

Суть досліджень полягає у закладанні зразків в опалювальне та неопалювальне приміщення терміном на десять років і щорічній перевірці оцінкових показників вогнезахисної деревини. Вогнезахисна деревина витримала випробовування, якщо середнє значення втрати маси зразків не більше значень, регламентованих ГОСТ 16363 [3].

Вогневі випробування проводили на установці для визначення групи вогнезахисної ефективності покриттів та просочувальних речовин для деревини (УВГВЕ). Зовнішній вигляд установки УВГВЕ представлено на рис. 1.

Метод експериментального визначення вогнезахисних властивостей засобу полягає у впливі на зразок, розміщений в керамічній трубі установки УВГВЕ, полум'я пальника із заданими параметрами (температура газоподібних продуктів горіння на виході з керамічної труби становить 200°C). Зразок витримують у полум'ї пальника протягом двох хвилин та залишають для охолодження до кімнатної температури в керамічній трубі. Охолоджений зразок виймають із керамічної труби та зважують.

Втрату маси зразка P , %, розраховують з точністю до 0,1% за формулою 1.

$$P = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 100}{m_1} \quad (1)$$

де m_1 – маса зразка до випробування, г;

m_2 – маса зразка після випробування, г.

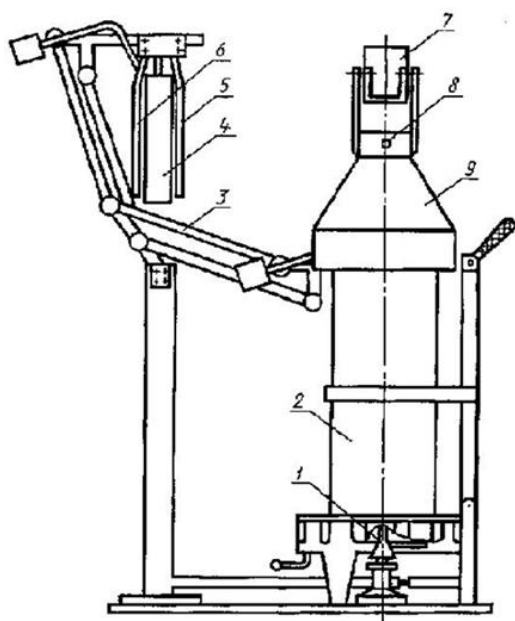


Рисунок 1 – Загальний вигляд установки для визначення групи вогнезахисної ефективності покриттів та просочувальних речовин для деревини (УВГВЕ):

1 – пальник; 2 – камера; 3 – тяга; 4 – зразок; 5, 6 – утримувачі зразка; 7 – дзеркало; 8 – термоелектричний перетворювач; 9 – зонт

За результат випробування беруть середнє арифметичне результатів трьох визначень. Залежно від величини втрати маси зразків вогнезахисні засоби поділяють за ефективністю вогнезахисту на групи (табл. 1).

Якщо втрата маси зразків після випробувань становить більше 25 %, засіб не забезпечує вогнезахист деревини [3].

Всі дані про стан зразків вогнезахисної деревини і про їх зміни фіксуються у робочому журналі. Якщо зовнішні показники зразків не відповідають вимогам нормативних документів до вогнезахисної деревини або відбувається зміна їх групи вогнезахисної ефективності [3], дослідження завершують і відповідно визначають реальний строк придатності вогнезахисного покриття (просочення).

Таблиця 1 – Групи вогнезахисної ефективності засобів

Втрата маси, %	Група вогнезахисної ефективності засобу, що випробовується
Не більше 9	I
Більше 9, але не більше 25	II

Джерело: [3]

Виклад основного матеріалу.

Зазначені експериментальні розвідки є продовженням досліджень, описаних у [12], але з використанням інших вогнезахисних засобів. У роботі проаналізовано зразки деревини, які були оброблені вогнебіозахисним засобом на основі фосфорної кислоти з добавками, а також вогнезахисними засобами «ББ-32», «БС-13» та «ФЕНИКС ДБ». Оброблення зразків засобами здійснювалося у способи та з витратами, які наведено в табл. 2 та 3. Результати випробувань з визначення групи вогнезахисної ефективності оброблених зразків деревини, які зберігалися протягом двох років у неопалювальних і опалювальних приміщеннях, наведено у табл. 2, 3 відповідно. Згідно з аналізом

експериментальних даних табл. 2, 3 втрата вогнезахисної ефективності для більшості вогнезахисних зразків деревини, які зберігалися у неопалювальних та опалювальних приміщеннях, залежно від часу їх зберігання повільно збільшується. Більш помітне збільшення втрати маси (за рахунок більших коливань температури та вологості) спостерігається для зразків, що зберігаються у неопалювальних приміщеннях. Незначні зміни втрати маси в межах 0,1 % відповідно було зафіксовано для зразків, оброблених вогнезахисною речовиною «ФЕНИКС ДБ», які більш стійкі до змінення атмосферних факторів, ніж зразки, що вогнезахиснені антипіренами на основі водорозчинних речовин.

Особливо швидко втрачають вогнезахисні властивості зразки деревини, просочені способом поверхневого просочення засобом «ББ- 32», який належить до таких, що легко вимиваються. Так, втрата маси зразків, оброблених зазначеним вище засобом, що зберігалися в опалювальних та неопалювальних приміщеннях, через один рік їх зберігання

збільшилася відповідно на 7,6 % та 10,7 %. Водночас втрата вогнезахисної ефективності зразків деревини, що були просочені цим засобом у спосіб «гарячої-холодної ванни», за два роки зберігання в опалювальних та неопалювальних приміщеннях збільшилася лише на 0,2% та 0,4 % відповідно.

Таблиця 2 – Проміжні результати досліджень вогнезахисної деревини, що зберігалася в неопалювальних приміщеннях

Назва вогнезахисного засобу	Спосіб вогнезахисного оброблення та група ефективності вогнезахисту	Середня витрата вогнезахисного засобу	Середнє значення втрати маси зразків після випробувань залежно від терміну їх зберігання, %			Примітка (про зміни якості вогнезахисту)
			Початкові випробування	Через один рік зберігання	Через два роки зберігання	
1	2	3	4	5	6	7
Просочувальні вогнезахисні речовини						
Вогнебіозахисний засіб на основі фосфорної кислоти з добавками	Поверхнєве вогнезахисне просочення (пензлем за два рази)	249,6 г/м ² (у перерахунку на суху речовину – 174,7 г/м ²)	I (6,6)	I (7,9)	I (8,0)	Через 2 роки зберігання забезпечує I групу
Вогнезахисний засіб «ББ-32»	Поверхнєве вогнезахисне просочення (пензлем за сім разів)	650 г/м ² (у перерахунку на суху речовину – 115,1 г/м ²)	II (22,8)	Не забезпечує вогнезахист деревини (33,5)	-	Через 1 рік зберігання не забезпечує вогнезахист деревини
Вогнезахисний засіб «ББ-32»	Глибоке вогнезахисне просочення (гаряча-холодна ванна)	389,0 кг/м ³ (у перерахунку на суху речовину – 68,9 кг/м ³)	I (8,1)	I (8,3)	I (8,5)	Через 2 роки зберігання забезпечує I групу
Вогнезахисний засіб «БС-13»	Глибоке вогнезахисне просочення (гаряча-холодна ванна)	499,3 кг/м ³ (у перерахунку на суху речовину – 74,9 кг/м ³)	I (7,5)	I (7,8)	I (8,2)	Через 2 роки зберігання забезпечує I групу
Вогнезахисні засоби, які на поверхні об'єкта вогнезахисту утворюють вогнезахисний покрив						
Вогнезахисна речовина «ФЕНИКС ДБ»	Поверхнєве вогнезахисне оброблення (пензлем у два шари)	260,1 г/м ² (у перерахунку на суху речовину – 176,8 г/м ²)	I (5,3)	I (5,4)	I (5,4)	Через 2 роки зберігання забезпечує I групу

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 3 – Проміжні результати досліджень вогнезахищеної деревини, що зберігалася в опалювальних приміщеннях

Назва вогнезахисного засобу	Спосіб вогнезахисного оброблення та група ефективності вогнезахисту	Середня витрата вогнезахисного засобу	Середнє значення втрати маси зразків після випробувань залежно від терміну їх зберігання, %			Примітка (про зміни якості вогнезахисту)
			Початкові випробування	Через один рік зберігання	Через два роки зберігання	
Просочувальні вогнезахисні речовини						
Вогнебіозахисний засіб на основі фосфорної кислоти з добавками	Поверхнєве вогнезахисне просочення (пензлем за два рази)	249,6 г/м ² (у перерахунку на суху речовину – 174,7 г/м ²)	I (6,6)	I (7,1)	I (7,5)	Через 2 роки зберігання забезпечує I групу
Вогнезахисний засіб «ББ-32»	Поверхнєве вогнезахисне просочення (пензлем за сім разів)	650 г/м ² (у перерахунку на суху речовину – 115,1 г/м ²)	II (22,8)	Не забезпечує вогнезахист деревини (30,4)	-	Через 1 рік зберігання не забезпечує вогнезахист деревини
Вогнезахисний засіб «ББ-32»	Глибоке вогнезахисне просочення (гаряча-холодна ванна)	389,0 кг/м ³ (у перерахунку на суху речовину – 68,9 кг/м ³)	I (8,1)	I (8,2)	I (8,3)	Через 2 роки зберігання забезпечує I групу
Вогнезахисний засіб «БС-13»	Глибоке вогнезахисне просочення (гаряча-холодна ванна)	499,3 кг/м ³ (у перерахунку на суху речовину – 74,9 кг/м ³)	I (7,5)	I (7,6)	I (7,9)	Через 2 роки зберігання забезпечує I групу
Вогнезахисні засоби, які на поверхні об'єкта вогнезахисту утворюють вогнезахисний покрив						
Вогнезахисна речовина «ФЕНИКС ДБ»	Поверхнєве вогнезахисне оброблення (пензлем у два шари)	260,1 г/м ² (у перерахунку на суху речовину – 176,8 г/м ²)	II (5,3)	I (5,3)	I (5,3)	Через 2 роки зберігання забезпечує I групу

Джерело : розроблено авторами

Висновки та напрями подальших досліджень. Під час проведеної роботи одержано результати натурних досліджень з визначення строку придатності вогнезахисних покривів та просочень. Усі зразки деревини, крім тих, що були просочені вогнезахисним засобом «ББ-32» у спосіб «поверхнєвого просочення», забезпечують I групу вогнезахисної ефективності через два роки їх зберігання у неопалювальних та опалювальних приміщеннях. Найкраще збереження вогнезахисних властивостей спостерігалася для зразків деревини, що були оброблені вогнезахисною речовиною

«ФЕНИКС ДБ» та які були просочені способом «гарячої-холодної ванни» вогнезахисними речовинами «ББ-32» і «БС-13» та зберігалися в опалювальних приміщеннях. Повністю втратили свої вогнезахисні властивості через один рік зберігання у неопалювальних та опалювальних приміщеннях зразки деревини, що були просочені вогнезахисним засобом «ББ-32» у спосіб «поверхнєвого просочення».

Загалом дані експериментальних досліджень дають можливість достовірно визначати строк придатності вогнезахисних

покривів та просочень і застосовувати їх у практичній діяльності.

Представлені в цій роботі результати є проміжними і потребують проведення подальших досліджень для остаточного

визначення вказаного вище показника для зразків деревини, група вогнезахисної ефективності яких не вийшла за межі, встановлені відповідно до будівельних норм [1].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.1.1-7-2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний з 01.06.2017]. Київ : Міністерство України, 2017. 41 с.
2. Правила з вогнезахисту : наказ МВС України від 26.12.2018 р. № 1064. // База даних «Законодавство України» / ВР України. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0259-19#Text> (дата звернення : 17.08.2021).
3. ГОСТ 16363-98 Средства огнезащитные для древесины. Методы определения огнезащитных свойств. [Введен с 01.09.2000]. Киев : Госстандарт Украины, 2000. 14 с.
4. ГОСТ 30219-95 Древесина огнезащитная. Общие технические требования. Методы испытаний. Транспортирование и хранение. [Введен с 01.07.1996]. Киев : Госстандарт Украины, 2000. 21 с.
5. ДСТУ 4479:2005 Речовини вогнезахисні водорозчинні для деревини. Загальні технічні вимоги та методи випробувань. [Чинний з 01.10.2006]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2006. 17 с.
6. Тычина Н. А. Эксплуатационная надежность огнезащитных древесных материалов. *Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов*. 2002. Вып. 2. С. 38–43.
7. Баженов С. В. Прогнозирование срока службы огнезащитных покрытий. Проблемы и пути решения. *Пожарная безопасность*. 2005. № 5. С. 97–102.
8. Гудович О. Д., Корнієнко О. В. Дослідження ефективності вогнезахисту деревини. *Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку*: зб. матеріалів доп. учасн. 14-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції рятувальників. Київ : ІДУЦЗ МНС України, 2012. С. 143–145.
9. Корнієнко О. В., Копильний М. І., Гудович О. Д., Білошицький М. В. Проміжні результати досліджень з визначення строку придатності вогнезахисних покривів (просочень) для деревини. *Проблеми пожежної безпеки*: зб. матеріалів доп. учасн. міжнародної науково-практичної конференції. Харків : НУЦЗУ, 2016. С. 70–72.
10. Кузнецова Т. А. Определение срока службы огнезащитных покрытий. *Науковий вісник УкрНДНЦ*. 2007. № 2(16). С. 125–128.
11. Гудович О. Д. Проблеми визначення ефективності вогнезахисту деревини. *Живучість корабля і безпека на морі*. 2001. Вип. 2. С. 26–27.
12. Гудович О. Д., Корнієнко О. В. Дослідження зміни ефективності вогнезахисту деревини залежно від часу та умов зберігання. *Вісник КНУДТ*. 2012. № 5. С. 50–55.

REFERENCES

1. DBN V.1.1-7-2016. Pozhezhna bezpeka ob'ektiv budivnytstva. Zahalni vymohy [Fire safety of construction general requirements] (2017). Kyiv: Minrehion Ukraine [in Ukrainian].
2. Pravyla z vohnezakhystu [Fire protection rules] (2017). Ofitsiyni vebseit Verkhovnoi Rady Ukrainy. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0259-19#Text> [in Ukrainian].
3. GOST 16363-98. Sredstva ohnezashchytnye dlia drevesyny. Metody opredeleniya ohnezashchytnykh svoystv [Fire retardants for wood. Methods for determining fire retardant properties]. (2000). Kyiv.: Gosstandart Ukrainy [in Ukrainian].
4. GOST 30219-95. Drevesyna ohnezashchyshchennaia. Obschye tekhnicheskyye trebovaniya. Metody uspytany. Transportyrovanye i khraneniye [Fire retardant wood. General technical requirements. Test methods. Transportation and storage] (1996). Kyiv: Gosstandart Ukrainy [in Ukrainian].
5. DSTU 4479:2005 Rechovyny vohnezakhysni vodorozchynni dlia derevyny. Zahalni tekhnichni vymohy ta metody vyprobuvan [Water-soluble water-soluble substances for wood. General technical requirements and test methods] (2006). Kyiv: DP «UkrNDNC» [in Ukrainian].
6. Tychna N. A. (2002). Eksploatatsyonnaia nadezhnost ohnezashchytnykh drevesnykh materyalov. [Operational reliability of fire retardant wood materials] *Pozharovzryvobezопасnost veshchestv i materyalov*. Vyp. 2. S. 38–43 [in Russian].
7. Bazhenov S. V. (2005). Prohnozyrovanye sroka sluzhby ohnezashchytnykh pokrytyi. [Predicting the service life of fire retardant coatings. Problems and solutions] *Pozharnaia bezопасnost*. № 5. S. 97–102 [in Russian].
8. Gudovych O. D., Kornienko O. V. (2012) Doslidzhennia efektyvnosti vohnezakhystu derevyny. [Research of efficiency of fire protection of wood] *Suchasnyi stan tsyvilnoho zakhystu Ukrainy ta perspektyvy rozvytku*: zb. materialiv dop. uchasn. 14-yi Vseukrainskoi naukovy-praktychnoi konferentsii riaduvanykiv. Kyiv: IDUTsZ MNS Ukrainy. S.143–145 [in Ukrainian].
9. Kornienko O. V., Kopylnyi M. I., Gudovych O. D., Biloshytskyi M. V. (2016). Promizhni rezultaty doslidzhen z vyznachennia stroku prydatnosti vohnezakhysnykh pokryviv (prosochen) dlia derevyny. [Interim results of research to determine the shelf life of fire-retardant coatings (impregnations) for wood] *Problemy pozhehzhnoi bezpekyy*: zb. materialiv dop. uchasn. Mizhnarodnoi naukovy-praktychnoi konferentsii. Kharkiv: NUTsZU. S. 70–72 [in Ukrainian].
10. Kuznetsova T. A. (2007). Opredeleniye sroka sluzhby ohnezashchytnykh pokrytyi. [Determination of the service life of fire retardant coatings] *Naukovyi visnyk UkrNDIPB*. № 2(16). S. 125–128. [in Ukrainian].
11. Gudovych O. D. (2001). Problemy vyznachennia efektyvnosti vohnezakhystu derevyny. [Problems of assessing efficiency in the fire-retailer of the tree] *Zhyvuchist korablia i bezpeka na mori*. Vyp. 2. S. 26–27. [in Ukrainian].
12. Gudovych O. D., Kornienko O. V. (2012) Doslidzhennia zminy efektyvnosti vohnezakhystu derevyny zalezhno vid chasu ta umov zberihannia. [Research of the changing of fire retardant efficiency depending on time and storage conditions] *Visnyk KNUDT: Naukovyi zhurnal*. № 5. S. 50–55. [in Ukrainian].

STUDY OF THE EXPIRATION DATE OF FIRE-PROTECTIVE COATING (IMPREGNATION) OF FIRE-PROTECTIVE AGENTS FOR WOOD

V. Mykhailov, V. Kovalenko, O. Kornienko, V. Svirskyi, M. Kopylnyi, A. Onyshchuk

Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine

KEYWORDS

fire protective
agents, fire-
retardant wood,
expiration date,
storage
conditions, fire
retardant
efficiency group.

ANNOTATION

The problematic issues of determining the term of preservation of the effectiveness of fire protection of wood treated with impregnating by fire-retardants and coatings are considered. Indicated main guiding documents that set the requirements for quality of fire protection agents and fire protected wood, also methods of their testing, including the determination of the shelf life of fire-retardant coating or impregnation. According to the results of previous research and publications, it has been established that for some types of fire protected coatings decreasing in their flame-retardant efficiency significantly outstrips the appearance of external signs of coating destruction, and the actual expiration date of some fire protected coatings is shorter than expected. The main climatic factors that affect the change of fire protection efficiency of fire protected wood during its operation are indicated. The method of conducting field experimental studies to determine the expiration date of fire protection coating and impregnations, as well as the method of determining the group of fire protection effectiveness of fire-retardant agents are described. The existing groups of fire protection efficiency of fire-retardant agents and admissible values of weight loss of samples during fire tests according to ГОСТ 16363-98 depending on group are resulted. The general view of the installation for determining the group of fire protection efficiency of coatings and impregnating substances for wood is shown. Intermediate results of research on determining the expiration date of some fire protection coatings and impregnations on samples of wood, stored for two years in heated and unheated rooms are presented. According to the results of experimental studies, it is established that the loss of flame retardant efficiency of samples of fire-retardant wood stored in unheated and heated rooms, depending on the time of their storage, is slowly increasing. A more noticeable increase in weight loss, due to greater fluctuations in temperature and humidity, is observed for samples stored in unheated rooms. Minor changes in weight loss were recorded for samples with fire-retardant coatings, which are more resistant to changes in atmospheric factors than samples that are flame-retardant based on water-soluble substances. Especially quickly lose their fire-retardant properties of wood samples impregnated with the method of surface impregnation with "ББ-32", which is classified as easily washable.

УДК 614.841

ВПЛИВ ЧАСУ ПРИБУТТЯ ПІДРОЗДІЛІВ ПОЖЕЖНОЇ ОХОРОНИ ДО МІСЦЯ ВИКЛИКУ НА ТРИВАЛІСТЬ ГАСІННЯ ПОЖЕЖІ НА ТЕРИТОРІЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.2.11-19>

Циганков А. О.* ORCID iD 0000-0003-1971-9640

Ніжник В. В., ORCID iD 0000-0003-3370-9027

Балло Я. В., ORCID iD 0000-0002-9044-1293

Сізіков О. О., ORCID iD 0000-0002-7861-3144

Жихарев О. П., ORCID iD 0000-0003-4323-1880

Тесленко О. М., ORCID iD 0000-0002-1003-8876

*E-mail: 0502879336@ukr.net

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 22.09.2021

Пройшла рецензування: 09.10.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

вогнезахисні засоби,
вогнезахисна деревина, строк
придатності, умови зберігання,
група вогнезахисної ефективності.

АНОТАЦІЯ

За результатами наукових досліджень визначено залежність кількості залучених пожежних автомобілів, людських ресурсів та тривалості гасіння пожежі на території зони відчуження від часу прибуття підрозділів пожежної охорони до місця виклику. На основі статистичних даних встановлено: якщо час прибуття на пожежу підрозділів пожежної охорони складає понад 20 хв, то тривалість гасіння пожежі збільшується в 5 та більше разів, у 3 рази більше залучається основних та допоміжних пожежних автомобілів та до 3 разів більше людських ресурсів порівняно з часом прибуття до місця пожежі менше 20 хв. За результатами досліджень науково обґрунтовано зміни до законодавчих та нормативно-правових актів щодо забезпечення пожежної безпеки на території зони відчуження.

Постановка проблеми. Утворення підрозділів пожежної охорони (далі – ППО), а саме – пожежно-рятувальних підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій (далі – ДСНС) та підрозділів відомчої (або добровільної) пожежної охорони суб'єктів господарювання, що належать до сфери управління Державного агентства зони відчуження (далі – ДАЗВ), на території зони відчуження повинно відповідати вимогам чинних законодавчих та нормативно-правових актів з подальшим визначенням територій та об'єктів, які ними обслуговуються.

Актуальність цієї роботи зумовлена нинішньою негативною динамікою зміни рівня загроз техногенного і природного характеру та нормативно-правовою

неврегульованістю забезпечення пожежної безпеки на території зони відчуження, необхідністю підтримання достатнього рівня безпеки людей, які перебувають, працюють і проживають на ній, захисту лісів на цій території.

Для уникнення або мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій, у тому числі пожеж, на зазначеній території необхідно провести дослідження щодо визначення впливу часу прибуття ППО до місця виклику на тривалість гасіння пожежі, кількість залучених пожежних автомобілів та людських ресурсів для її ліквідації та науково обґрунтувати відповідні зміни до законодавчих і нормативно-правових актів.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Питанням досліджень щодо

забезпечення пожежної безпеки на території зони відчуження присвячено ряд праць [1–6]. В них розглянуто та визначено потенційні загрози і небезпеки на цій території, проаналізовано статистичні дані щодо залучення протипожежної техніки до гасіння пожеж.

У роботі [1] проведено моделювання оперативної обстановки в зоні відчуження залежно від кількості протипожежної техніки, що залучається для обслуговування одного виклику, потоку викликів та тривалості обслуговування ППО одного виклику. Визначено зони обслуговування ППО і лісових пожежних станцій на цій території та встановлено їх оптимальну кількість за критерієм часу прибуття ППО.

У статті [4], зокрема, згідно з аналізом статистичних даних встановлено ймовірність залучення протипожежної техніки до ліквідації однієї пожежі у зоні відчуження.

У роботі [6] проаналізовано час прибуття пожежно-рятувальних підрозділів м. Львова до місця пожежі з використанням електронної карти.

Питання визначення впливу часу прибуття ППО до місця виклику на тривалість гасіння пожежі на території зони відчуження, а також аналіз чинної законодавчої та нормативно-правової бази для наукового обґрунтування пропозицій щодо змін до законодавчих та нормативно-правових актів з метою зниження пожежних ризиків на цій території в наукових публікаціях не розглядалися.

Формулювання цілей досліджень.

Метою цієї роботи є виявлення впливу часу прибуття ППО до місця виклику на тривалість гасіння пожежі на території зони відчуження та обґрунтування відповідних змін до нормативно-правових актів.

Для досягнення поставленої мети сформовано такі задачі:

- провести аналіз статистичних даних про пожежі у зоні відчуження для визначення впливу часу прибуття ППО до місця виклику на тривалість гасіння пожеж;

- здійснити аналіз статистичних даних про пожежі для визначення впливу часу прибуття ППО на кількість залучених основних та допоміжних пожежних автомобілів, особового складу та працівників ППО для гасіння пожеж у зоні відчуження;

- провести аналіз чинної законодавчої та нормативно-правової бази та науково обґрунтувати пропозиції стосовно змін до законодавчих та нормативно-правових актів щодо забезпечення пожежної безпеки на території зони відчуження.

Об'єкт дослідження – тривалість гасіння пожежі й залучення сил та засобів ППО для її ліквідації на території зони відчуження.

Предмет дослідження – вплив часу прибуття ППО до місця виклику на тривалість гасіння пожежі, кількість залучених пожежних автомобілів та людських ресурсів для її ліквідації на території зони відчуження.

Методи дослідження. У роботі було використано методи інтерполяції та усереднення, проводився аналіз нормативних документів, згідно з якими регламентована діяльність суб'єктів господарювання у зоні відчуження. Під час досліджень визначали розподіл тривалості гасіння пожеж на цій території до 8 год та їх відповідної відносної кількості у разі часу прибуття ППО до місця пожежі до 20 хв та у разі часу прибуття ППО більше 20 хв, залежність тривалості гасіння пожеж у зоні відчуження від часу прибуття ППО до місця пожежі, залежність кількості залучених пожежних автомобілів і середньої кількості осіб особового складу та працівників ППО, залучених на її ліквідацію, від часу прибуття ППО до місця виклику пожежі.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до постанови КМУ [7] впроваджено критерії, за якими утворюються державні пожежно-рятувальні підрозділи (частини) оперативно-рятувальної служби цивільного захисту в адміністративно-територіальних одиницях, якими є: кількість жителів

населеного пункту; радіус обслуговування одним державним пожежно-рятувальним підрозділом (частиною) та норматив часу прибуття державних пожежно-рятувальних підрозділів (частин) до місця виклику, який для сільської місцевості складає 20 хв. Враховуючи специфіку території зони відчуження, а саме – бар’єрне функціонування, відсутність населених пунктів та населення в них, доріг загального користування, у проведених дослідженнях норматив часу прибуття ППО до місця виклику прийнято як для сільської місцевості – 20 хв. Під часом прибуття ППО від місця їх дислокації до місця надзвичайної події (зокрема пожежі) розуміється час із моменту отримання

повідомлення про надзвичайну подію до моменту прибуття до місця, де вона виникла.

На основі аналізу статистичних даних про пожежі на території зони відчуження за 2016–2020 роки, наданих ГУ ДСНС України у Київській області, визначено усереднені дані щодо їх загальної кількості, відстані від місць дислокації ППО до місця виникнення пожежі, часу прибуття на пожежу, тривалості її гасіння, часу обслуговування виклику, середньої кількості задіяних на гасіння однієї пожежі пожежних автомобілів, особового складу та працівників ППО, що наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Статистичні дані про пожежі на території зони відчуження за 2016–2020 рр.

Середня відстань від місця дислокації ППО до місця виникнення пожежі, км	Середній час прибуття ППО на пожежу, хв	Середня тривалість гасіння пожежі, год	Середній час обслуговування виклику, год	Середня кількість задіяних пожежних автомобілів на гасіння пожежі, од./ на одну пожежу	Середня кількість задіяного особового складу та працівників ППО, осіб / на одну пожежу	Загальна кількість пожеж
2016 р.						
12,36	24,3	4,4	4,5	3	10	76
2017 р.						
18,4	41	3,8	4,6	3	14	45
2018 р.						
14,05	28,59	3,0	3,6	5	18	51
2019 р.						
10,47	44,8	4,7	5,0	4	19	95
2020 р.						
15,9	26,9	7,4	8,2	8	13	89

Джерело: розроблено авторами

Згідно з аналізом статистичних даних про пожежі на території зони відчуження за 2016–2020 роки виявлено тенденцію щодо збільшення пожежних ризиків. За досліджуваній період на цій території сталося 356 пожеж; середня тривалість гасіння пожежі становила 4,7 год, а найбільша тривалість її гасіння – 720 годин; середня відстань від місця дислокації ППО до місця виникнення пожежі в середньому складала 14,2 км; середній час прибуття ППО на пожежу

становив 33 хв; в середньому на одну пожежу було задіяно п’ять пожежних автомобілів і 15 осіб особового складу та працівників ППО, а найбільша кількість залученої пожежної техніки становила 86 одиниць і 384 особи особового складу та працівників ППО.

На основі статистичних даних про пожежі на території зони відчуження визначено: розподіл тривалості гасіння пожеж до 8 год та їх відповідної кількості у разі часу прибуття ППО до місця пожежі до

20 хв, що наведено в табл. 2; розподіл тривалості гасіння пожеж та їх відповідної кількості у разі тривалості прибуття ППО більше 20 хв, що наведено в табл. 3; розподіл тривалості гасіння пожежі до 8 год від їх відповідної відносної кількості у разі часу прибуття ППО до місця пожежі до 20 хв та у разі часу прибуття ППО більше 20 хв, що графічно наведено на рис 1.

Представлені в цій роботі результати є проміжними і потребують проведення подальших досліджень для остаточного визначення зазначеного вище показника для зразків деревини, група вогнезахисної ефективності яких не вийшла за межі, встановлені будівельними нормами [1].

Таблиця 2 – Розподіл тривалості гасіння пожежі у зоні відчуження та їх відповідної кількості у разі часу прибуття ППО до місця пожежі до 20 хв

Інтервал тривалості гасіння пожежі τ , год	0–1 год	1–2 год	2–3 год	3–4 год	4–5 год	5–6 год	6–7 год.	7–8 год
Абсолютна к-ть пожеж, од.	39	44	46	13	6	4	2	2
Відносна к-ть пожеж, %	22	25	26	7	3	2	1	1

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 3 – Розподіл тривалості гасіння пожежі у зоні відчуження та їх відповідної кількості у разі часу прибуття ППО понад 20 хв

Інтервал тривалості гасіння пожежі τ , год	0–1 год	1–2 год	2–3 год	3–4 год	4–5 год	5–6 год	6–7 год	7–8 год
Абсолютна к-ть пожеж, од.	-	16	22	21	16	17	12	5
Відносна к-ть пожеж, %	-	3	13	12	9	10	7	3

Джерело: розроблено авторами

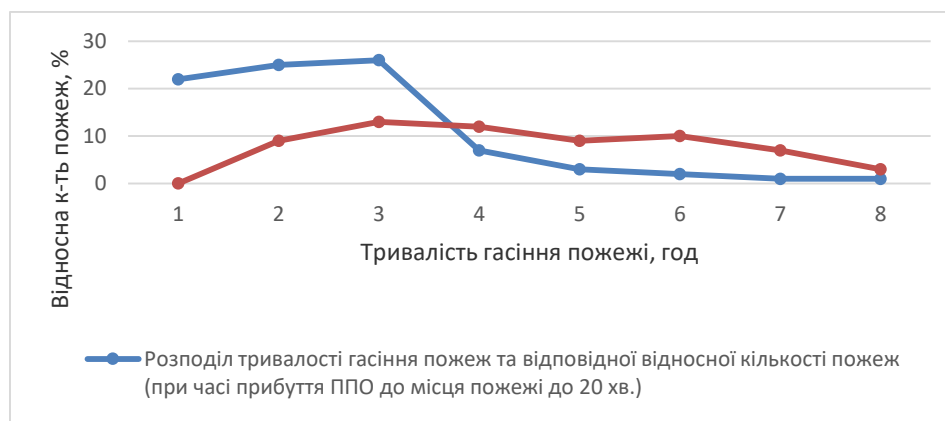


Рисунок 1 – Розподіл тривалості гасіння пожеж у зоні відчуження до 8 год та їх відповідної відносної кількості у разі часу прибуття ППО до місця пожежі до 20 хв та у разі часу прибуття ППО понад 20 хв

Джерело: розроблено авторами

Аналізуючи дані, наведені в таблицях 2, 3 та рисунку 1, можна зробити висновок, що у разі часу прибуття ППО до місця пожежі до 20 хв понад 70% пожеж у зоні відчуження ліквідують до 3 год, а у разі часу прибуття ППО до місця пожежі понад

20 хв кількість пожеж, які гасять до 3 год, складає всього 20% від загальної кількості.

На основі статистичних даних про пожежі на території зони відчуження визначено: розподіл тривалості гасіння пожеж понад 8 год та їх відповідної кількості у разі часу прибуття ППО до місця

пожежі до 20 хв, що наведено в табл. 4; розподіл тривалості гасіння пожеж понад 8 год та їх відповідної кількості у разі часу прибуття ППО до місця пожежі понад 20 хв, що наведено в табл. 5; розподіл тривалості

гасіння пожеж понад 8 год та їх відповідної кількості у разі часу прибуття ППО до місця пожежі до 20 хв та у разі часу прибуття ППО більше 20 хв, що графічно наведено на рис. 2.

Таблиця 4 – Розподіл кількості пожеж у зоні відчуження, гасіння яких відбулось у термін понад 8 год та їх відповідної тривалості гасіння у разі часу прибуття ППО до місця пожежі до 20 хв

Інтервал тривалості гасіння пожежі t , год	8–12 год	12–16 год	16–20 год	20–24 год	24–28 год	28–32 год	32–36 год
Абсолютна к-ть пожеж, од.	6	5	5	4	3	2	1
Відносна к-ть пожеж, %	3	3	3	2	2	1	1

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 5 – Розподіл кількості пожеж у зоні відчуження, гасіння яких відбулось у термін понад 8 год та їх відповідної тривалості гасіння у разі часу прибуття ППО до місця пожежі понад 20 хв

Інтервал тривалості гасіння пожежі t , год	8–12 год	12–16 год	16–20 год	20–24 год	24–28 год	28–32 год	32–36 год
Абсолютна к-ть пожеж, од.	6	7	11	8	4	2	2
Відносна к-ть пожеж, %	3	4	6	5	2	2	1

Джерело: розроблено авторами

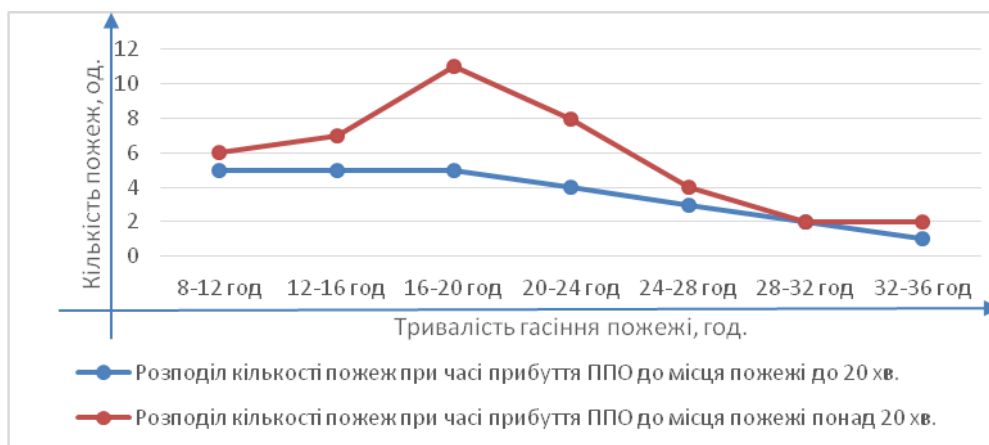


Рисунок 2 – Розподіл тривалості гасіння пожеж понад 8 год та їх відповідної кількості у разі часу прибуття ППО до місця пожежі до 20 хв та у разі часу прибуття ППО понад 20 хв

Джерело: Розроблено авторами

Зважаючи на аналіз даних, наведений в табл. 4, 5 та рис. 2, можна зробити висновок, що у разі часу прибуття ППО до місця пожежі до 20 хв кількість пожеж у зоні відчуження з тривалістю гасіння понад 8 год зменшується у 1,6 раза.

На рис. 3 на основі статистичних даних про пожежі в зоні відчуження з використанням методу інтерполяції наведено залежність тривалості гасіння пожеж від часу прибуття ППО до місця пожежі.

З огляду на аналіз статистичних даних та тих, котрі наведені на рис. 3, можна зробити висновок, що пожежі, на які ППО прибували понад 20 хв, перетворювалися у складні та тривалі, на ліквідацію яких витрачалось 15 і більше годин.

На основі статистичних даних про пожежі в зоні відчуження виявлена залежність кількості залучених основних та допоміжних пожежних автомобілів до гасіння пожежі від часу прибуття ППО до місця пожежі, що представлено на рис. 4.

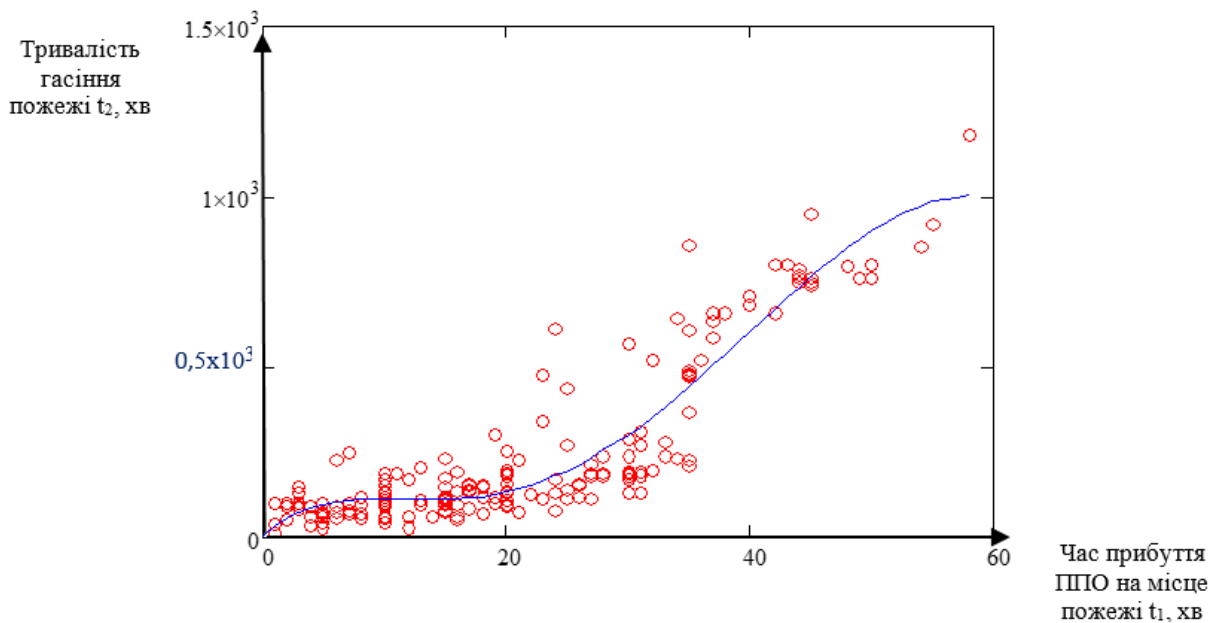


Рисунок 3 – Залежність тривалості гасіння пожеж у зоні відчуження від часу прибуття ППО до місця пожежі

Джерело: розроблено авторами

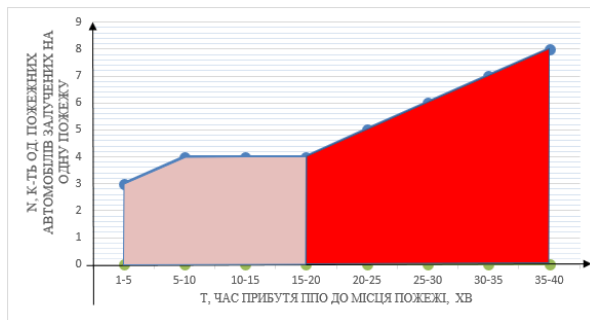


Рисунок 4 – Залежність кількості залучених пожежних автомобілів до гасіння пожежі від часу прибуття ППО до місця виклику пожежі

Джерело: розроблено авторами

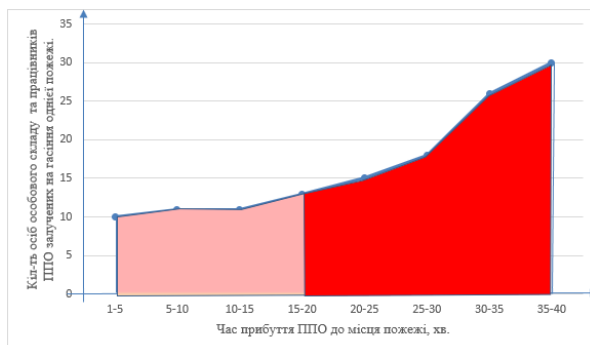


Рисунок 5 – Залежність середньої кількості осіб особового складу та працівників ППО, залучених до гасіння однієї пожежі від часу прибуття ППО до місця пожежі

Джерело: розроблено авторами

Залежність середньої кількості осіб особового складу та працівників ППО, залучених до гасіння однієї пожежі від часу прибуття ППО до місця пожежі, наведено на рис. 5.

На рис. 4 та 5 графічно зображено, що гасіння пожеж, на які підрозділи пожежної охорони прямували більше 20 хв, супроводжувалося залученням значної кількості пожежно-рятувальної та допоміжної техніки (збільшення у 3 рази) та людських ресурсів (збільшення у 3 рази) порівняно з тими пожежами, на які прибуття до місця їх виникнення становило менше 20 хв.

У результаті проведених наукових досліджень встановлено, що:

критичними (за критеріями: тривалість гасіння пожежі у зоні відчуження, кількість залучених для гасіння пожеж пожежних автомобілів та людських ресурсів) є ті пожежі, на які час прибуття ППО складає більше 20 хв. На таких пожежах тривалість їх гасіння до 6 разів перевищувала тривалість гасіння пожеж, на які час прибуття ППО складав менше 20 хв,

а залучених пожежних автомобілів та людських ресурсів було утричі більше;

забезпечення часу прибуття підрозділів пожежної охорони до місця виклику менше 20 хв, а відповідно і зниження рівня загроз техногенного та природного характеру можливе, зокрема, шляхом дислокації в зоні відчуження необхідної кількості підрозділів пожежної охорони (державної, відомчої, добровільної).

Унаслідок проведеного аналізу виявлена недосконалість законодавчої та нормативно-правової бази, що досліджувалась.

Наведені вище положення зумовлюють необхідність визначення кількості та місць дислокації підрозділів пожежної охорони на території зони відчуження.

Можливість вирішення цього завдання з огляду на результат проведених досліджень полягає у розробці проєкту постанови Кабінету Міністрів України щодо унормування критерію, за яким утворюються підрозділи відомчої пожежної охорони на території зони відчуження суб'єктами господарювання, які належать до сфери управління ДАЗВ та територіально знаходяться в зоні відчуження.

Запропоновано, що критерієм, за яким утворюються підрозділи відомчої пожежної охорони суб'єктами господарювання, що належать до сфери управління ДАЗВ та територіально знаходяться в зоні відчуження (крім державного спеціалізованого підприємства «Чорнобильська АЕС» і об'єктів для поводження з радіоактивними відходами та їх інфраструктури, які повинні охоронятися пожежно-рятувальними підрозділами ДСНС), є норматив часу прибуття підрозділів відомчої пожежної охорони від

місця їх дислокації до місця надзвичайної події, який має складати не більше 20 хв з моменту отримання повідомлення про надзвичайну подію до моменту прибуття.

Висновки та напрями подальших досліджень. На основі аналізу статистичних даних про пожежі в зоні відчуження:

встановлено закономірність збільшення у понад 5 разів тривалості гасіння пожежі, якщо час прибуття на пожежу підрозділів пожежної охорони складає більше ніж 20 хв, а також збільшення у 3 рази кількості залучених основних і допоміжних пожежних автомобілів та людських ресурсів;

виявлено, що забезпечення часу прибуття підрозділів пожежної охорони до місця пожежі в зоні відчуження менше 20 хв, а відповідно і зниження рівня загроз техногенного та природного характеру можливе, зокрема, шляхом дислокації на цій території необхідної кількості підрозділів пожежної охорони (державної, відомчої, добровільної);

встановлено можливість визначення кількості та місць дислокації підрозділів відомчої пожежної охорони суб'єктів господарювання, що належать до сфери управління ДАЗВ та територіально знаходяться у зоні відчуження, шляхом розроблення проєкту постанови Кабінету Міністрів України щодо унормування критерію, за яким утворюються ці підрозділи та яким є норматив часу прибуття підрозділів відомчої пожежної охорони від місця їх дислокації до місця надзвичайної події, що складає не більше 20 хв з моменту отримання повідомлення про надзвичайну подію до моменту прибуття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Моделювання оперативної обстановки в зоні відчуження / Ніжник В. та ін. *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека*. 2020. Вип. 1(9). С. 42–51.
2. Оцінка кореляції часу проведення пожежно-профілактичної роботи від кількості виїздів пожежно-рятувальних підрозділів в зоні відчуження / В. В. Ніжник та ін. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*. 2020. Вип. 4(2). С. 48–53.
3. Обґрунтування швидкості руху пожежних автомобілів для визначення дислокації пожежно-рятувальних підрозділів / О. М. Крикун та ін. *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека*. 2018. Вип. 1 (5). С. 21–24.
4. Кузик А. Д., Лагно Д. В. Особливості процесу ліквідації пожежі у забруднених радіонуклідами лісах на території зони відчуження. *Fire Safety*. 2019. № 34. С. 47–52.
5. Блощицкий В. П., Казанова Ю. С., Мартыненко Т. В. Определение оптимального пути следования пожарного расчета к месту пожара с помощью эволюционных вычислений. *Наукові праці Дон НТУ*. 2010. Вип. 23(169). С. 159–165.
6. Кузик А. Д., Смельяненко С. О. Оцінювання часу слідування пожежно-рятувальних підрозділів. *Пожежна безпека*. 2013. № 23. С. 86–92.
7. Про затвердження критеріїв утворення державних пожежно-рятувальних підрозділів (частин) Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту в адміністративно-територіальних одиницях та переліку суб'єктів господарювання, де утворюються такі підрозділи (частини) : постанова Кабінету Міністрів України від 27.11.2013 р. № 874. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/874-2013-%D0%BF#Text> (дата звернення : 05.10.2021).

REFERENCES

1. V. Nizhnyk, Yu. Feshchuk, Ya. Ballo, O. Teslenko & A. Tsyhankov (2020). Modelyuvannya operatyvnoyi situatsiyi v zoni vidchuzhennya [Simulation of the operational situation in the exclusion zone], *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka* [Scientific bulletin: civil protection and fire safety]. [in Ukrainian].
2. V. Nizhnyk, Yu. Feshchuk, O. Sizikov, Ya. Ballo, O. Zhikharev & A. Tsyhankov (2020). Ocinka spivvidnoshennya chasu provedennya protypozhezhnykh robot z kilkystyu vyloviv pozhezhno-ryatuval'nykh pidrozdiliv u zonu vidchuzhennya [Estimation of correlation of time of carrying out fire-prevention work from number of departures of fire-rescue divisions in an exclusion zone], *Nadzvychnaii sytuatsii: poperedzhennia ta likvidatsiia* [Emergencies: prevention and elimination]. [in Ukrainian].
3. O. Krikun, V. Kropyvnytskyi, V. Nizhnyk, O. Zhikharev & D. Dobriak (2018). Obgruntuvannya shvydkosti ruxu pozhezhnykh avtomobiliv dlya vyznachennya dyslokatsiyi pozhezhno-ryatuval'nykh pidrozdiliv [Substantiation of the speed of fire trucks to determine the location of fire and rescue units], *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*. [Scientific bulletin: civil protection and fire safety] [in Ukrainian].
4. A. Kuzyk, D. Lagno (2019). Osoblyvosti procesu likvidatsiyi pozhezh u zabrudnennykh radionuklidamy lisax u zoni vidchuzhennya [Features of the fire elimination process in radionuclide-contaminated forests in the exclusion zone], *Pozhezhna bezpeka* [Fire Safety]. Lviv [in Ukrainian].
5. V. Bloshchytskyi, Yu. Kazanova, T. Martinenko (2010). Opredeleniye optimal'nogo puty sledovaniya pozhnogo rascheta k mestu pozhara s pomoshhyu evolyutsionni vychysleniy [Determining the optimal path of fire calculation to the place of fire using evolutionary calculations], *Naukovi praci Don NTU* [Scientific works of Don NTU]. Donetsk [in Ukrainian].
6. A. Kuzyk, S. Emelyanenko (2013). Ocinyuvannya chasu sliduvannya pozhezhno-ryatuval'nykh pidrozdiliv [Estimation of time of following of fire and rescue divisions], *Pozhezhna bezpeka* [Fire Safety]. Lviv [in Ukrainian].
7. About the statement of criteria of formation of the state fire and rescue divisions (parts) of Operational and rescue service of civil defense in administrative-territorial units and the list of business entities where such divisions (parts) are formed № 874. (2013, November 27). *Ofitsijnyj visnyk Ukrainy*, pp. 113 [in Ukrainian].

INFLUENCE OF THE TIME OF ARRIVAL OF FIRE PROTECTION SUBJECTS TO THE PLACE OF CALL ON THE DURATION OF FIRE EXTINGUISHING ON THE TERRITORY OF THE ALIENATION ZONE

A. Tsyhankov, V. Nizhnyk, Ya. Ballo, O. Sizikov, O. Zhikharev, O. Teslenko

Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine

KEYWORDS

the territory of the Exclusion Zone, time of arrival of fire departments, duration of fire extinguishing, number of fire trucks.

ANNOTATION

According to the results of scientific research, the dependence of the number of involved fire trucks, human resources and the duration of firefighting in the Exclusion Zone on the time of arrival of fire-fighting units to the place of call. It was established that at the time of arrival of the fire-fighting units more than 20 minutes. almost 6 times more main and auxiliary fire trucks and up to 3 times more human resources are involved in comparison with the time of arrival to the place of fire less than 20 minutes. According to the results of research, changes and additions to additional legislative and regulatory acts to ensure fire safety in the exclusion zone and the zone of unconditional (compulsory) resettlement are scientifically substantiated. The methods of interpolation and averaging were used in the work, the analysis of normative documents, which regulate the activity of economic entities in the exclusion zone, was carried out. The research determined the distribution of fire extinguishing duration in the Exclusion Zone up to 8 hours and their corresponding relative number at the time of air defense arrival at the fire site up to 20 minutes and at the time of air defense arrival more than 20 minutes. place of fire, the dependence of the number of involved fire trucks and the average number of personnel and air defense personnel involved in extinguishing the fire from the time of arrival of air defense to the place of fire call. As a result of scientific research it was established that critical (according to the criteria: duration of firefighting in the Exclusion Zone, number of fire trucks and human resources involved in firefighting) are those fires for which the time of air defense arrival was more than 20 minutes. In such fires, the duration of their extinguishing was up to 6 times longer than the duration of extinguishing fires, for which the time of arrival of air defense was less than 20 minutes, and the involved fire trucks and human resources - 3 times.

УДК 614.841.34

НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКОВОЇ ОЦІНКИ КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ КАБЕЛЬНИХ ТУНЕЛІВ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.2.20-29>

Нуянзін О. М.^{1*}, ORCID iD 0000-0003-2527-6073
Самченко Т. В.², ORCID iD 0000-0003-3702-8296
Нуянзін В. М.¹, ORCID iD 0000-0003-4785-0814
Майборода А. О.¹, ORCID iD 0000-0001-6108-9772
*E-mail : alexandrnyanzin@gmail.com

¹Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України

²Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 29.09.2021

Пройшла рецензування: 04.11.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

кабельний тунель, температурний режим пожежі, комп'ютерне моделювання, будівельні конструкції, клас вогнестійкості.

АНОТАЦІЯ

У цій роботі розраховано температурні режими прогрівання залізобетонних огорожувальних конструкцій різної товщини кабельного тунелю за постійних значень питомої енергії згоряння пожежного навантаження, площі поперечного перерізу кабельного тунелю та горизонтальної складової швидкості руху повітря. За результатами наукової розвідки обґрунтовано та перевірено алгоритм розрахунку, а також розроблено на його основі метод розрахункової оцінки класу вогнестійкості будівельних конструкцій кабельних тунелів, що базується на математичному моделюванні. У разі обчислення будуються розподіли температури по перерізу огороження кабельного тунелю у час, який відповідає необхідному класові вогнестійкості, та визначається відповідність заданій межі вогнестійкості.

Постановка проблеми. Ще з 70-х років минулого століття загострилася проблема пожежної безпеки електричних кабелів та кабельних споруд через зростання кількості пожеж на атомних станціях (АЕС), теплових електростанціях та інших енергетичних об'єктах.

Аналіз меж вогнестійкості будівельних конструкцій тунелів та забезпечення їх відповідності чинним нормативам є актуальним завданням, оскільки кабельні тунелі відрізняються пожежним навантаженням, видом кабелів, що прокладені у них, геометричною конфігурацією, аеродинамічними характеристиками. Отже, температурні режими пожежі у тунелях можуть відрізнятися і від стандартного, і між собою. У такому разі неможливо гарантувати зазначену відповідність. Сьогодні існує можливість здійснити

дослідження з вивчення цього питання на основі результатів обчислювальних експериментів, для того щоб не проводити коштовні та трудомісні випробування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Пожежу умовно поділяють на три стадії: загоряння, розвинене горіння й загасання [1]. Розроблено та відображено у нормативних документах два методи переходу від реальних режимів пожежі до визначеного в нормативах «стандартного» режиму пожежі [2–4].

Для більш точного моделювання пожежі, доцільно застосувати більш складні фізичні моделі, що реалізуються у непростих комп'ютерних програмах [5–7]. В алгоритми цих програм закладені сучасні обчислювальні методи.

У статті [5] та дисертаційній роботі [6] було викладено результати повного факторного експерименту, внаслідок якого

отримано залежності максимальної температури усередині кабельного тунелю під час пожежі ($Q_{e\ max}$), тривалості пожежі в певній локальній зоні тунелю (τ_l) та часу

досягнення максимальної температури всередині під час пожежі (τ_{max}), що представлено виразами (1), (2), (3):

$$Q_{e\ max} = 870.59 + 0.1 \cdot x_1 - 27.92 \cdot x_2 - 11.39 \cdot x_3 + 0.01 \cdot x_1 \cdot x_2 - 5.28 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (1)$$

$$\tau_l = 48.969 + 0.002 \cdot x_1 - 1.44 \cdot x_2 + 0.0125 \cdot x_3 + 0.001 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0.016 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (2)$$

$$\tau_{max} = 6.55 + 0.001 \cdot x_1 + 0.596 \cdot x_2 + 0.0563 \cdot x_3 + 0.025 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (3)$$

де x_1 – фактор 1 (пожежне навантаження у перерахунку на 1 м² кабельного тунелю, МДж/м²);

x_2 – фактор 2 (площа поперечного перерізу кабельного тунелю, м²);

x_3 – фактор 3 (горизонтальна складова швидкості руху повітря, м/с).

Доцільно спрямувати подальшу роботу на дослідження вогнестійкості будівельних конструкцій кабельних тунелів за визначених за рівняннями температурних режимів пожежі у тунелі та розробити відповідну методику [5–6].

Методи дослідження. Комп'ютерне моделювання та теоретичні дослідження, проведені на основі системи диференціальних рівнянь Нав'є – Стокса для середовищ, рівнянь теплопровідності Фур'є, а також рівнянь теплообміну у твердих, газоподібних тілах та напружено-деформованого стану твердих будівельних матеріалів в умовах нагрівання під час пожежі. Для їх розв'язання було використано метод граничних (кінцевих) елементів, а також методи оброблення розрахункових даних.

Метою статті є наукове обґрунтування алгоритму розрахунку та розроблення на його підґрунті методу розрахункової оцінки класу вогнестійкості будівельних конструкцій кабельних тунелів, що базується на математичному моделюванні.

Виклад основного матеріалу. Для математичного опису температурного режиму пожежі на гілці, що зростає, запропоновано використовувати формулу, яка наведена нижче і є удосконаленою модифікацією формули стандартного температурного режиму пожежі відповідно до стандарту [2] та робіт [1; 7], що було

масштабовано з урахуванням результатів, які отримані у попередніх дослідженнях [5–7].

$$\Theta_p = 20 + 345 \frac{\Theta_{e\ max} - 20}{\Theta_{max}} \lg[8t + 1] \quad (4)$$

де значення масштабування максимальної середньооб'ємної температури пожежі у формулі (4) визначається за виразом:

$$\Theta_{max} = 20 + 345 \lg[8\tau_{max} + 1] \quad (5)$$

Для представлення гілки, що спадає, температурного режиму пожежі можна використати формулу, яка відповідає лінійній залежності зменшення температури [6]:

$$\Theta_c = \Theta_{e\ max} - \frac{\Theta_{e\ max} - 20}{\tau_l - \tau_{max}} (t - \tau_{max}) \quad (6)$$

Так:

$Q_{e\ max}$ – максимальна середньооб'ємна температура;

τ_{max} – час досягнення середньооб'ємної максимальної температури;

τ_l – тривалість пожежі.

Вказані параметри обчислюються за виразами регресій, що були одержані після проведення повного факторного експерименту [5].

На рис. 1–3 наведені температурні режими пожеж, що були отримані для різних вхідних даних щодо конструкції та пожежного навантаження кабельних тунелів.

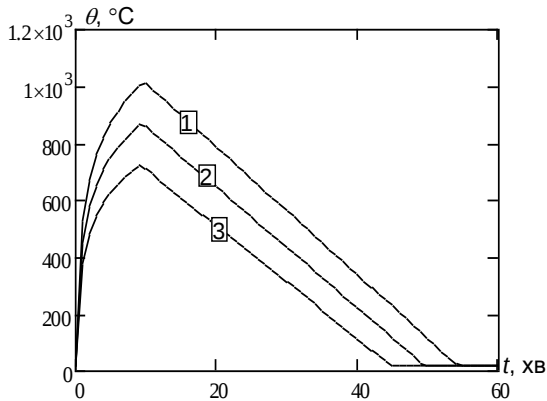


Рисунок 1 – Графіки температурних режимів пожежі за різних значень питомої теплоти згоряння пожежного навантаження (за незмінних значень площі поперечного перерізу тунелю $S = 3.64 \text{ м}^2$ та горизонтальної складової швидкості руху повітря у ньому $v_x = 2.5 \text{ м/с}$):

- 1 – $q_{t,d} = 2247 \text{ МДж/м}^2$;
- 2 – $q_{t,d} = 1236 \text{ МДж/м}^2$;
- 3 – $q_{t,d} = 224,7 \text{ МДж/м}^2$.

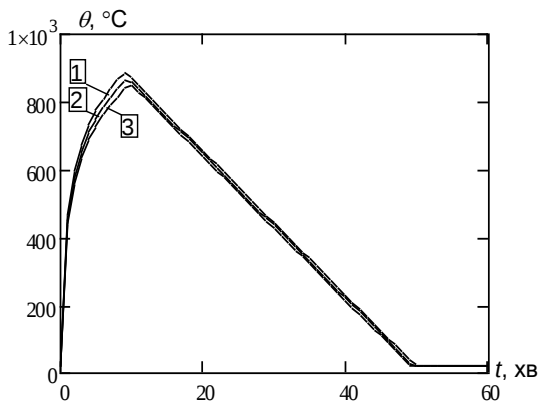


Рисунок 2 – Графіки температурних режимів пожежі за різних значень площі поперечного перерізу кабельного тунелю (за незмінних значень горизонтальної складової швидкості руху повітря $v_x = 2.5 \text{ м/с}$ та питомої теплоти згоряння пожежної навантаги $q_{t,d} = 1236 \text{ МДж/м}^2$):

- 1 – $S = 2.88 \text{ м}^2$;
- 2 – $S = 3.64 \text{ м}^2$;
- 3 – $S = 4.4 \text{ м}^2$.

Аналізуючи графіки, наведені на рис. 1–3, доходимо висновку, що найбільш впливовим фактором у кабельному тунелі у разі визначення температурного режиму пожежі є питома теплота згоряння пожежного навантаження. Менше впливає фактор горизонтальної складової швидкості руху повітря у тунелі.

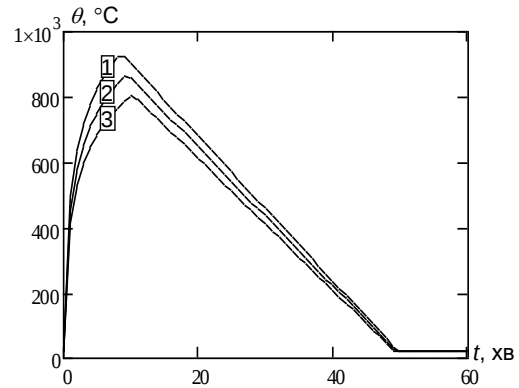


Рисунок 3 – Графіки температурних режимів пожежі за різних значень горизонтальної складової швидкості руху повітря у кабельному тунелі (за незмінних значень площі поперечного перерізу тунелю $S = 3.64 \text{ м}^2$ та питомої теплоти згоряння пожежної навантаги у ньому $q_{t,d} = 1236 \text{ МДж/м}^2$):

- 1 – $v_x = 0 \text{ м/с}$;
- 2 – $v_x = 2.5 \text{ м/с}$;
- 3 – $v_x = 5 \text{ м/с}$.

І найменш впливовим фактором є площа поперечного перерізу тунелю у межах визначеного діапазону, що був розглянутий у цій роботі.



Рисунок 4 – Розрахункова схема до теплового розрахунку огорожувальних конструкцій кабельного тунелю

Для здійснення розрахункової оцінки вогнестійкості огорожувальних залізобетонних конструкцій кабельних тунелів у разі використання розглянутих температурних режимів пожежі має бути визначено температуру прогріву огороження тунелю у будь-який момент часу пожежі. За таких умов конструкція може бути представлена у вигляді нескінченної пластини кінцевої товщини,

що обігривається з одного боку, і тоді можна використати розрахункову схему, яка наведена на рис. 4.

Для обчислення температури прогрівання огорожувальних конструкцій тунелів застосовується усталений підхід з використанням як базової моделі теплопровідності [3–7], що має вигляд (7).

$$c_{p,c}(\theta)\rho_c(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_c(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial x}\right) \quad (7)$$

де $\lambda_c(\theta)$ – коефіцієнт теплопровідності бетону, що залежить від температури, Вт/(м·°C);

$\rho_c(\theta)$ – густина бетону, що залежить від температури, кг/м³; t – час, с;

$c_{p,c}(\theta)$ – питома теплоємність бетону, яка залежить від температури, Дж/(кг·°C).

Залежні від температури теплофізичні характеристики бетону – коефіцієнт теплопровідності, густина та питома

теплоємність – встановлені відповідно до рекомендацій стандарту [3].

Інтегрування рівняння нестационарної теплопровідності у вказаному записі можливо провести у разі використання обчислювальних методів [3–4]. Для рівняння теплопровідності (7) застосована апроксимація за методом кінцевих різниць [7–8]. Для реалізації метода кінцевих різниць, під час інтегрування нестационарного рівняння теплопровідності (7) використаний інтегро-інтерполяційний метод, що наведено у [7–8]. За таких умов рівняння нестационарної теплопровідності (7) можна записати через лінійні алгебраїчні рівняння.

Ліва частина рівняння теплопровідності (7) із частковою похідною за часом за апроксимації кінцевими різницями у зазначеній точці записується у вигляді виразу (8).

$$c_p(\theta)\rho_w(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial t}\Big|_{i,k} = c_p(\theta_{i,k})\rho_w(\theta_{i,k})(\theta_{i,k} + \theta_{i,k+1}) \cdot \frac{\theta_{i,k+1} - \theta_{i,k}}{2\Delta t}. \quad (8)$$

Вираз часткової похідної правої частини рівняння теплопровідності через

кінцеві різниці (7) із відповідною точністю $O(\Delta h^2 + \Delta t)$ набуває вигляду (9).

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial x}\right)\Big|_{i,k} = \frac{1}{\Delta x^2} [a_x \theta_{i-1,k}^x - (a_x + b_x) \theta_{i,k}^x + b_x \theta_{i+1,k}^x]. \quad (9)$$

Коефіцієнти у виразі (9) є коротким записом множників із коефіцієнтом теплопровідності та обчислюються у разі

застосування інтегро-інтерполяційного методу, наведеного у [7–8] через формули:

$$a = \frac{\lambda_w(\theta_{i-1})\lambda_w(\theta_i)}{\lambda_w(\theta_{i-1}) + \lambda_w(\theta_i)}, \quad b = \frac{\lambda_w(\theta_{i-1})\lambda_w(\theta_i)}{\lambda_w(\theta_{i-1}) + \lambda_w(\theta_i)}. \quad (10)$$

Формули 8–10 надають можливість апроксимувати рівняння теплопровідності (7) алгебраїчними рівняннями у кінцевих різницях. Рівняння записуються у вигляді рекурентних формул для області вузлів розрахункової сітки у (k+1)-тий момент часу відповідно до показників температур, отриманих попередньо у k-тий момент часу.

Зазначені рекурентні формули мають неявний вигляд та розв'язуються як рівняння.

Застосовуючи прийняті математичні моделі теплопередачі було проведено розрахунок температури у перерізі огороження із різною товщиною. Товщина варіювалася у межах, як наведено на рис. 5.

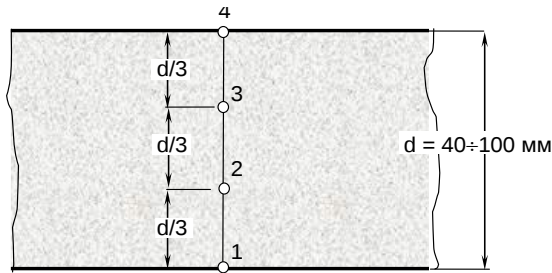


Рисунок 5 – Схема розташування контрольних точок для температурних показників їх прогрівання на загальному вигляді конструктивної розрахункової схеми огорожувальних конструкцій кабельних тунелів

Для розв'язання задачі теплопровідності відповідно до методу кінцевих різниць необхідно задати початкові дані. У розробленій методиці були встановлені такі початкові дані:

початкова температура $\theta_0 = 20^\circ\text{C}$;

часовий крок інтегрування – $\Delta t = 60\text{ с}$;

просторовий крок інтегрування $\Delta x = 0.005\text{ м}$.

Як приклад алгоритму застосування розробленої методики (як режиму пожежі)

була використана температурна крива 2, що наведена на рис. 1, вона відповідає середнім значенням характеристик кабельних тунелів. Загалом температурний режим пожежі визначається для конкретного тунелю та залежить від його характеристик: пожежного навантаження, виду кабелів, що прокладені, геометричної та аеродинамічної конфігурацій.

Після проведення розрахунків з використанням табличного процесора Microsoft Excel були отримані результати у вигляді температурних режимів, наведених на рис. 6.

Згідно з аналізом результатів, наведених на рис. 6, температура на обігрівній стороні під впливом прийнятого температурного режиму пожежі (у цьому випадку крива 2 (рис. 1), яку було обрано для прикладу розрахунку за методикою) у кабельному тунелі не перевищує 400°C . Це свідчить про те, що умови прогрівання за вказаного режиму є набагато м'якшими за умови стандартного температурного режиму пожежі.

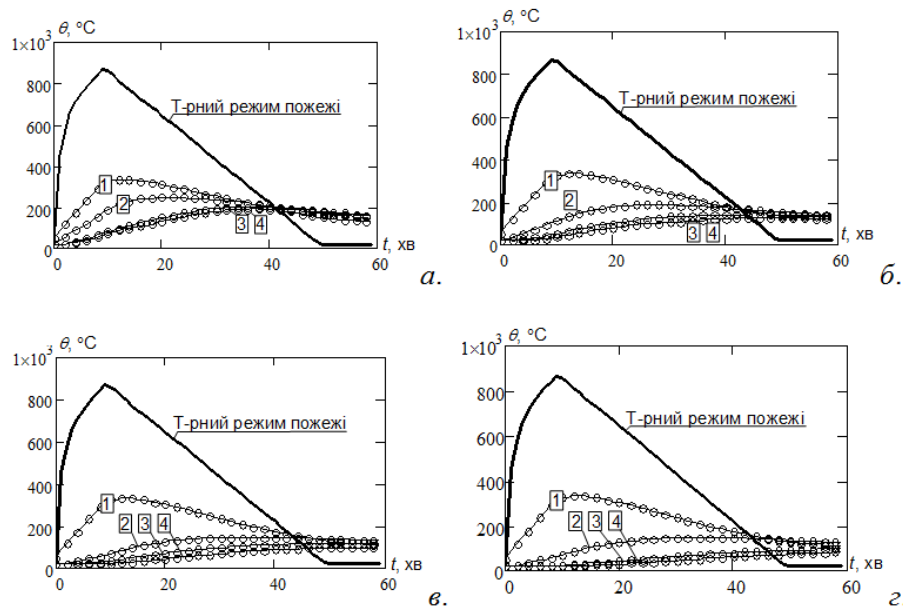


Рисунок 6 – Температурні режими прогрівання залізобетонних огорожувальних конструкцій кабельного тунелю (числові позначення відповідають номерам точок зі схеми на рис. 5) за постійних значень площі поперечного перерізу тунелю $S = 3.64\text{ м}^2$, питомої теплоти згоряння пожежної навантажки $q_{t,d} = 1236\text{ МДж/м}^2$ та горизонтальної складової швидкості руху повітря $v_x = 2.5\text{ м/с}$ для різної товщини конструкції:

а) 40 мм; б) 60 мм; в) 80 мм; г) 100 мм

Для порівняння отриманих результатів, наведених на рис. 6, були проведені розрахунки для теплового впливу пожежі із

стандартним температурним режимом. Отримані результати наведені на рис. 7.

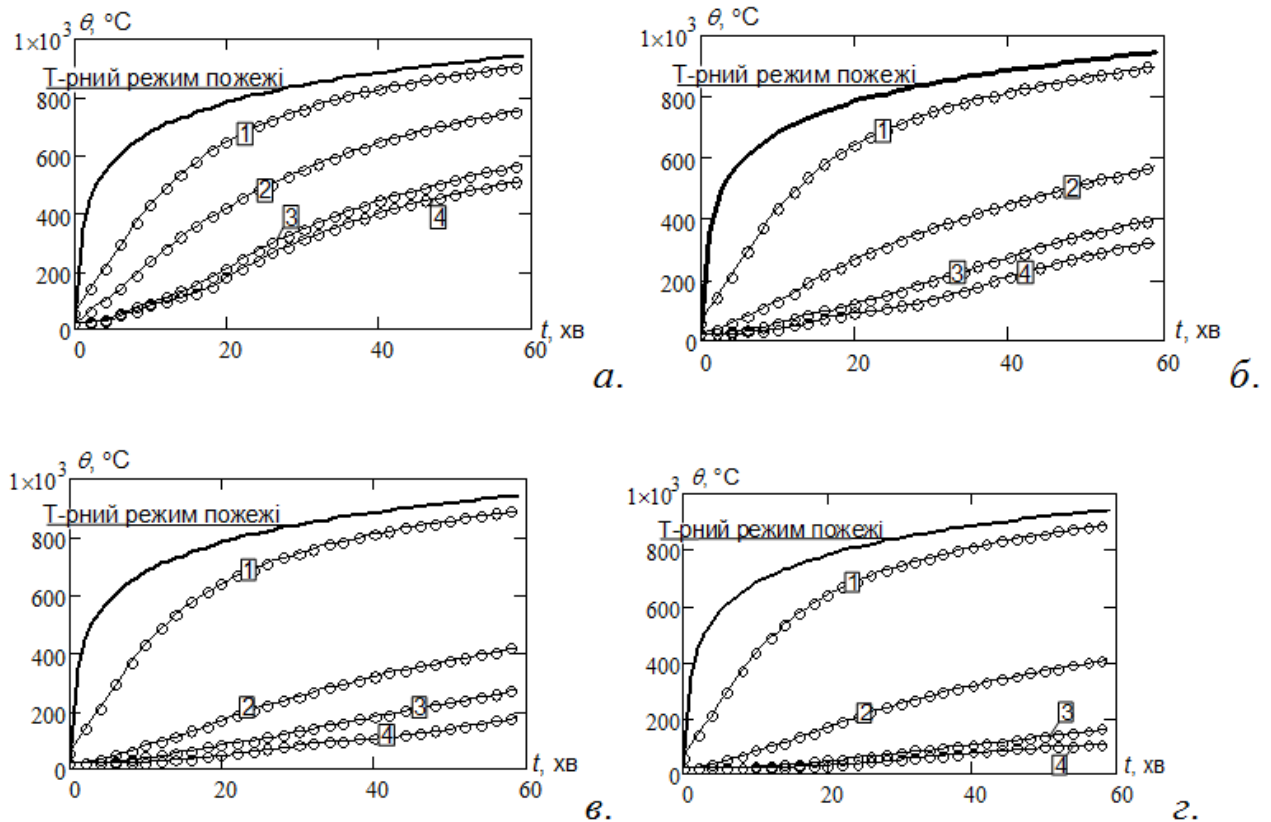


Рисунок 7 – Температурні режими прогрівання залізобетонних огорожувальних конструкцій кабельного тунелю (числові позначення відповідають номерам точок зі схеми на рис. 5) за умов стандартного температурного режиму пожежі для різної товщини конструкції:

а) 40 мм; б) 60 мм; в) 80 мм; г) 100 мм

З огляду на аналіз результатів, наведених на рис. 7, температура на обігрівній стороні під впливом прийнятого температурного режиму пожежі у кабельному тунелі вища за 400 °С. Це свідчить про те, що можуть бути обґрунтовані більш м'які умови пожежі і відповідно вища вогнестійкість. Для оцінки класу вогнестійкості огорожувальних залізобетонних конструкцій кабельного тунелю були побудовані розподіли температури по перерізу цих конструкцій. Побудовані розподіли наведені на рис. 8. Аналізуючи графіки на рис. 8, можна побачити, що лише огороження із товщиною стінки 40 мм не відповідає

вимогам щодо класів вогнестійкості EI 30, EI 45 та EI 60, оскільки температура на необігрівній стороні стінок огорожувальних конструкцій досягає значення, що більше за 140 °С (вважаємо цілісність огорожувальних конструкцій безпечною за умови дотримання вимог стандарту [2–4] щодо сушки та твердіння бетону).

З метою порівняння отриманих результатів, що наведені на рис. 8, були проведені розрахунки для теплового впливу пожежі зі стандартним температурним режимом. Було отримано результати, наведені на рис. 9.

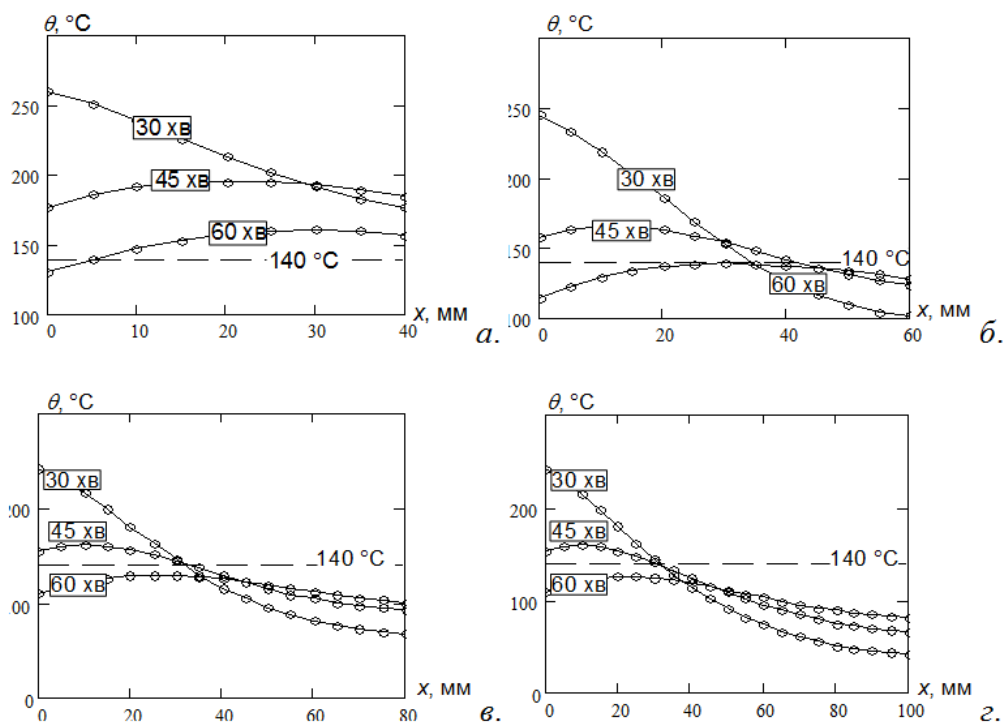


Рисунок 8 – Температурно-часові розподіли у перерізах залізобетонних огорожувальних конструкцій кабельного тунелю за постійних значень горизонтальної складової швидкості руху повітря $v_x = 2.5$ м/с, площі поперечного перерізу тунелю $S = 3.64$ м² та питомої теплоти згоряння пожежної навантаги $q_{t,d} = 1236$ МДж/м² для різної товщини конструкції:

а) 40 мм; б) 60 мм; в) 80 мм; г) 100 мм

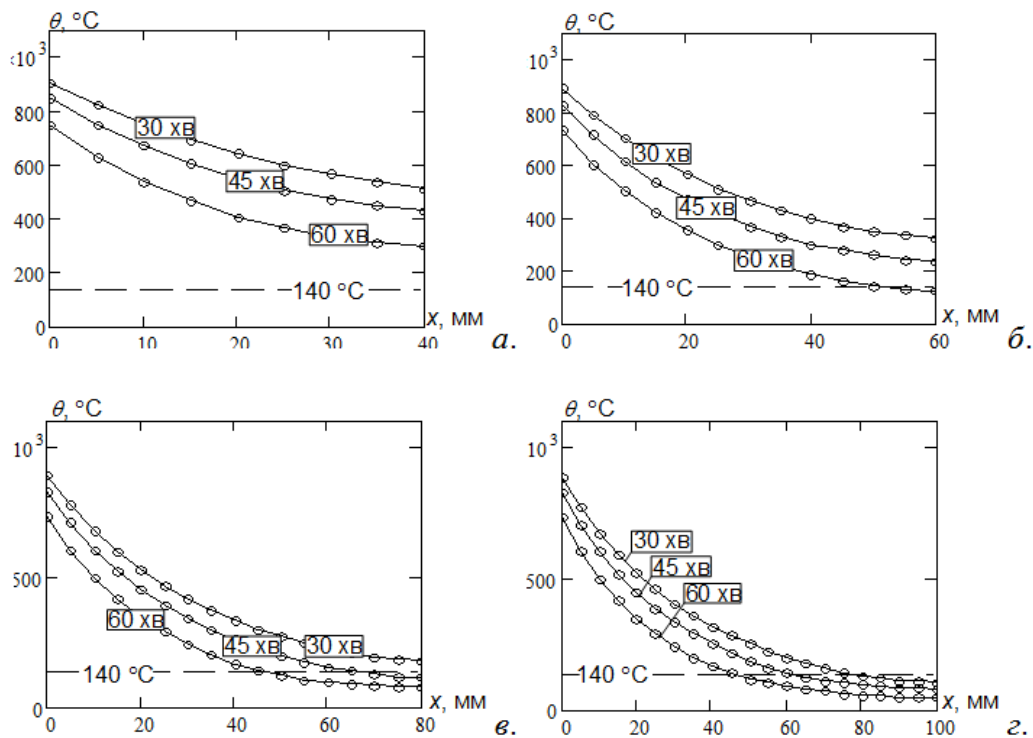


Рисунок 9 – Температурно-часові розподіли у перерізах залізобетонних огорожувальних конструкцій кабельного тунелю за умов стандартного температурного режиму пожежі із товщиною:

а) 40 мм; б) 60 мм; в) 80 мм; г) 100 мм

Згідно з аналізом графіків (рис. 9) тільки огороження кабельного тунелю товщиною 100 мм задовольняє вимоги усіх класів вогнестійкості EI 30, EI 45 та EI 60, тоді як стінки тунелю товщиною 80 мм відповідають EI 30 та EI 45, стінки тунелю товщиною 60 мм – тільки EI 30. Викладене показує переваги запропонованого підходу, оскільки дає змогу обґрунтувати вищі класи вогнестійкості для огороження з товщиною меншою за 80 мм.

З огляду на проведені дослідження було запропоновано рекомендації щодо розрахункової оцінки вогнестійкості залізобетонних огорожувальних конструкцій кабельних тунелів. Розроблена методика містить у своїй основі такі процедури:

1. За формулами (1) – (3) визначаються параметри для побудовання температурної кривої режиму пожежі у кабельному тунелі: максимальна температура пожежі всередині, час її досягнення, а також тривалість пожежі.

2. За формулами (4) – (6) будується температурна крива режиму пожежі у кабельному тунелі.

3. У результаті розрахунку будуються розподіли температури у перерізі огороження кабельного тунелю в час, що відповідає необхідному класу вогнестійкості.

4. Якщо температура на необігрівній стороні не перевищує 140 °C, можна робити висновок, що цілісність та теплоізолювальна здатність відповідають зазначеному класові вогнестійкості.

Висновки та напрями подальших досліджень.

1. Розраховано температурні режими прогрівання залізобетонних огорожувальних конструкцій кабельного тунелю (див. рис. 6) за постійних значень питомої площі поперечного перерізу тунелю $S = 3.64 \text{ м}^2$, теплоти згоряння пожежної навантаги $q_{t,d} = 1236 \text{ МДж/м}^2$, горизонтальної складової швидкості руху повітря в тунелі $v_x = 2.5 \text{ м/с}$ для товщини конструкцій: 40 мм; 60 мм; 80 мм; 100 мм.

2. Проведено розрахунок межі вогнестійкості будівельних конструкцій стінки огороження кабельного тунелю товщиною: 40 мм; 60 мм; 80 мм; 100 мм. Відповідно до цих даних огороження товщиною 100 мм відповідають класам вогнестійкості EI 30, EI 45 та EI 60; стінки тунелю товщиною 80 мм – лише класам вогнестійкості EI 30 та EI 45; стінки тунелю товщиною 60 мм – класу вогнестійкості EI 30. Викладене доводить переваги запропонованого підходу, оскільки надає можливість обґрунтувати вищі класи вогнестійкості для конструкцій огороження товщиною меншою за 80 мм.

3. Науково обґрунтовано та перевірено алгоритм розрахунку, а також розроблено на його основі метод розрахункової оцінки класу вогнестійкості будівельних конструкцій кабельних тунелів, що базується на математичному моделюванні. Під час обчислення будуються розподіли температури по перерізу огороження кабельного тунелю у час, який відповідає необхідному класові вогнестійкості. Якщо температура на необігрівній стороні не перевищує 140 °C, можна робити висновок, що цілісність та теплоізолювальна здатність відповідають вказаному класові вогнестійкості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. М. : Пожарная безопасность и наука, 2001. 382 с.
2. ДСТУ Б В.1.1-4-98 ISO 834:1975.Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість. Загальні вимоги. [Чинний від 1998-10-28]. Київ : Укрархбудинформ, 1999. 21с. (Державний стандарт України).
3. ДСТУ-Н EN 1991-1-2:2010 Єврокод 1 : Дії на конструкції – Частина 1–2 : Загальні дії – Дії на конструкції під час пожежі [Чинний від 2014-01-07]. Київ : ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК). 74 с.
4. EN 1992-1-2:2004+A1:2019 (2019) Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1–2 : General rules. Structural fire design, Brussels. 118 p.
5. Повний факторний експеримент з визначення температурних режимів пожежі у кабельних тунелях / О. М. Нуянзін та ін. *Надзвичайні ситуації : попередження та ліквідація*. 2019. Т. 3. № 6. С. 83–89.
6. Самченко Т. В. Оцінка джерел надходження радіонуклідів до організму мешканців сільських територій Полісся України : дис. ... д-р філософії : 261 / ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України. Черкаси, 2020. 171 с.
7. Методи математичного моделювання теплових процесів при випробуваннях на вогнестійкість залізобетонних будівельних конструкцій : монографія / О. М. Нуянзін та ін. Черкаси, 2015. 120 с.
8. Pozdieiev S. et al. Computational study of bearing walls fire resistance tests efficiency using different combustion furnaces configurations. *MATEC Web of Conferences. EDP Sciences*, 2017. Т. 116. С. 02027.

REFERENCES

1. Rojzman V. M. (2001). Inzhenernye resheniya po ocenke ognestojkosti proektiruemyh i rekonstruiromykh zdaniy. M. : Associaciya «Pozharnaya bezopasnost' i nauka» [Engineering solutions for assessing the fire resistance of projected and reconstructed buildings]. M.: Association «Fire safety and science». 382 p. [in Russian].
2. DSTU B V.1.1-4-98. Zakhyst vid pozhezhi. Budivelni konstruktsiyi. Metody vyprobuvannya na vohnestiykist. Zahalni vymohy (ISO 834:1975) (1999). [Fire protection. Building constructions. Fire resistance test methods. General requirements]. Kyiv: Ukrarkhbudynform, 21 s. [in Ukrainian].
3. DSTU-N EN 1991-1-2:2010 Yevrokod 1: Dii na konstruktssii – Chastyna 1-2: Zahalni dii – Dii na konstruktssii pid chas pozhezhi [Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions -Actions on structures exposed to fire] [in Ukrainian].
4. EN 1992-1-2:2004+A1:2019 (2019). Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1–2 : General rules. Structural fire design, Brussels. 118 p. [in English].
5. Nuianzin, O. M., Samchenko T. V., Peregin A. V., Krishtal V. M. (2019). Povnyi faktorny eksperyment z vyznachennia temperaturnykh rezhymiv pozhezhi u kabelnykh tuneliakh [A new factorial experiment on the determination of temperature conditions in the fire near cable tunnels]. *Nadzvychnaii sytuatsii : poperedzhennia ta likvidatsiia*. T. 3. № 6. S. 83–89 [in Ukrainian].
6. Samchenko T. V. (2020). Otsinka dzherel nadkhodzhennia radionuklidiv do orhanizmu meshkantsiv silskykh terytorii Polissia Ukrainy [Estimation of sources of receipt of radionuclides to an organism of inhabitants of rural territories of Polissya of Ukraine]: Thesis ... Dr. of Philosophy: 261 / CHIPB them. Heroes of Chernobyl NUTSZ of Ukraine. Cherkasy. 171 p. *Metody matematychnoho modeliuвання teplovykh protsesiv pry vyprobuvanniakh na vohnestiikist zalizobetonnykh budivelnykh konstruktssii : monohrafiia* [in Ukrainian].
7. Nuianzin O. M., Nekora O. V., Pozdieiev S. V. [ta in.] (2019). *Metody matematychnoho modeliuвання teplovykh protsesiv pry vyprobuvanniakh na vohnestiikist zalizobetonnykh budivelnykh konstruktssii : monohrafiia* [Methods of Mathematical Modeling of Thermal Processes in Viproavannyh on the fire of concrete alarm constructions : monograph]. Cherkasy: ChIPB im. Heroes of Chornobil NUTSZ Ukraine. 120 p. [in Ukrainian].
8. Pozdieiev S. et al. (2019). Computational study of bearing walls fire resistance tests efficiency using different combustion furnaces configurations. *MATEC Web of Conferences. EDP Sciences*, 2017. Т. 116. P. 02027 [in English].

SCIENTIFIC SUBSTANTIATION OF THE METHOD OF CALCULATION ASSESSMENT OF THE CLASS OF FIRE RESISTANCE OF BUILDING STRUCTURES OF CABLE TUNNELS

O. Nuianzin¹, T. Samchenko², V. Nuianzin¹, A. Maiboroda¹

¹*Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes National University of Civil Defence of Ukraine*

²*Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine*

KEYWORDS

cable tunnel, fire temperature mode, computer modeling, building constructions, fire resistance class

ANNOTATION

Cable tunnels differ in geometric configuration, type of cables laid in them, fire load and aerodynamic characteristics. This can lead to the fact that the temperature of the fire in such tunnels may differ from the standard and from each other. In this case, it is not possible to guarantee compliance of the limits of fire resistance of the tested structures with the current standards. In this work, the temperature regimes of heating reinforced concrete enclosing structures of different thickness (40 mm; 60 mm; 80 mm; 100 mm) of cable tunnel at constant values of specific heat of combustion of fire load, cross-sectional area of cable tunnel and horizontal air velocity component are calculated. The calculation of fire resistance of building structures of the wall of the cable tunnel fence with a thickness of: 40 mm; 60 mm; 80 mm; 100 mm is conducted. To perform a calculated assessment of the fire resistance of reinforcing concrete structures of cable tunnels using the proposed temperature regimes of the fire, the heating temperature of the fence at any time of the fire was determined. The obtained data shows that not all barriers will meet the requirements of fire resistance classes EI 30, EI 45 and EI 60. The advantages of the proposed approach have been proven, as it allows to justify much higher fire resistance classes for fences smaller than 80 mm. Based on the results of the work, the calculation algorithm is scientifically substantiated and verified, and the method of calculation assessment of the fire resistance class of building structures of cable tunnels based on mathematical modeling is developed on its basis. During the calculation, temperature distributions are constructed along the cross section of the cable tunnel fence at a time that corresponds to the required fire resistance class. If the temperature on the unheated side does not exceed 140 °C, it can be concluded that it complies or does not comply with the required fire resistance class. In view of the conducted research, recommendations were proposed for the estimated assessment of fire resistance of reinforced concrete enclosing structures of cable tunnels. The developed technique is based on the following procedures.

УДК 614.843

ВИМОГИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ДО ВИСОТНИХ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ З УМОВНОЮ ВИСОТОЮ ВІД 100 М ДО 150 М

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.2.30-42>

Балло Я. В.^{1*}, ORCID iD 0000-0002-9044-1293

Голікова С. Ю., ORCID iD 0000-0002-7793-2901

Сізіков О. О., ORCID iD 0000-0002-7861-3144

Жихарев О. П., ORCID iD 0000-0003-4323-1880

Савченко О. В., ORCID iD 0000-0002-4140-3055

Несенюк Л. П., ORCID iD 0000-0002-7796-7952

*E-mail : ballo@undicz.dsns.gov.ua

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

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 19.08.2021

Пройшла рецензування: 21.10.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

пожежна безпека висотних громадських будівель, об'ємно-планувальні та конструктивні рішення, заходи щодо обмеження поширення пожежі фасадом, умови безпеки для пожежно-рятувальних підрозділів, безпечна евакуація людей

АНОТАЦІЯ

На основі результатів аналітичних досліджень обґрунтовано норми пожежної безпеки до висотних громадських будівель з умовною висотою від 100 м до 150 м включно під час їх проектування, зокрема щодо планування території та розміщення на ній висотних будівель, а також вимоги до об'ємно-планувальних та конструктивних рішень і матеріалів, інженерних систем, систем протипожежного захисту, забезпечення безпечної евакуації людей. Висвітлено питання про умови безпеки для пожежно-рятувальних підрозділів. Наведено результати наукових розвідок щодо обґрунтування заходів стосовно обмеження поширення пожежі фасадом будівель та відповідні конструктивні норми. Вимоги, які увійшли до проекту національного стандарту України розроблено з урахуванням міжнародного досвіду проектування таких будівель та сучасного рівня науково-технічного розвитку у сфері пожежної безпеки.

Постановка проблеми. У чинних в Україні будівельних нормах [1] не містяться вимоги пожежної безпеки до громадських будівель з умовною висотою від 100 до 150 м, а є посилання на необхідність розроблення відповідного національного стандарту.

Встановлення загальнонаціональних вимог пожежної безпеки під час проектування висотних громадських будівель з умовною висотою від 100 м до 150 м включно (далі висотних громадських будівель) є актуальною задачею, оскільки згідно з даними [2] в Україні станом на 2021 рік за індивідуальними технічними вимогами побудовано близько 100 будівель з умовною висотою вище 100 м. Окремим науковим завданням є проведення аналітичних

досліджень міжнародного досвіду з проектування і сучасних тенденцій науково-технічного розвитку протипожежного захисту таких будівель, що є підґрунтям для створення національного стандарту, який буде доповнювати вимоги [1] та міститиме специфічні вимоги пожежної безпеки під час проектування висотних громадських будівель з умовною висотою від 100 м до 150 м включно.

Аналіз статистичних даних про пожежі, їх причини та наслідки, що виникли у висотних будівлях упродовж останніх десяти років в Україні та світі [3], надав можливість виявити недоліки у протипожежному захисті висотних будівель та використовувати їх як вихідні дані для

обґрунтування вимог пожежної безпеки до висотних громадських будівель з умовною висотою від 100 м до 150 м. Окрім цього, проведено аналіз вітчизняних нормативних документів щодо вимог до систем протипожежного захисту (далі – СПЗ) для виявлення особливостей їх застосування під час проєктування таких об'єктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження [4–6] у сфері удосконалення безпеки висотних будівель проводились такими вітчизняними вченими, як В. Куцевич, О. Сізіков, В. Ніжник, Р. Яковчук, В. Максименко, П. Григоровський, О. Башинський, С. Новак, В. Балицький та іншими. Також варті уваги роботи [7–10] таких зарубіжних вчених, як Marija J.R., Fukuda R, Kurino H, S. Davis, W. Dasui, A. Wood, в яких розглядалися питання пожежної безпеки під час проєктування висотних громадських будівель, а їх результати були впроваджені у низці нормативних документів Європи та США. Разом із тим швидкий розвиток нових технологій будівництва та інфраструктури населених пунктів зумовлює необхідність постійного удосконалення вимог протипожежного захисту висотних громадських будівель як в частині їх об'ємно-конструктивних рішень, так і в частині обладнання їх адекватними системами протипожежного захисту.

Мета дослідження полягає у підвищенні рівня пожежної безпеки під час проєктування висотних громадських будівель шляхом обґрунтування унормованих вимог пожежної безпеки та розроблення проєкту відповідного національного стандарту. Для цього необхідно:

- провести аналіз статистичних даних про пожежі у висотних будинках, їх причин та наслідків;
- провести аналіз вітчизняних та закордонних нормативних документів, інформаційних джерел щодо забезпечення протипожежних заходів та вимог пожежної безпеки для висотних громадських будинків з умовною висотою понад 100 м;

- обґрунтувати вимоги пожежної безпеки для висотних громадських будинків з умовною висотою від 100 м до 150 м щодо забезпечення: вогнестійкості несучих конструкцій, обмеження утворення і поширення вогню та диму у будівлі, обмеження поширення вогню на суміжні споруди, евакуації людей, передбачення сучасних систем протипожежного захисту та проведення рятувальних робіт.

Методи дослідження. В роботі було використано методи комплексного аналізу і узагальнення раніше виконаних наукових розвідок щодо обґрунтування вимог пожежної безпеки для висотних громадських будинків. Під час дослідження окремих випадків пожеж використано системно-структурний підхід та методи неповної індукції.

Виклад основного матеріалу. Під час розроблення проєкту національного стандарту, в якому встановлюються вимоги пожежної безпеки до висотних громадських будівель, було визначено таку структуру документа, а саме:

- терміни та визначення понять;
- загальні положення;
- територія та розміщення висотних громадських будівель;
- об'ємно-планувальні рішення;
- конструктивні рішення і матеріали;
- інженерні системи та системи протипожежного захисту;
- забезпечення евакуації людей;
- безпека пожежно-рятувальних підрозділів;
- додатки, які включають окремі тактико-технічні характеристики та проєкції епюр обслуговування фасадів висотних будівель пожежних автодрабин та автопідйомників і приклади конструктивних рішень щодо обмеження пожеж фасадами висотних громадських будівель.

Детально розглянемо кожний із наведених розділів та викладемо обґрунтування щодо нових нормативних вимог, удосконалення існуючих положень та перспективних напрямів подальших наукових досліджень.

За результатом аналізу нормативно-правових актів [1, 11–15] та співпраці з проектними організаціями і експертами в галузі будівництва висотних об'єктів у частині пожежної безпеки встановлено ряд нових термінів та визначень понять. Зокрема, в проєкті стандарту наведено визначення таких термінів: висота нижнього вертикального протипожежного відсіку, протипожежний карниз, висотний громадський комплекс, апартаменти, транспортні тунелі в об'ємі будівлі, шафа безпеки, пожежний пост, шахта комунікаційна, шафа (ніша).

Наприклад, такі звичні для проєктувальників терміни, як «шахта комунікаційна» та «шафа (ніша)», в реальному житті під час їх проєктування викликають неоднозначне тлумачення в частині вимог до огорожувальних протипожежних конструкцій та вогнестійкості проходок через них. У проєкті стандарту встановлено, що шахта комунікаційна – це вбудована в об'ємі будівлі вертикальна канална система, яка перетинає два і більше поверхів, має протипожежні огорожувальні конструкції та заповнення прорізів у протипожежних перешкодах із відповідним класом вогнестійкості, об'єм якої використовують для прокладання інженерних комунікацій та/або улаштування обладнання. Щодо терміна «шафа» або «ніша» встановлено, що ця вбудована в межах об'єму поверху будівлі конструкція призначена для розміщення і забезпечення можливості доступу до інженерних систем та систем протипожежного захисту будівлі. Клас вогнестійкості проходок інженерних комунікацій через огорожувальні конструкції шафи (ніші) з нормованим класом вогнестійкості або через протипожежні перешкоди має бути не меншим, ніж нормований клас вогнестійкості цієї огорожувальної конструкції або протипожежної перешкоди за ознакою EI.

Запроваджені підходи до забезпечення протипожежного захисту висотних громадських будівель унеможливають

розміщення житлових приміщень з постійним проживанням людей у будинках з умовною висотою вище 100 м у зв'язку з високим ризиком виникнення пожежі, ускладненням евакуації людей, а також відсутністю можливості доступу для обслуговування СПЗ всередині житлових приміщень, які належать мешканцям. Окрім того, згідно з дослідженнями [3] до 60% причин виникнення пожеж у житлових приміщеннях є порушення правил експлуатації кухонного обладнання та правил пожежної безпеки у приміщенні кухні. Разом із тим, ураховуючи наявність у складі висотних громадських будівель приміщень готельного типу для тимчасового проживання людей, відповідно до європейських вимог також передбачено можливість розміщення апартаментів. Згідно зі встановленим визначенням «апартаменти» – це приміщення із надання готельних послуг та сервісного обслуговування для тимчасового проживання або розміщення людей, до складу яких не входить приміщення для гарячого приготування їжі, зокрема інтегроване в простір кімнат. Це рішення надає можливість розширити функціональне призначення висотних громадських будівель і водночас зменшити ризики виникнення пожежі та загрози її поширення.

З огляду на об'ємно-планувальні та конструктивні особливості проєктування висотної громадської будівлі, складність інженерних, комунікаційних систем та систем протипожежного захисту у розділі «Загальні положення» стандарту встановлено, що під час застосування вимог інших нормативних документів та нормативних актів, які не визначені у вказаному стандарті, слід дотримуватись норм як для будівель I ступеня вогнестійкості згідно із [17].

Окрім цього, у проєкті стандарту встановлені вимоги щодо визначення умовної висоти висотної громадської будівлі під час влаштування покриття, що експлуатується, а саме: умовна висота висотної громадської будівлі визначається

як різниця позначки рівня чистої підлоги покриття, що експлуатується, і позначки найнижчого рівня проїзду та встановлення пожежних автодрабин (автопідйомників). Тобто, на відміну від вимог [17], обов'язковою умовою стає забезпечення норми щодо можливості проїзду та встановлення протипожежної техніки на позначці найнижчого рівня, що в умовах пагорбної місцевості та вузьких проїздів у старих частинах міста, щільної забудови, котрі притаманні таким великим містам, як Київ, Львів, Харків та іншим, є важливим заходом щодо забезпечення доступу особового складу пожежно-рятувальних підрозділів до фасаду висотної громадської будівлі.

Розділ «Територія та розміщення висотних громадських будівель» також містить низку нововведень, що відрізняються від вимог [1] та враховують конструктивні особливості висотних громадських будівель. Як приклад, з урахуванням вимог зарубіжних нормативних документів відстань від висотної громадської будівлі до пожежного депо має бути не більше 1,5 км дорогами загального користування або тривалість прибуття пожежно-рятувальних підрозділів від пожежного депо до будівлі не повинна перевищувати 5 хв. Водночас пожежне депо має бути оснащене такою протипожежною технікою, яка забезпечує:

- проведення рятувальних робіт на висоті не менше 50 м;
- проведення гасіння пожежі та проведення заходів щодо обмеження її поширення на висоті до 90 м;
- подачу води насосами високого тиску на рівень покрівлі висотної громадської будівлі.

Також під час планування території висотної громадської будівлі або висотного громадського комплексу слід передбачати проїзди для протипожежної техніки згідно з [18] та передбачати під'їзди до: основних евакуаційних виходів із будівлі; входів, які ведуть до пожежних ліфтів; зон встановлення протипожежної техніки, які забезпечують доступ особовому складу

пожежно-рятувальних підрозділів до будь-якого приміщення на висоті не менше 50 м; зон встановлення протипожежної техніки для забору води з пожежних гідрантів, пожежних водойм; місць підключення протипожежної техніки до сухотрубів діаметром 80 мм та до площадки для посадки транспортно-рятувальної кабіни пожежного вертольоту.

Уточнено вимоги щодо освітлення території та архітектурного освітлення висотних громадських будівель, згідно з якими розміщення світильників та влаштування ліній їх живлення не повинно перешкоджати доступу особового складу пожежно-рятувальних підрозділів до фасаду будівлі. Крім цього, параметри зовнішніх освітлювальних установок мають забезпечувати освітлення площадки на покрівлі висотної громадської будівлі для посадки транспортно-рятувальної кабіни пожежного вертольоту не менше ніж 10 люксів.

Одним із основних розділів, відповідно до якого впроваджуються новітні підходи та набутий досвід під час проектування висотних громадських будівель, є розділ «Об'ємно-планувальні рішення». Варто зауважити, що висотні громадські будівлі щодо висоти повинні поділятися на вертикальні протипожежні відсіки, які слід відокремлювати один від одного протипожежним перекриттям з класом вогнестійкості не менше REI 240. Крім того, висота нижнього вертикального протипожежного відсіку та інших вертикальних протипожежних відсіків будівлі не повинна перевищувати 50 м. Ця вимога зумовлена необхідністю забезпечення обмеження щодо поширення пожежі на інші протипожежні відсіки будівлі, а значення межі вогнестійкості в 240 хв сприятиме встановленню належних умов для проведення евакуації та роботи пожежно-рятувальних підрозділів під час її ліквідації. Також у проєкті стандарту визначено вимоги щодо площі протипожежних відсіків залежно від їх функціонального призначення, зокрема для готелів, апартаментів, технічних приміщень

(бойлерні, насосні водопостачання і каналізації; камери вентиляційні та кондиціонування повітря; вузли керування та інші приміщення для встановлення та керування інженерним і технологічним обладнанням будівлі, машинні відділення ліфтів, приміщення для обладнання систем пожежогасіння тощо).

Окремо слід виділити об'ємно-планувальні та конструктивні вимоги до машиномісць для зарядки електромобілів у паркінгах висотних громадських будівель. Відповідно до нових норм такі машиномісця необхідно відокремлювати від місць паркування автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння протипожежними перегородками, які забезпечують перешкоду для запобігання поширенню пожежі та виступають за межі зазначених машиномісць не менше ніж на 0,6 м. Водночас машиномісця слід обладнувати системами пожежної сигналізації, автоматичними системами пінного пожежогасіння та системою димовидалення незалежно від кількості місць для зарядки електромобілів. Відокремлені машиномісця для зарядки електромобілів забороняється обладнувати ролетами, воротами тощо, які обмежують доступ пожежно-рятувальних підрозділів до місця зарядки електромобілів.

Серед ключових вимог, від яких залежить життя та безпека людей під час перебування у висотній громадській будівлі, є забезпечення умов безпечної евакуації в разі пожежі або іншої аварійної ситуації. Під час обґрунтування зазначених вимог розглянуто питання критичних відстаней від дверей приміщень висотної будівлі до протипожежного тамбур-шлюзу незадимлюваної сходової клітки, довжини коридорів, вибору типу незадимлюваної сходової клітки, а також планування місць розміщення пожежобезпечних зон у висотній громадській будівлі для людей, які не мають можливості вчасно евакуюватися з будівлі без допомоги пожежно-рятувальних підрозділів. Під час дослідження зарубіжного досвіду, вимог нормативних документів, а також

практичного досвіду організації та проведення евакуації людей із висотних будівель і споруд висотою більше 100 м виявлено, що для їх евакуації найбільш ефективними є незадимлювані сходові клітки без природного освітлення, з підпором повітря та із входом до сходової клітки на кожному поверсі через протипожежний тамбур-шлюз. Відкриті назовні повітряні зони на балконах, лоджіях, у галереях з природним освітленням через високі вітрові впливи на висоті спричиняють заповнення відкритих переходів димом та продуктами горіння, що не надає можливості їх використовувати для евакуації людей навіть з висоти 100 м. Таким чином, за результатами проведеного аналізу встановлено, що кількість незадимлюваних сходових кліток у висотній громадській будівлі (в межах протипожежного відсіку) слід приймати відповідно до розрахунку часу евакуації за польовим методом моделювання пожежі в будівлі згідно з ДСТУ 8828, але не менше двох типу Н4.

Окрім цього, під час проєктування незадимлюваних сходових кліток типу Н4 слід брати до уваги площу шляхів евакуації в незадимлюваних сходових клітках, що має забезпечувати можливість вміщення усієї розрахункової кількості людей під час евакуації та яка розраховується з огляду на площу 0,3 м²/люд. Виходи із незадимлюваних сходових кліток типу Н4 на рівні першого поверху мають вести назовні будівлі через вестибюлі та холи. Ширину площадок незадимлюваних сходових кліток слід передбачати з урахуванням безперешкодного транспортування людини на ношах. Визначені вимоги є адаптацією вимог [19] Великої Британії, які є обов'язковими для багатьох країн Європи.

Також згідно з нормами [19] прийнято, що з огляду на розрахунок необхідного часу евакуації людей із висотної громадської будівлі слід проєктувати місця розміщення пожежобезпечних зон з урахуванням того, що люди, які не мають можливості вчасно евакуюватися з будівлі, досягли

пожежобезпечних зон за необхідний час для подальшого рятунку пожежно-рятувальними підрозділами. Площу пожежобезпечних зон визначають з огляду на кількість людей, які можуть досягти пожежобезпечної зони за найгіршого сценарію пожежі, із розрахунку $0,3 \text{ м}^2/\text{люд}$. У кожній такій зоні має бути не менше одного місця розмірами $0,76 \text{ м} \times 1,22 \text{ м}$ для розміщення людини на інвалідному візку на кожну групу до 200 людей. Зазвичай розміщення пожежобезпечних зон передбачають на висоті 50 метрів і вище.

Що ж до комплектування пожежобезпечних зон допоміжними засобами, проаналізовано та впроваджено вимоги [20], згідно з якими передбачено на висоті 1,3 м ($\pm 0,2 \text{ м}$) встановлення шафи (ніші) безпеки із негорючих матеріалів довільної форми та розмірів, в якій повинні знаходитись такі допоміжні засоби:

- інерційний (механічний) ліхтарик, що використовується в разі відсутності електроживлення, задимлення приміщення або для подачі сигналу про допомогу (1 од. / 10 осіб);
- свисток, що використовується для подачі звукового сигналу про допомогу (1 од. / 20 осіб);
- клейка стрічка (скоч), що використовується для герметизації дверей і вентиляційних отворів у разі проникнення диму у пожежобезпечну зону;
- аптечка першої допомоги (1 од. / 20 осіб);
- копія плану евакуації (1 од. / 20 осіб);
- індивідуальні засоби захисту органів дихання (1 од. / 1 особу).

Визначено, що для обладнання пожежобезпечних зон допускається використовувати протипожежні тамбур-шлюзи пожежних ліфтів або їх облаштовують у спеціально обладнаних приміщеннях всередині будівель чи на їх покрівлі із врахуванням їх виділення протипожежними перекриттями і стінами.

Серед новітніх вимог, які вперше впроваджено у вітчизняних нормах є передбачення можливості розміщення в об'ємі висотної громадської будівлі

вбудованих та прибудованих транспортних тунелів, які є одночасно частиною міської транспортної мережі рейкового транспорту з відповідною інфраструктурою. На рис. 1 наведено приклад розміщення транспортного тунелю в об'ємі висотної будівлі в місті Чунцин, КНР.



Рисунок 1 – Транспортний тунель метро в об'ємі висотної будівлі

Джерело:[2]

Вбудовані та прибудовані транспортні тунелі в об'ємі будівлі слід відокремлювати від висотної, стилобатної або підземної частини будівлі протипожежними стінами та/або протипожежними перекриттями з класом вогнестійкості REI 240 в окремий протипожежний відсік, а евакуаційні виходи із пасажирських станцій, платформ, пунктів посадки для транспортних тунелів необхідно передбачати самостійними від евакуаційних виходів з інших функціональних частин будівлі. Крім цього, визначено, що об'ємно-планувальні рішення внутрішнього об'єму транспортних тунелів повинні забезпечувати ширину проходу між корпусом транспортного засобу та стіною транспортного тунелю не менше ніж 1,2 м для забезпечення умов евакуації, а відстань між корпусом транспортного засобу та стелею транспортного тунелю має визначатися в процесі розроблення проектної документації з урахуванням технічних характеристик транспортного засобу та його габаритів.

Значна увага приділена вимогам до будівельних конструкцій та заходам для запобігання вертикальному поширенню пожежі між поверхами фасадом будівлі.

Зокрема, визначено, що на межі вертикальних протипожежних відсіків на рівні перекриття передбачають протипожежний карниз по периметру будівлі, що виступає за межі фасаду не менше ніж на 1,5 м, які потрібно виконувати з негорючого матеріалу з мінімальним класом вогнестійкості EI 90.

Під час проведення обґрунтування зазначених вимог виявлено закономірність збільшення площі прогріву фасаду для прямих карнизів (необтічної форми). Водночас наявність протипожежного карнизу на фасаді будівлі плоскої форми не запобігає повному поширенню теплового впливу пожежі як у вертикальному, так і

горизонтальному напрямку розподілу температури, але значно зменшує його максимальне значення та збільшує тривалість прогрівання поверхні фасаду.

Висновки щодо математичного моделювання з використанням польових моделей, а також візуалізацію процесу пожежі відображено на рис. 2, де наведено результати обмеження поширення теплового впливу за допомогою прямого протипожежного карнизу по периметру будинку, який виступає за межі фасаду на 1,5 м та обтічного восьмикутного карнизу по периметру будинку, який також виступає за межі фасаду на 1,5 м.

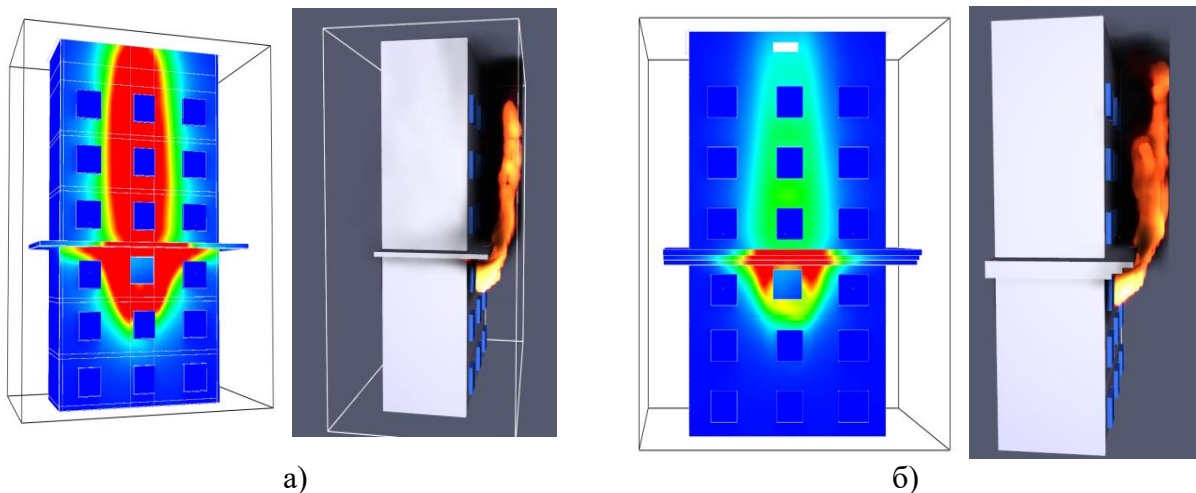


Рисунок 2 – Результати температурних розподілів прогріву фасаду для розрахункових моделей, де
а) прямий протипожежний карниз, який виступає за межі фасаду на 1,5 м;
б) обтічний протипожежний карниз, який виступає за межі фасаду на 1,5 м

Джерело: розроблено авторами

За результатами моделювання встановлено, що наявність протипожежного фасадного карнизу з шириною плоского виступу 0,75 м та 1,5 м є ефективним заходом, що обмежує температурний вплив від пожежі на рівні верхнього поверху, під яким вона виникла, з 870 °C до 450 °C та 270 °C відповідно. Разом із тим плоска форма протипожежного фасадного карнизу може збільшувати площу температурного впливу на конструкцію поверхні фасаду в межах 30–35 % за зазначених умов моделювання та для цих об'ємно-планувальних рішень

фасаду висотного будинку. У разі застосування обтічного карнизу, який виступає за межі фасаду на 0,75 м та 1,5 м, негативного явища щодо збільшення площі прогріву фасаду верхніх поверхів немає.

Дослідження ефективності відведення теплового потоку від фасаду та ефективності протипожежних фасадних карнизів на запобігання поширенню пожежі вертикальними будівельними конструкціями висотних будівель, а також виведення коефіцієнтів ефективності залежно від форми або їх типу може бути предметом подальшого дослідження, які

також передбачають експериментальні натурні випробування.

Окрім наведеного заходу, допускається передбачати зовнішні огорожувальні конструкції з нормованим класом вогнестійкості не менше EI 90 (перегородки, протипожежні вікна тощо), або водянні протипожежні завіси, або ухвалювати інші архітектурні, конструктивні та інженерні рішення, які забезпечують обмеження щодо поширення пожежі між приміщеннями вертикальних протипожежних відсіків фасадом будинку за висотою.

На основі іноземного досвіду в стандарті впроваджено довідковий додаток, в якому наведено приклади альтернативних конструктивних рішень щодо обмеження поширення пожежі фасадом висотних громадських будинків. Ці приклади є адаптацією досліджень Бельгійського інституту досліджень у галузі будівництва (BBRI) [21]. Зокрема, під час обґрунтування конструктивних рішень щодо обмеження поширення пожежі фасадом висотних громадських будинків пропонується враховувати не тільки розмір виступу частин конструкції за межі площини фасаду, а й такі параметри, як ширина карнизу, товщина міжповерхового перекриття, висота нижнього та верхнього захисного борту тощо. Приклад конструкцій, які зменшують площу світлового прорізу у фасаді висотної громадської будівлі, наведено на рис. 3.

У розділі «Інженерні системи та системи протипожежного захисту» впроваджено низку нововведень щодо проєктування інженерних систем та систем протипожежного захисту для висотних громадських будівель. Серед нових вимог слід наголосити на відсутності необхідності зонування внутрішніх водостоків для відведення дощових і талих вод, каналізації та блискавкозахисту для кожного вертикального протипожежного відсіку, що залишається обов'язковим для інженерних систем та систем протипожежного захисту або інших систем, які з ними функціонально пов'язані.

Значну увагу приділено системам внутрішнього та зовнішнього протипожежного водопроводу, вимогам до запасних і регулювальних ємностей та питанням забезпечення підключення пожежних рукавів і подачі води від пересувної протипожежної техніки.

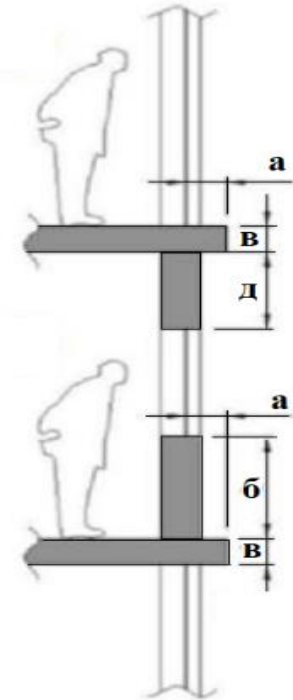


Рисунок 3 – Приклад будівельної конструкції висотної громадської будівлі, яка зменшує площу світлового прорізу у фасаді висотної громадської будівлі для обмеження можливої теплопередачі від пожежі, де

- а – ширина протипожежного карнизу;
- б – висота нижнього захисного борту;
- в – товщина міжповерхового перекриття;
- д – висота верхнього захисного борту.

Джерело: розроблено авторами

У проєкті стандарту передбачено, що розташування і ємність водонапірних, запасних і регулювальних резервуарів слід приймати згідно з вимогами [22]. Водночас загальна кількість резервуарів одного призначення повинна бути не менше двох, а тривалість гасіння пожежі визначається розрахунком, але не менше ніж 240 хв.

Уперше встановлено, що у висотних громадських будівлях у тамбур-шлюзах незадимлюваних сходових кліток Н4 слід передбачати сухотруби діаметром 80 мм зі спареними кранами на кожному поверсі, які

обладнані на рівні 1-го поверху будівлі виведеними назовні патрубками (позначка землі від рівня проїзду в межах 0,5 м – 1,0 м) для підключення та подавання води до місця пожежі за допомогою пожежних автомобілів. Кожна система протипожежного водопроводу повинна мати два виведених назовні пожежних патрубки зі з'єднувальними головками діаметром 80 мм для приєднання пожежних рукавів та подачі води від пересувної протипожежної техніки. Патрубки слід виводити назовні на відстані не більше ніж 30 м від пожежних гідрантів так, щоб була забезпечена можливість під'їзду та підключення протипожежної техніки.

Що ж до забезпечення зовнішнього протипожежного водопроводу, то в стандарті визначено, що кількість пожежних гідрантів для висотного громадського будинку слід приймати не менше трьох. Кількість пожежних гідрантів для двох або більше висотних частин висотного громадського комплексу, які мають спільну стилобатну частину, слід приймати не менше трьох для кожної будівлі висотного громадського комплексу. Водночас витрати води на зовнішнє пожежогасіння кожної з висотних частин комплексу приймають згідно з розрахунком, але не менше 45 л/с та додатково не менше 45 л/с для стилобату (за наявності). Гідранти мають розташовуватись розосереджено по периметру території, а відстань від пожежного гідранта до краю стіни висотної громадської будівлі не повинна бути більше 50 м.

Окремо наголошено на системах автоматичного пожежогасіння, а саме – встановлено, що приміщення вбудованих та вбудовано-прибудованих гаражів у висотних громадських будівлях слід обладнувати спринклерними системами пінного пожежогасіння незалежно від кількості місць, а усі приміщення у висотних громадських будівлях, у тому числі стовбур сміттєпроводу, слід устатковувати системами спринклерного пожежогасіння, окрім санітарно-гігієнічних

приміщень. Системами газового пожежогасіння слід обладнувати приміщення машинних відділень, серверні та обчислювальні центри, електротехнічні приміщення згідно з вимогами [23].

У стандарті наведено удосконалені вимоги для забезпечення діяльності та безпеки пожежно-рятувальних підрозділів щодо можливості виконання рятувальних робіт, ефективного пожежогасіння всередині та ззовні висотної громадської будівлі. З урахуванням габаритів пожежно-рятувальної техніки для висотних робіт збільшено ширину та радіуси її повороту як по прибудинковій території висотної громадської будівлі, так і для під'їзних шляхів від доріг загального призначення. Зазначається що виїзди для протипожежної техніки на покрівлю стилобату (в разі наявності) слід розташовувати розосереджено із розрахунку один виїзд на 180 м довжини периметру стилобату, але не менше двох виїздів на стилобат.

Для висотних громадських будівель передбачається розроблення плану проведення рятувальних робіт із нанесеними на ньому місцями встановлення протипожежної техніки для забезпечення доступу особового складу пожежно-рятувальних підрозділів з автодрабин та автопідйомників до кожного приміщення, що має прорізи в зовнішніх стінах, нижнього вертикального протипожежного відсіку висотної будівлі, до сухотрубів діаметром 80 мм систем протипожежного водопроводу для підключення насосів високого тиску пожежних автомобілів.

Обов'язковою частиною проєктної документації стане план-розрахунок щодо проведення рятувальних робіт пожежно-рятувальними підрозділами, який має містити такі заходи:

- можливість заїзду (під'їзду) протипожежної техніки з доріг загального користування до внутрішнього двору (території) висотної громадської будівлі (за наявності внутрішнього двору або території), включаючи проїзди через арки;

- можливість під'їзду до кожної сторони висотної будівлі, що має прорізи в зовнішніх стінах, які забезпечують доступ до приміщень будівлі;

- визначення місць встановлення протипожежної техніки із врахуванням ширини виносних опор та навантаження від них;

- визначення зони обслуговування фасаду висотної будівлі одним встановленим пожежним автопідйомником або автодрабиною для кожного визначеного місця;

- визначення проєкції епюр зони обслуговування пожежних автодрабин або автопідйомників на кожен сторону висотної громадської будівлі, які мають прорізи в зовнішніх стінах, що забезпечують доступ до приміщень будівлі, приклад яких наведено на рис. 4.

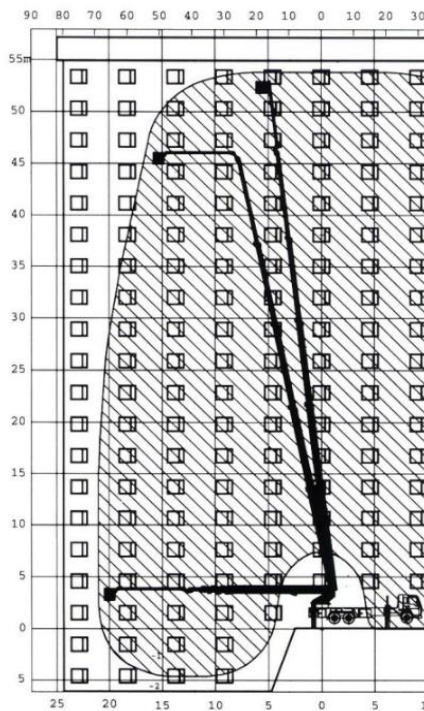


Рисунок 4 – Приклад проєкції епюр зони обслуговування пожежних автодрабин або автопідйомників на фасад висотної громадської будівлі

Джерело: розроблено авторами

Крім того, у проєкті стандарту наведено приклади окремих тактико-технічних характеристик пожежних автодрабин та автопідйомників, а також епюр зон

обслуговування фасадів висотних громадських будівель пожежно-рятувальною технікою.

Разом із тим залишаються питання, які потребують подальших досліджень та вивчення, в тому числі: із проведення натурних вогневих випробувань. Зокрема, це стосується пожежної безпеки фасадних систем, в тому числі вентильованих та скляних; можливості вбудови в несучу огорожувальну конструкцію висотної будівлі пристроїв, призначених для використання поясного карабіна з метою страхування пожежника під час проведення пожежно-рятувальних робіт та саморятування. Нормативно не врегульовано питання організації рятування людей за допомогою транспортно-рятувальної кабіни пожежного вертольота, що є надзвичайно важливим під час організації процесу рятування людей з таких висотних будівель у великих містах.

Висновки та напрями подальших досліджень. За результатами проведених досліджень та аналізу зарубіжного досвіду щодо проєктування висотних громадських будівель висотою від 100 м до 150 м включно визначено нові вимоги пожежної безпеки до об'ємно-планувальних та конструктивних рішень, а також вимоги стосовно забезпечення евакуації людей та безпеки пожежно-рятувальних підрозділів.

1. Уперше встановлено:

- ряд нових термінів та визначень понять, які надають можливість уникнути неточностей під час улаштування інженерних систем, системи протипожежного захисту, а також ухвалити об'ємно-планувальні рішення під час проєктування висотних громадських будинків;

- вимоги пожежної безпеки щодо проєктування всередині об'єму висотної будівлі транспортних тунелів як частини міської транспортної мережі рейкового транспорту з відповідною інфраструктурою та обладнанням для управління його рухом;

- необхідність монтажу сухотрубів у тамбур-шлюзах незадимлюваних сходових кліток Н4;

- об'ємно-планувальні та конструктивні вимоги до машиномісць для зарядки електромобілів;

- необхідність скасування зонування внутрішніх водостоків для відведення дощових і талих вод, каналізації та блискавкозахисту для кожного вертикального протипожежного відсіку;

- вимогу щодо відстані від висотної громадської будівлі до пожежного депо, яка має бути не більше 1,5 км, або прибуття пожежно-рятувального підрозділу не повинно перевищувати 5 хв;

- що тривалість гасіння пожежі визначається розрахунком, але повинна складати, не менше ніж 240 хв.

2. Конкретизовано вимоги щодо забезпечення функціонування внутрішнього протипожежного водопроводу, автоматичних систем пожежогасіння, елементів водопровідних систем, у тому числі резервуарів із протипожежним запасом води. Визначено оновлені вимоги щодо зовнішнього протипожежного водопроводу, місць влаштування пожежних гідрантів та місць

підключення виведених назовні патрубків сухотрубів до протипожежної техніки.

3. Переглянуто принципи забезпечення евакуації людей з висотної громадської будівлі, забезпечення належної кількості пожежобезпечних зон, визначення їх площі, розміщення та комплектування їх засобами індивідуального захисту.

4. На основі аналізу зарубіжного досвіду обґрунтовано заходи щодо запобігання вертикальному поширенню пожежі між поверхами фасадом будівлі, а також наведено приклади конструктивних елементів протипожежних карнизів на межі вертикальних протипожежних відсіків на рівні міжповерхового перекриття.

5. Унаслідок проведених наукових досліджень визначено перспективні напрями подальших науково-дослідних робіт щодо підвищення рівня пожежної безпеки до висотних громадських будівель.

6. Відповідно до завдання Програми робіт з національної стандартизації на 2021 рік розроблено проєкт національного стандарту України ДСТУ XXXX:202X «Пожежна безпека. Проєктування висотних громадських будівель з умовною висотою від 100 м до 150 м».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.2-41:2019. Висотні будівлі. Основні положення. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 53 с.
2. Skyscraper Diagram: Open Doar. URL : <https://cutt.ly/xYGIRR8> (last accessed : 04.10.2021).
3. Одинець А. В., Балло Я. В., Голікова С. Ю., Несенюк Л. П. Аналіз стану з пожежами у висотних будинках в Україні. *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека*. 2020. № 2(10). С. 91–102.
4. Investigation of design parameters facade fire-fighting eaves for prevent the spread of fires on facade structures of high-rise buildings / Ya Ballo and other. *Fire Safety*. 2020. № 37. P. 16–23.
5. Башинський О., Пелешко М., Мошкола Я. Забезпечення пожежної безпеки торгово-розважальних центрів *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності*. XIV Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів. Львів : ЛДУБЖД, 2019. С. 44–46.
6. Kutsevych V. Parking places built-into the lower ground floors of public buildings and structures. Architectural-planning and functional-technological requirements. *Українська академія мистецтва. Дослідницькі та науково-методичні праці*. № 39. 2020. С. 5–11.
7. Marija J.R., Milan Carević, Ivana Banjad Pečur. Fire protection of façades. *University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering*. Zagreb, Croatia. 2017. P. 26–35.
8. Fukuda R., Kurino H. Highly Efficient Semi-Active Oil Damper for Structural Control with Energy Recovery System. *16th World Conference on Earthquake* (Santiago, Chile). 2017. Vol. 2. № 3. P. 238–249.
9. Wang Dasui, Jiang Wenwei, Liu Mingguo. Design of Supertall Structures with Connected Towers the Structural Solution to the Development of Sky Cities. *International Journal of High-Rise Buildings, Singapore*. 2019. Vol. 8. № 3. P. 211–221.
10. Antony Wood. Rethinking Evacuation : Rethinking Cities. *CTBUH 9th World Congress Shanghai*, 2012. Issue III. P. 43–49.
11. ДБН В.2.2-9:2018. Громадські будинки та споруди. Основні положення. [Чинний від 2019-06-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 43 с.
12. ДБН В.2.2-15:2019. Житлові будинки. Основні положення. [Чинний від 2019-12-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019. 181 с.

13. ДБН В.2.2-41:2019. Висотні будівлі. Основні положення. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 53 с.
14. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. [Чинний від 2015-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2015. 127 с.
15. ДСТУ EN 12101-6:2016. Системи протидимного захисту. Ч. 6. Технічні вимоги до систем зі створення різниці тисків, наказ УкрНДНЦ від 30.03.2016 р. № 93 / ТК 25, 2016. 149 с.
16. ДБН В.2.2-20:2008. Будинки і споруди. Готелі. [Чинний від 2019-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 37 с.
17. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-06-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 35 с.
18. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування і забудова територій. [Чинний від 2019-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 224 с.
19. The Building Regulations 2020. Volume 2. Buildings other than dwellinghouses Approved Document B (Fire safety). Ministry of Housing, Communities & Local Government and Department for Levelling Up, Housing and Communities. URL : <https://www.gov.uk/government/publications/fire-safety-approved-document-b> (last accessed : 04.10.2021).
20. NFPA 5000 : Building Construction and Safety Code, 2018 Edition. URL: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=5000> (last accessed : 04.10.2021).
21. Fire safety of multi-storey building facades / Y. Martin, S. Eeckhout, L. Lassoie, E. Winnepeninckx and B. Deschoolmeester Belgium. 2017. P. 58.
22. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 152 с.
23. ДСТУ EN 15004-10:2018. Стационарні системи пожежогасіння. Системи газового пожежогасіння. Ч. 10. Вогнегасна речовина IG-541 (EN 15004-10:2017, IDT; ISO 14520-15:2015, MOD), наказ УкрНДНЦ від 10.12.2018 р. № 473. 2018. 72 с.

REFERENCES

1. DBN V.2.2-41:2019. Vysotni budivli. Osnovni polozhennia. [High-rise buildings. Basic provisions] [Chynnyi vid 2020-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv: Minrehion Ukrainy [Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine], 2019. 53 p. [in Ukrainian].
2. Kyiv Skyscraper Diagram – Open Doar [Electronic resource]: Open Doar: Web-site / Nottingham: <http://skyscraperpage.com/diagrams/?cityID=769> [in English].
3. Odynets A.V., Ballo Ya.V., Golikova S.Iu., Nesenjuk L.P (2020). Analiz stanu z pozhzhamy u vysotnykh budynkakhv Ukraini [Analysis of the state of fires in high-rise buildings in Ukraine] Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhzhna bezpeka [Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety] No 2(10) p.p. 91–102. [in Ukrainian].
4. Ya Ballo, R Yakovchuk, V Nizhnyk, O Sizikov, A Kuzyk (2020). Investigation of design parameters facade fire-fighting eaves for prevent the spread of fires on facade structures of high-rise buildings 16–23 Fire Safety, №37 [in English].
5. O. Bashynskiy, M. Peleshko, Ya. Moshkola (2019). Zabezpechennia pozhzhnoi bezpeky torhovo-rozvalhalnykh tsentriv [Ensuring fire safety of shopping and entertainment centers]. XIV Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia molodykh vchenykh, kursantiv ta studentiv «Problemy ta perspektyvy rozvytku sysemy bezpeky zhyttiedialnosti» [International scientific-practical conference of young scientists, cadets and students "Problems and prospects of development of life safety system] – Lviv: LDUBZhD. S. 44–46 [in Ukrainian].
6. V. Kutsevych (2020). Parking places built-into the lower ground floors of public buildings and structures. Architectural-planning and functional-technological requirements / Ukrainska akademiia mystetstva. Doslidnytski ta nauково-metodychni pratsi, [Ukrainian Academy of Arts. Research and scientific-methodical works] №39, p.p. 5–11 [in English].
7. Marija J.R., Milan Carević, Ivana Banjad Pečur (2017) Fire protection of façades, University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering Zagreb, Croatia p.p. 26–35 [in Croatian].
8. Fukuda R, Kurino H. (2017). Highly Efficient Semi-Active Oil Damper for Structural Control with Energy Recovery System. 16th World Conference on Earthquake, Santiago, Chile [in English].
9. Wang Dasui, Jiang Wenwei, Liu Mingguo et al. (2018) “Analysis and design of a triple high-rise tower: Nanjing Golden Eagle plaza.” 43rd Conference on Our World in Concrete & Structures, Singapore, pp. 75–86 [in English].
10. Antony Wood (2012). Rethinking Evacuation: Rethinking Cities CTBUH 9th World Congress 2012, Shanghai, pp. 444–449 [in English].
11. DBN V.2.2-9:2018. Hromadski budynky ta sporudy. Osnovni polozhennia (2019). [Public buildings and structures. Substantive provisions] [Chynnyi vid 2019-06-01]. Vyd. ofits. Kyiv: Minrehion Ukrainy [Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine]. 43 p. [in Ukrainian].
12. DBN V.2.2-15:2019. Zhytlovi budynky. Osnovni polozhennia (2019). [Residential buildings. Substantive provisions] [Chynnyi vid 2019-12-01]. Vyd. ofits. Kyiv: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy [Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine]. 181 s. [in Ukrainian].
13. DBN V.2.2-41:2019. Vysotni budivli. Osnovni polozhennia (2019). [High-rise buildings. Basic provisions] [Chynnyi vid 2020-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv: Minrehion Ukrainy [Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine], 53 s. [in Ukrainian].
14. DBN V.2.5-56:2014. Systemy protypozhezhnoho zakhystu (2015). [Fire protection system] [Chynnyi vid 2015-07-01]. Vyd. ofits. Kyiv: Minrehion Ukrainy [Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine]. 127 s. [in Ukrainian].
15. DSTU EN 12101-6:2016. Systemy protydymnoho zakhystu (2016). Chastyna 6. Tekhnichni vymohy do system zi stvorennia riznytsi tyskv [Smoke protection systems. Part 6. Technical requirements for pressure difference systems] Nakaz UkrNDNTs vid 30.03.2016 № 93 / ТК 25. 149 s. [in Ukrainian].
16. DBN V.2.2-20:2008. Budynky i sporudy. Hoteli (2019). [Houses and buildings. Hotels] [Chynnyi vid 2019-10-01]. Vyd. ofits. Kyiv: Minrehion Ukrainy [Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine]. 37 p. [in Ukrainian].
17. DBN V.1.1-7:2016. Pozhezhna bezpeka ob'ektiv budivnytstva. Zahalni vymohy (2017). [Fire safety of construction sites. General requirement][Chynnyi vid 2017-06-01]. Vyd. ofits. Kyiv: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy [Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine]. 35 p.

18. DBN B.2.2-12:2019. Planuvannia i zabudova terytorii (2019). [Planning and development of the territory]. Nakaz vid 26.04.2019 № 104 Pro zatverdzhennia DBN B.2.2-12:2019 Planuvannia i zabudova terytorii [Chynnyi vid 2019-10-01]. Vyd. ofits. Kyiv: Minrehion Ukrainy [Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine]. 224 p. [in Ukrainian].
19. The Building Regulations, Volume 2 – Buildings other than dwellinghouses Approved Document B (Fire safety) 2020, 81 p
20. NFPA 5000: Building Construction and Safety Code, 2018 Edition 424 p. [in English].
21. Fire safety of multi-storey building facades / Y. Martin, S. Eeckhout, L. Lassoie, E. Winnepenninckx and B. Deschoolmeester (BBRI) 64 p. [in English].
22. DBN V.2.5-74:2013. Vodopostachannia. Zovnishni merezhi ta sporudy. Osnovni polozhennia proektuvannia (2014). [Water supply. External networks and structures. The main provisions of the design], Nakaz vid 08.04.2013 № 133 [Chynnyi vid 2014-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv: Minrehion Ukrainy [Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine], 2014. 89 p. [in Ukrainian].
23. DSTU EN 15004-10:2018. Statsionarni systemy pozhezhohasinnia. Systemy hazovoho pozhezhohasinnia. Chastyna 10. Vohnehasna rehovyna IG-541 [Stationary fire extinguishing systems. Gas fire extinguishing systems. Part 10. Extinguishing agent] (EN 15004-10:2017, IDT; ISO 14520-15:2015, MOD), Nakaz vid 10.12.2018 № 473, 2018 57 p. [in Ukrainian].

FIRE SAFETY REQUIREMENTS FOR HIGH-RISE PUBLIC BUILDINGS WITH A CONDITIONAL HEIGHT OF 100 M TO 150 M

Ya. Ballo, S. Golikova, O. Sizikov, O. Zhikharev, O. Savchenko, L. Nesenyuk

Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine

KEYWORDS

fire safety of high-rise public buildings, space planning and design solutions, measures to limit the spread of fire on the façade, safety conditions for fire and emergency units, safe evacuation of people

ANNOTATION

Based on the results of analytical research, fire safety requirements for high-rise public buildings with a conditional height of 100 m to 150 m inclusive during their design, in particular regarding the planning of the territory and placement of high-rise buildings, requirements for spatial planning solutions, design solutions and materials, engineering systems, fire protection systems, ensuring the safe evacuation of people. The paper outlines the provision of safety conditions for fire and rescue squadrons. The results of investigations during the consideration of measures to limit the spread of fire on the facade of buildings and the corresponding constructive requirements are given. Improved requirements for ensuring the functioning of internal fire water supply, automatic fire extinguishing systems, elements of water supply systems, including tanks with fire water supply are substantiated. The updated requirements for the external fire-fighting water supply system, the places of installation of fire hydrants and the places of connection of the outlet pipes of the dry pipes to the fire-fighting equipment are determined. Based on the analysis of foreign experience and own calculations, measures to prevent the vertical spread of fire between floors on the facade of the building are substantiated and examples of structural elements of fire eaves on the border of vertical fire compartments at the level of the floor are given. Research identified promising areas for further research to increase the level of fire safety to high-rise public buildings. The requirements included in the draft national standard of Ukraine were developed taking into account international experience in the design of such buildings and the current level of scientific and technological development in the field of fire safety.

УДК 614.841.45

ОЦІНЮВАННЯ ВОГНЕЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТІВ І ОБЛИЦЮВАНЬ ДЛЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.2.43-53>

Новак С. В.^{1*}, ORCID iD 0000-0001-7087-318X

Дріжд В. Л.², ORCID iD 0000-0003-2507-7007

Добростан О. В.¹ ORCID iD 0000-0001-8908-0729

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

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

²Наукове-виробниче підприємство «Спецматеріали», Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 27.09.2021

Пройшла рецензування: 17.11.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

вогнестійкість, вогнезахисні властивості, вогнезахисне покриття, вогнезахисне облицювання, клас вогнестійкості, стандартний температурний режим, сталева конструкція

АНОТАЦІЯ

Під час розроблення нової або модернізації наявної рецептури (складу) вогнезахисних матеріалів, призначених для нанесення покриття на сталеві конструкції чи їх облицювання, застосування європейських методів згідно з EN 13381-4:2013 і EN 13381-8:2013 не є прийнятним з економічних причин. За мету ставилось обґрунтування методу оцінювання вогнезахисних властивостей покриттів і облицювань для сталевих конструкцій, що використовувався на етапі їх розроблення або модифікації рецептури (складу). Визначено його складові і процедури, які надають можливість проводити таке оцінювання за значно менших щодо європейських методів витрат на випробування. У цей спосіб здійснено оцінювання вогнезахисних властивостей покриття (на етапі його розроблення) на основі суміші «Термодон ТОП». Визначено напрями подальших досліджень, які орієнтовані на виявлення впливу форми зразків сталевих конструкцій на результати оцінювання вогнезахисних властивостей їхніх покриттів і облицювань.

Постановка проблеми. Одним із способів забезпечення збереженості під час пожежі несучої здатності сталевих конструкцій (колон, балок) є нанесення на їхню поверхню вогнезахисних матеріалів. Типи цих матеріалів встановлено у Європейських оцінювальних документах EAD 350402-00-1106 [1], EAD 350140-00-1106 [2], EAD 350142-00-1106 [3]. Відповідно до них для сталевих конструкцій застосовують пасивні і реактивні вогнезахисні матеріали, які поділено на такі три сімейства: реактивні покриття для вогнезахисту сталевих конструкцій [1]; штукатурки [2]; вогнезахисні панелі, плити та мати [3].

Оцінювання вогнезахисної здатності цих вогнезахисних матеріалів проводять за

європейськими стандартами EN 1338 - 4 [4], EN 13381-8 [5], в яких наведено методи випробування з метою визначення впливу пасивних і реактивних вогнезахисних матеріалів на вогнестійкість сталевих конструкцій, які вони захищають. Випробування виконують на етапі постановки продукції (вогнезахисного матеріалу) до серійного виробництва. Під час розроблення нової або модернізації наявної рецептури (складу) вогнезахисного матеріалу застосування таких методів не є прийнятним з економічних причин. Це пов'язано зі значною вартістю і тривалістю цих випробувань, а також з необхідністю використання для їх проведення великої кількості вогнезахисного матеріалу в конструкції зразків для випробувань. Для зазначених

цілей доцільним є проведення випробувань, які потребують значно менших витрат.

Зважаючи на широке застосування в конструкції будівель сталевих колон і балок та необхідність оцінювання експлуатаційних характеристик їхніх вогнезахисних покриттів, актуальним слід вважати дослідження, спрямовані на подальше удосконалення і розвиток технології систем вогнезахисту цих конструкцій, а також методів оцінювання вогнезахисних властивостей застосовуваних матеріалів на різних етапах їхнього життєвого циклу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Системи пасивного протипожежного захисту відіграють ключову роль в обмеженні кількості загиблих і матеріальних збитків. Їх поділяють на два типи: системи пасивного вогнезахисту та системи реактивного вогнезахисту. Із найбільш поширених способів досягнення належного рівня безпеки життя в будинках є покриття або облицювання сталевих конструкцій найчастіше використовуваними вогнезахисними матеріалами [1–3], до яких належать: вогнезахисні плити, покриття (штукатурки), нанесені напилюванням, і мати [2; 3].

Системи з плит є одними з найбільш широко застосовуваних типів вогнезахисту для сталевих конструкцій [3; 6]. Їх основою зазвичай є шаруватий вермікуліт, який являє собою гідратований силікатний матеріал, що характеризується негорючістю і низькою теплопровідністю. Їх використовують як у разі коли система вогнезахисту повністю видима, так і коли її приховано. Вони забезпечують чистий вигляд виробу у формі коробок; іншою їх перевагою є те, що вони являють собою сухі вироби і не можуть значною мірою впливати на інші види діяльності, виконувані на об'єкті. Крім того, плити є виробами заводського виробництва, їх товщина може бути гарантованою і їх можна кріпити на нефарбовані сталеві конструкції. З іншого боку, система з плит

може бути порівняно дорогою через складність її нанесення на елементи складної форми, а також довготривалий процес її нанесення. Крім того, мають місце проблеми з їх стійкістю в агресивних середовищах, і вони схильні до втрати цілісності під час довготривалої експлуатації, а їх нанесення на каркас здійснюють приховано [6].

Пасивні вогнезахисні матеріали (штукатурки на основі цементу, глин, інших мінеральних сполук; вироби на основі мінеральних волокон) також використовують для вогнезахисту сталевих конструкцій [2; 6]. Вони належать до найдешевших форм вогнезахисту з огляду на витрати під час нанесення і застосовність у разі складних форм та елементів, що є не такою широкою, як для систем із плит [6]. Головні причини полягають в тому, що вони непридатні для забезпечення естетичного зовнішнього вигляду, а також існує потреба нанесення їх у вологому вигляді: програма будівництва має враховувати час, необхідний для висихання, і це може вплинути на інші види діяльності, виконувані на об'єкті. Облицювання готового покриття фарбованими металевими коробами може вирішити естетичну проблему, а також надати можливість здійснювати миття вогнезахисних колон за необхідності [7].

Іншим рішенням щодо пасивного вогнезахисту сталевих конструкцій є нанесення систем із гнучких матів: сталеву конструкцію обгортають (облицювають) матеріалом, що має низьку теплопровідність, який зазвичай виготовляють з мінеральної вати [3; 6]. Їх було розроблено у відповідь на потребу щодо дешевого вогнезахисного матеріалу, який можна легко наносити та використовувати в сухому вигляді на вироби та конструкції складної форми.

У системах реактивного вогнезахисту більшість покриттів, що спучуються, наносять на об'єктах або поза їх межами [1; 6]. Покриття, що спучуються, подібні до фарб, які збільшуються в об'ємі під час нагрівання, утворюючи звуглений шар з

відмінними теплоізоляційними властивостями. Вони можуть бути на водній основі (такі покриття наносять переважно на об'єкті), або на основі органічного розчинника (такі препарати домінують на ринку покриттів, які наносять поза межами об'єктів) [6]. У разі нанесення на об'єкті такі покриття можуть використовуватись в декоративних цілях, хоча це може коштувати дорожче. Утворення покриттів, що мають естетичний зовнішній вигляд, можливе також у разі їх нанесення поза межами об'єкта, але це проблематичніше через складність усунення на об'єкті можливого пошкодження вогнезахисного покриву сталевій конструкції. Ці пошкодження покриття можуть призвести до значного зниження вогнестійкості сталевій конструкції. Наприклад, втрата вогнезахисту на 4 % площі призводить до зниження на 15 % вогнестійкості колони W10 × 49 з класом R 60 і зниження на 40 % вогнестійкості колони W10 × 49 з класом R 120 [8]. Покриття, що спучуються, наносять у вологому стані. Це потребує відповідних атмосферних умов під час нанесення, а також вжиття заходів щодо недопущення розпилювання рідини за межі сталевій конструкції, яку захищають. Іншим недоліком, пов'язаним із використанням цієї системи вогнезахисту, є обмежений проміжок часу забезпечення вогнестійкості сталевих конструкцій: для більшості покриттів, що спучуються, він не перевищує 60 хв [9; 10]. В той же час застосування пасивних матеріалів забезпечує вогнестійкість сталевих конструкцій протягом проміжку часу до 240 хвилин [9; 11].

У сучасній практиці виробники засобів для нанесення вогнезахисних покриттів і облицювань зазвичай надають інженерам-будівельникам таблиці для використання під час проєктування вогнезахисту для сталевих конструкцій. В них вказують необхідну мінімальну товщину покриття або облицювання для гарантування того, що температура сталевій конструкції залишиться нижчою за задану проєкту

температуру протягом заданого проміжку часу вогневого впливу, впродовж якого має зберігатися несуча здатність цієї конструкції. Для забезпечення належного вогнезахисту з наданих таблиць вибирають найбільш прийнятну товщину з огляду на такі вхідні параметри, як нормований клас вогнестійкості, коефіцієнт поперечного перерізу сталевій конструкції і критична температура сталі.

Слід зауважити, що зазначені вище таблиці складають за результатами випробувань, які отримують за європейськими методами відповідно до EN 13381-4 (для пасивного вогнезахисту) або EN 13381-8 (для реактивного вогнезахисту). Реалізація цих методів потребує значних витрат на випробування і значної кількості вогнезахисного матеріалу на створення зразків. Згідно з ними короткі ненавантажені сталеві конструкції (колони або балки довжиною 1,0 м, в кількості від 12 до 32, залежно від сфери застосування результатів), захищені системою вогнезахисту, дві навантажені і дві ненавантажені захищені балки або колони піддають випробуванню в печі в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму. Для цього використовують печі зі значними розмірами вогневої камери, зазвичай 3000 мм х 3000 мм х 1500 мм. Упродовж випробування вимірюють температуру конструкцій у ряді точок їхньої сталевій поверхні. За експериментальними даними отримують таблиці з визначеними значеннями необхідної мінімальної товщини вогнезахисного покриття або облицювання [4; 5].

Застосування цих європейських методів випробувань необхідне для впровадження серійного виробництва вогнезахисних матеріалів, проте на етапі розроблення або модифікації їх рецептури (складу) через значні витрати на випробування і створення зразків не є прийнятним. Це можна виправити за рахунок зменшення кількості та розмірів зразків для випробувань, змінення їх форми і застосування печей з меншими розмірами

вогневої камери. Недостатня визначеність складових і процедур методу, за якого оцінювання вогнезахисних властивостей покриттів та облицювань для сталевих конструкцій можна проводити зі зменшеними витратами, зумовлює необхідність проведення дослідження в цьому напрямі.

Мета дослідження. За мету ставилось обґрунтування методу оцінювання вогнезахисних властивостей покриттів і облицювань для сталевих конструкцій, прийнятного для застосування на етапі їх розроблення або модифікації їх рецептури (складу).

Для досягнення зазначеного вище було поставлено такі завдання:

– визначити складові і процедури методу оцінювання вогнезахисних властивостей покриттів і облицювань для сталевих конструкцій, застосування яких потребує значно менших щодо європейських методів витрат на випробування;

– провести за цим методом оцінювання вогнезахисних властивостей покриття для сталевих конструкцій на етапі розроблення його рецептури (складу).

Методи дослідження. Для вирішування поставлених завдань застосовано аналітичний метод, який полягає у розгляді і вивченні положень європейських стандартів EN 13381-4 [4], EN 13381-8 [5] та національних стандартів України ДСТУ Б В.1.1-4 [12], ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29 [13], ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2 [14], ДСТУ-Н Б В.2.6-211 [15], які встановлюють експериментальні та розрахункові процедури оцінювання вогнезахисних властивостей покриттів і облицювань для сталевих конструкцій, а також експериментальний метод, який полягає у визначенні даних щодо температури сталевих пластин із вогнезахисним покриттям в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму.

Виклад основного матеріалу. Визначення складових і процедур методу оцінювання вогнезахисних властивостей

покриттів і облицювань для сталевих конструкцій, прийнятного для застосування на етапі розроблення або модифікації їх рецептури (складу), проведено на основі положень європейських стандартів [4; 5] та національних стандартів України [12–15]. Цей метод має дві складові – експериментальну і розрахункову. В експериментальній частині проводять вимірювання температури зразків сталевих конструкцій, оснащених вогнезахистом, в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму [12]. Для виготовлення цих зразків використовують сталеві пластини завтовшки 5 мм квадратної форми зі стороною 500 мм, теплоізольовані з їх необігрівної поверхні [13]. Товщина вогнезахисного покриття або облицювання (далі – покриття), нанесеного на обігрівну поверхню сталевієї пластини, має бути однаковою для всіх зразків. Змінними параметрами вогнезахисного покриття на обігрівній поверхні сталевих пластин можуть бути тип наповнювача, тип в'язучого, вміст складових суміші, спосіб нанесення покриття тощо. Для кожного зразка за отриманими експериментальними даними для кожного проміжку часу t_j вимірювання визначають температуру θ_{aj} , як середнє арифметичне значення показників термопар, які розташовано на необігрівній поверхні сталевієї пластини. За даними щодо температури θ_{aj} визначають значення проміжку часу t_D до досягнення проєктної температури θ_D в діапазоні від 350 °C до 600 °C з кроком 50 °C для всіх зразків, що досліджують. Водночас значення проміжку часу t_D визначають з урахуванням відмінності початкової температури θ_0 сталевієї пластини під час експерименту від її номінальної початкової температури, яка становить 20 °C [16]. Порівнюють значення проміжку часу t_D , отримані для різних зразків, і визначають зразок, для якого ця величина найбільша. Параметри вогнезахисного покриття, нанесеного на обігрівну поверхню сталевієї пластини у цьому зразку, приймають за базові (вважають їх найкращими з тих, які досліджували). Виготовляють два додаткові

зразки, у яких застосовують покриття з базовими параметрами для нанесення на обігрівну поверхню сталеві пластини завтовшки 5 мм квадратної форми зі стороною 500 мм. Відмінність цих додаткових зразків від базового зразка полягає в тому, що значення товщини покриття в них є різними і не відповідають товщині покриття базового зразка. Здійснюють вимірювання температури цих додаткових зразків в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму і визначають значення проміжку часу t_D до досягнення проєктної температури θ_D в діапазоні від 350 °C до 600 °C з кроком 50 °C.

Проводять апроксимацію даних щодо проміжку часу t_D , отриманих для базового і додаткових зразків, застосовуючи рівняння числової лінійної регресії (1), яке встановлює залежність між проміжком часу досягнення проєктної температури і товщиною вогнезахисного покриття, і визначають значення чотирьох констант $a_0 - a_3$ цього рівняння.

$$t_D = a_0 + a_1 d_p + a_2 \theta_D + a_3 d_p \theta_D, \quad (1)$$

де d_p – товщина вогнезахисного покриття, мм;
 θ_D – проєктна температура, °C;
 a_0, a_1, a_2, a_3 – константи (коефіцієнти регресії).

За отриманими значеннями коефіцієнтів регресії і формулою (2) за необхідності визначають прогнозовану величину товщини d_p покриття або облицювання, за якої забезпечується нормований клас вогнестійкості сталеві конструкції (колон, балки).

$$d_p = \frac{t_{fi,requ} - a_0 - a_2 \theta_{cr}}{a_1 + a_3 \theta_{cr}}, \quad (2)$$

де $t_{fi,requ}$ – проміжок часу, який відповідає нормованому класу сталеві конструкції за вогнестійкістю, хв;
 θ_{cr} – критична температура сталі, значення якої визначають за [14; 15], °C.

Результати розрахунку за цією формулою є дійсними для сталевих конструкцій (колон, балок), які мають коефіцієнт поперечного перерізу A_m/V не більший ніж 200 м⁻¹ [4; 5], і для

прогнозованої товщини d_p , яка не перевищує максимального значення товщини на базовому і додаткових зразках.

У подальшому у разі ухвалення рішення за отриманими результатами оцінювання вогнезахисних властивостей покриття або облицювання для сталевих конструкцій щодо його постановки на серійне виробництво проводять випробування за європейськими стандартами EN 13381-4 [4] або EN 13381-8 [5]. Водночас отримані під час оцінювання величини коефіцієнтів регресії можуть бути застосовані для визначення значень товщини покриття або облицювання на зразках для випробування за цими стандартами.

За зазначеним методом проведено оцінювання вогнезахисних властивостей покриття, яке розроблюють на основі суміші «Термодон ТОП» (призначеного для вогнезахисту деревини), що складається з керамічних мікросфер, легких мінеральних наповнювачів і синтетичного в'язучого [17]. Склад сумішей, які застосовували для нанесення вогнезахисного покриття в експериментальних зразках, наведено в табл. 1, де змінними параметрами є тип наповнювача, тип в'язучого, вміст складових суміші тощо. Технологія нанесення сумішей на поверхню сталевих пластин була однаковою для всіх зразків (нанесення здійснювали методом наливу). Експериментальні зразки встановлювали у прорізі опорної конструкції (стіни) печі, яка має такі розміри вогневої камери: ширину 650 мм, висоту 730 мм і глибину 850 мм. Проводили вимірювання температури зразків в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму. Отримані залежності температури зразків наведено на рис. 1. Для кожного зразка визначали значення проміжку часу t_D до досягнення проєктної температури θ_D в діапазоні від 350 °C до 600 °C з кроком 50 °C (табл. 2). Із аналізу даних, наведених у таб. 2, випливає, що найбільші значення проміжку часу t_D мають місце для зразків № 1 і № 3. Водночас у діапазоні проєктної температури від 350 °C до 500 °C проміжок

часу t_D більший для зразка № 3, а в діапазоні від 500 °C до 600 °C – більший для зразка № 1. Ураховуючи те, що технологія створення покриття для зразка № 3 значно

складніша, ніж для зразка № 1, через застосування склополотна, за базовий (з найкращими параметрами з тих, які досліджували) було прийнято зразок № 1.

Таблиця 1 – Параметри експериментальних зразків

№ зразка	Склад суміші для нанесення вогнезахисного покриття	Товщина покриття d_p , мм
1	Мікросфери зольні порожнисті (вміст у суміші $\approx 45\%$), легкі мінеральні наповнювачі, розчин вінілацетатного сополімера (вміст у суміші $\approx 5\%$)	13,97
2	Мікросфери зольні порожнисті (вміст у суміші $\approx 45\%$), легкі мінеральні наповнювачі, редиспергований вінілацетатний сополімер (вміст у суміші $\approx 5\%$)	14,03
3	Мікросфери зольні порожнисті (вміст у суміші $\approx 45\%$), легкі мінеральні наповнювачі, розчин вінілацетатного сополімера (вміст у суміші $\approx 5\%$). Суміш наносили на склополотно ИПС-Т-1000 завтовшки 6 мм, яке попередньо наклеювали на поверхню сталевієї пластини	13,94
4	Наповнювач із вермикуліту (вміст у суміші $\approx 25\%$), редиспергований вінілацетатний сополімер (вміст у суміші $\approx 5\%$)	13,99
5	Наповнювач із перліту (вміст у суміші $\approx 30\%$), суміш каоліну і розчину вінілацетатного сополімера	13,57

Джерело: розроблено авторами

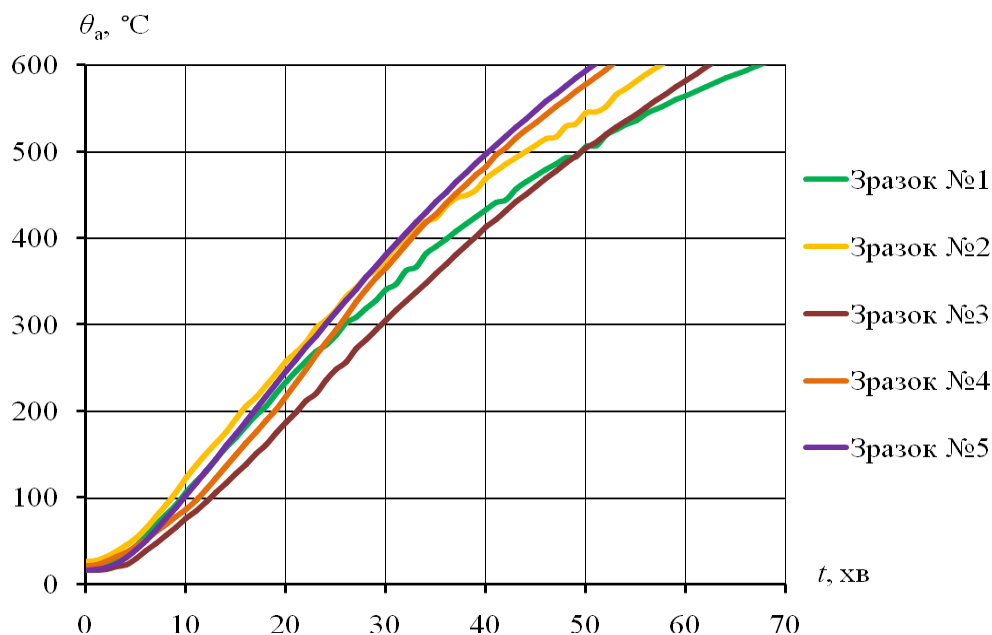


Рисунок 1 – Залежності температури зразків θ_a від тривалості вогневого впливу t за стандартного температурного режиму

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 2 – Значення проміжку часу t_D до досягнення проєктної температури θ_D для зразків №№ 1–5

Проектна температура θ_D , °C	350	400	450	500	550	600
№ зразка	Проміжок часу t_D до досягнення проєктної температури θ_D , хв					
1	31	36	43	50	58	68
2	27	31	37	43	50	57
3	35	39	44	50	56	63
4	29	32	37	41	47	52
5	28	32	36	41	46	51

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 3 – Значення проміжку часу t_D залежно від товщини покриття d_p

Проектна температура θ_D , °C	350	400	450	500	550	600
Товщина покриття d_p , мм	Проміжок часу t_D до досягнення проєктної температури θ_D , хв					
0	4	4	5	5	6	7
13,97	31	36	43	50	58	68
23,06	48	55	63	72	81	92
32,50	71	81	91	102	115	128

Джерело: розроблено авторами

Із застосуванням такої ж суміші, яка була у зразку № 1 (табл. 1), виготовляли два додаткові зразки № 1Д і № 2Д з товщиною вогнезахисного покриття, що складає 23,06 мм і 32,50 мм. Проводили вимірювання їх температури в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму. Для кожного з цих зразків визначали значення проміжку часу t_D до досягнення проєктної температури θ_D в діапазоні від 350 °C до 600 °C з кроком 50 °C. В табл. 3 наведено значення проміжку часу t_D , які отримані для цих додаткових зразків ($d_p = 23,06$ мм і $d_p = 32,50$ мм) і для базового зразка

($d_p = 13,97$ мм). У цій таблиці також надано значення проміжку часу t_D , які мають місце для зразка без вогнезахисного покриття ($d_p = 0$). Їх було визначено із застосуванням залежності температури від тривалості вогневого впливу для стандартного температурного режиму [12].

На рис. 2 наведено залежності проміжку часу t_D від товщини покриття d_p , побудовані за даними табл. 3. Ці залежності мають монотонно зростаючий характер і встановлюють значний вплив товщини покриття на проміжок часу t_D .

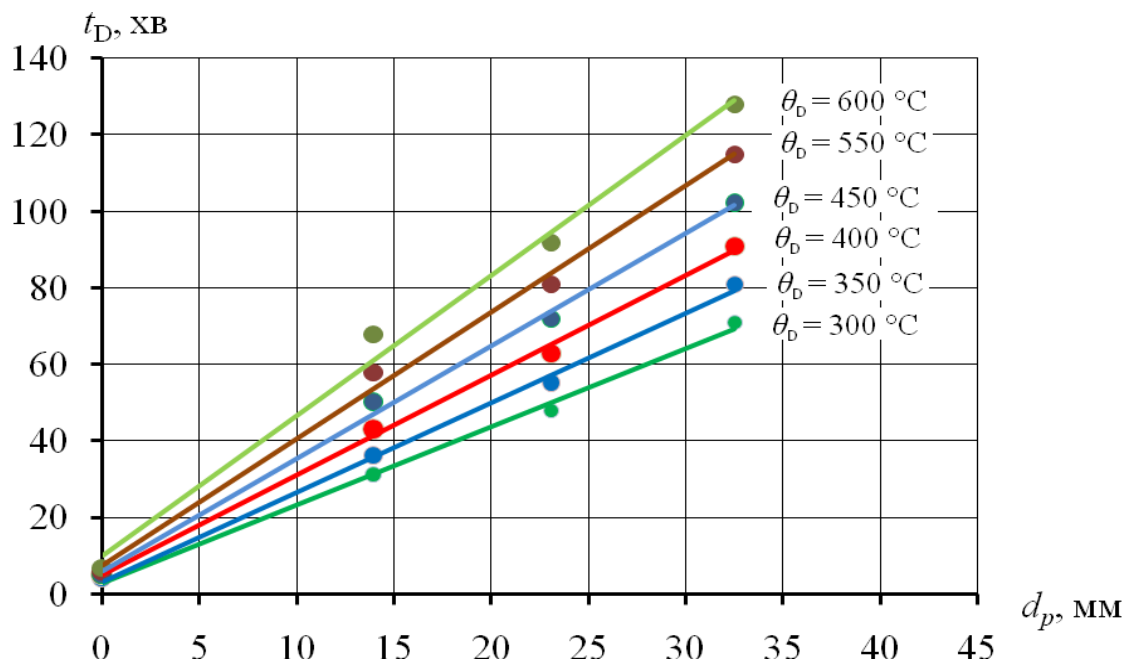


Рисунок 2 – Залежності проміжку часу t_D від товщини покриття d_p і проектної температури θ_D

Джерело: розроблено авторами

За результатами апроксимації даних щодо проміжку часу t_D , наведених в табл. 3, виконаної із застосуванням рівняння (1), визначено коефіцієнти регресії, значення яких становлять: $a_0 = -7,394$; $a_1 = -0,261$; $a_2 = 0,028$; $a_3 = 0,0065$. Розрахунки цих коефіцієнтів регресії здійснено із застосуванням стандартної програми (функції) регресивного аналізу ЛИНЕЙН «Microsoft Excel». Із застосуванням отриманих коефіцієнтів регресії за формулою (2) визначено прогнозовані значення товщини покриття d_p , за яких забезпечуються нормовані класи вогнестійкості сталевих конструкцій для критичної температури сталі 500 °C (табл. 4).

Дані щодо товщини покриття, наведені в табл. 4, є дійсними для сталевих конструкцій, які мають коефіцієнт поперечного перерізу A_m/V не більший ніж 200 м^{-1} [4; 5]. Згідно з їх аналізом значення товщини покриття значно залежить від проміжку часу, який відповідає нормованому класу сталевих конструкцій за вогнестійкістю. Зокрема, з підвищенням

цього проміжку часу від 30 хв до 90 хв товщина покриття збільшується у 3,6 раза.

Таблиця 4 – Значення товщини покриття d_p залежно від класу вогнестійкості сталевих конструкцій

Клас вогнестійкості сталевих конструкцій	Товщина покриття d_p , мм
R 15	2,83
R 30	7,86
R 45	12,90
R 60	17,94
R 90	28,01

Розроблений метод призначений для оцінювання вогнезахисних властивостей покриттів і облицювань для сталевих конструкцій на етапі їх розроблення або модифікації їх рецептури (складу). Однак варто зауважити, що результати оцінювання за цим методом є прийнятними для вогнезахисних покриттів і облицювань, які нанесені на плоскі поверхні сталевих конструкцій. Для вогнезахисних покриттів і облицювань, нанесених на неплоскі

поверхні, не можна виключати можливість отримання інших результатів. Така невизначеність накладає обмеження на використання розробленого методу, що може трактуватися як недоліки цього дослідження. Нemoжливiсть зняти вказані обмеження в рамках цього дослідження обґрунтовує напрями подальших наукових розвідок, які, зокрема, можуть бути спрямовані на виявлення впливу форми зразків сталевих конструкцій на результати оцінювання вогнезахисних властивостей їх покриттів і облицювань.

Висновки та напрями подальших досліджень. Під час дослідження розроблено метод оцінювання вогнезахисних властивостей покриттів і облицювань для сталевих конструкцій, прийнятний для застосування на етапі їх розроблення або модифікації їх рецептури

(складу). Визначено його складові і процедури, які надають можливість проводити таке оцінювання за значно менших щодо європейських методів [4; 5] витрат на випробування. У такий спосіб проведено оцінювання вогнезахисних властивостей покриття (на етапі його розроблення) на основі суміші «Термодон ТОП» [17], за результатами якого визначено найбільш ефективний склад суміші для його нанесення, залежність між проміжком часу досягнення проектної температури і товщиною цього вогнезахисного покриття та прогнозовані значення його товщини для нормованих класів вогнестійкості сталевих конструкцій.

Визначено напрями подальших досліджень, які орієнтовані на виявлення впливу форми зразків сталевих конструкцій на результати оцінювання вогнезахисних властивостей їх покриттів і облицювань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. EAD 350402-00-1106. Reactive coatings for fire protection of steel elements URL : https://www.eota.eu/download?file=/2015/15-35-0402/ead%20for%20ojeu/ead%20350402-00-1106_ojeu2017.pdf (дата звернення : 20.10.2021).
2. EAD 350140-00-1106 Renderings and rendering kits intended for fire resistant applications URL : https://www.eota.eu/download?file=/2014/14-35-0140/ead%20for%20ojeu/ead%20350140-00-1106_ojeu2017.pdf (дата звернення : 20.10.2021).
3. EAD 350142-00-1106. Fire protective board, slab and mat products and kits URL : https://www.eota.eu/download?file=/2014/14-35-0142/ead%20for%20ojeu/ead%20350142-00-1106_ojeu2017.pdf (дата звернення : 20.10.2021).
4. 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.
5. 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.
6. Buchanan A. H. Structural design for fire safety, John Wiley & Sons, 2001. Corus Construction and Industrial. Fire resistance of steel-framed buildings. North Lincolnshire.
7. Новак С. В., Дріжд В. Л., Добростан О. В. Оцінювання вогнезахисної здатності вертикальних вогнезахисних екранів для несучих будівельних конструкцій. *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека*. 2021. № 1(11). С. 44–55.
8. Tomecek D, Milke J. A Study of the Effect of Partial Loss of Protection on the Fire Resistance of Steel Columns. *Fire Technology*. Vol. 29. №. 1. February 1993. P. 3–21.
9. Калафат К. В., Вахитова Л. Н. Каталог средств огнезащиты стальных конструкций 2017 : публикация. Метінвест, 2017. 91 с.
10. Пронин Д. Г. Огнестойкость стальных несущих конструкций : публикация. Аксиом графикс юнион, 2015. 52 с.
11. Вахитова Л. Н., Калафат К. В. Основы огнезащиты стальных конструкций. *Промислове виробництво та інженерні споруди*. 2015. № 2. С. 23–27.
12. ДСТУ Б В.1.1-4-98*. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Київ : Держбуд України, 2005. 19 с.
13. ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010. Захист від пожежі. Вогнезахисне оброблення будівельних конструкцій. Загальні вимоги та методи контролювання. Київ : Мінрегіонбуд України. 2011. 9 с.
14. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010. Єврокод 3: Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1993-1-2:2005, IDT). Київ : Мінрегіонбуд України, 2012. 98 с.
15. ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016. Проектування сталевих конструкцій. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість. Київ : Мінрегіон України, 2016. 111 с.
16. Новак С. В., Добростан О. В., Долішній Ю. В., Ратушний О. В. Оцінювання збіжності результатів експериментального визначення тривалості вогневого впливу до досягнення критичної температури сталі. *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека*. 2017. № 2(4). С. 67–72.
17. ТУ У 24.3-13481691-011:2009. Суміші для вогнезахисних та теплоізолюючих покриттів марки «ТЕРМОДОН» (2004). Технічні умови. Донецький центр стандартизації, метрології та сертифікації. 18 с.

REFERENCES

1. EAD 350402-00-1106. Reactive coatings for fire protection of steel elements (2017). URL : https://www.eota.eu/download?file=/2015/15-35-0402/ead%20for%20ojeu/ead%20350402-00-1106_ojeu2017.pdf [in English].
2. EAD 350140-00-1106. Renderings and rendering kits intended for fire resistant applications (2014). URL : https://www.eota.eu/download?file=/2014/14-35-0140/ead%20for%20ojeu/ead%20350140-00-1106_ojeu2017.pdf [in English].
3. EAD 350142-00-1106. Fire protective board, slab and mat products and kits (2017). URL : https://www.eota.eu/download?file=/2014/14-35-0142/ead%20for%20ojeu/ead%20350142-00-1106_ojeu2017.pdf [in English].
4. 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].
5. 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].
6. Buchanan A.H. (2001). Structural design for fire safety, John Wiley & Sons. Corus Construction and Industrial. Fire resistance of steel-framed buildings. North Lincolnshire, 2006. [in English].
7. Novak S. V., Drizhd V. L., Dobrostan O. V. (2021). Otsiniuvannia vohnezakhysnoi zdatsnosti vertykalnykh vohnezakhysnykh ekraniv dlia nesuchykh budivelnnykh konstrukttsii. [Assessment of fire-protective ability of vertical protective members for load-bearing building structures]. Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka. 2021. № 1(11). S. 44–55. S. 44–55. [In Ukrainian].
8. Tomecek D., Milke J. (1993). A Study of the Effect of Partial Loss of Protection on the Fire Resistance of Steel Columns. *Fire Technology*. Vol. 29. №. 1. February 1993. P. 3–21. [in English].
9. Calafat K.V., Vakhitova L.N. Catalog of fire protection products for steel structures 2017: publication. Metinvest, 2017. 91 p. [in Russian].
10. Pronin D.G. (2015). Ognestojkost' stal'nykh nesushchih konstruktsij : publikaciya. [Fire resistance of steel load-bearing structures: publication]. Aksiom grafiks yunion. 52 p. [in Russian].
11. Vakhitova L.N., Calafat K.V. (2015) Osnovy ognезashchity stal'nykh konstruktsij. [Fundamentals of fire protection of steel structures]. Promislove virobnytstvo ta inzhenerni sporudi. 2015, № 2. 23–27 p. [in Russian].
12. DSTU B V.1.1-4-98*. Zakhyst vid pozhezhi. Budivelni konstrukttsii. Metody vyprobuvan na vohnestiikist. Zahalni vymohy (2005). [Fire protection. Building constructions. Test methods for firefighters. General requirement]. Kyiv: Derzhbud Ukrainy. 19 p. [In Ukrainian].
13. DSTU-N P B B.1.1-29:2010. Zakhyst vid pozhezhi. Vohnezakhysne obroblennia budivelnnykh konstrukttsii. Zahalni vymohy ta metody kontroliuvannia. (2011). [Fire protection. Fire-retardant treatment of building structures. General requirements and control methods]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine 9 p. [In Ukrainian].
14. DSTU-N B EN 1993-1-2:2010. Yevrokod 3: Proektuvannia stalevykhkonstrukttsii. Chastyna 1-2. Zahalni polozhennia. Rozrakhunok konstrukttsii na vohnestiikist (2012). [Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-2. Terms. Calculation of structures for fire resistance] (EN 1993-1-2: 2005, IDT). Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 98 p. [In Ukrainian].
15. DSTU-N B B.2.6-211:2016. Proektuvannia stalevykh konstrukttsii. Rozrakhunok konstrukttsii na vohnestiikist. [Design of steel structures. Calculation of structures for fire resistance]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 2016. 111 p. [In Ukrainian].
16. Novak S. V., Dobrostan O. V., Dolishniy Y. V., Ratushny O. V. (2017). Otsiniuvannia zbzhnosti rezultativ eksperymentalnoho vyznachennia tryvalosti vohnevoho vplyvu do dosiahnennia krytychnoi temperatury stali [Evaluation of convergence of results of experimental determination of duration of fire influence before achievement of critical temperature of steel]. № 2 (4). P. 67–72. [In Ukrainian].
17. TU U 24.3-13481691-011:2009. Sumishi dlia vohnezakhysnykh ta teploizoliuiuchykh pokryttiv marky «TERMODON» (2004). Tekhnichni umovy. [Mixtures for fire-retardant and heat-insulating coverings of the TERMODON brand. Specifications]. Donetsk Center for Standardization, Metrology and Certification. 18 p. [In Ukrainian].

EVALUATION OF FIRE PROTECTIVE PROPERTIES OF COATINGS AND FACINGS FOR STEEL STRUCTURES

S. Novak¹, V. Drizhd², O. Dobrostan¹

¹*Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine*

²*Research and Production Enterprise «Spetsmaterialy», Ukraine*

KEYWORDS

fire resistance, fire protective properties, fire protective coating, fire protective facing, fire resistance class, standard temperature regime, steel structure

ANNOTATION

When developing a new or upgrading an existing formulation (composition) of fire protective materials intended for coating or facing steel structures, the use of European methods set out in EN 13381-4: 2013 and EN 13381-8: 2013 is not acceptable for economic reasons. These reasons are related to the significant cost and duration of fire tests, as well as the need to use a large amount of fire protective material in the design of test specimens. For these purposes, it is advisable to conduct tests that require much lower costs.

The conducted research aimed to substantiate the method of evaluation of fire protective properties of coatings and facings for steel structures, acceptable for use at the stage of their development or modification of their formulation (composition). Its components and procedures are defined, which allow to carry out such assessment at much lower test costs compared to the European methods.

The suggested method has experimental and computational components. In the experimental part, the temperature of samples of steel structures equipped with fire protection with the same thickness and different formulation of the coating is measured under fire conditions at standard temperature regime. For the manufacture of these samples square steel plates 5 mm thick with a side of 500 mm, insulated from their unheated surface, were used. Based on fire test results, the basic sample with the best fire protective properties was determined.

Time interval t_b required to reach the design temperature in the range from 350 °C to 600 °C with 50 °C steps was determined for both basic and additional test samples. The obtained data are approximated with respect to the time interval t_b , using the numerical linear regression equation, which establishes the relationship between the time interval of reaching the design temperature and the thickness of the fire protective coating. According to the obtained values of regression coefficients the predicted value of coating or facing thickness, which provides a normalized class of fire resistance of the steel structure (column, beam), can be determined if necessary.

This method was used to evaluate fire protective properties of the coating based on "Thermodon TOP" formulation (at the stage of its development). According to the results of this evaluation, the most effective composition of the formulation, as well as the relationship between the time of reaching the design temperature and fire protective coating thickness was determined and the predicted values of coating thickness for normalized fire resistance classes of steel structures were calculated.

The directions of further researches were defined: they would focus on revealing the influence of a geometrical form of sample steel structures with coatings and facings on the results of fire protective properties evaluation.

УДК 614.8.084+629.73

КЛАСИФІКАЦІЯ, ФУНКЦІЇ ТА ЗАВДАННЯ БЕЗПІЛОТНОЇ АВІАЦІЇ У СФЕРІ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.2.54-68>

Мосов С. П., ORCID iD 0000-0003-0833-3187

Хижняк В. В., ORCID iD 0000-0003-0437-749X

Литовченко А. О., ORCID iD 0000-0002-6696-8255

Ядченко Д. М.* ORCID iD 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: 16.08.2021

Пройшла рецензування: 19.11.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

надзвичайна ситуація,
безпілотний літальний апарат,
безпілотний літальний комплекс,
функції, завдання, класифікація.

АНОТАЦІЯ

У статті досліджено питання класифікації безпілотних літальних апаратів, систематизації функцій і завдань безпілотної авіації у сфері цивільного захисту України. Наголошено на низці різноманітних підходів до її загальної класифікації, в яких не враховано чинні нормативно-правові документи, а також на браку відповідних досліджень. За гіпотезу взято взаємозв'язок між функціями, завданнями та класифікацією безпілотної авіації у сфері цивільного захисту України. Мета статті полягає в обґрунтуванні пропозицій щодо адаптації нормативної класифікації безпілотної авіації в Україні, викладеної в наказі Міністерства оборони України від 08 грудня 2016 року № 661, до особливостей сфери цивільного захисту України і систематизації функцій та завдань для цієї важливої галузі. На підставі результатів аналізу джерел визначено склад основних функцій безпілотних літальних апаратів у сфері цивільного захисту, до яких належать: розвідка (спостереження, моніторинг); цілевказання; відновлення та ретрансляція зв'язку; радіаційна, хімічна та біологічна розвідки; виявлення мін (вибухонебезпечних об'єктів); пошук і рятування; гасіння пожеж; транспортування вантажів. Виконано декомпозицію кожної функції на функціональні завдання, що в сукупності надало можливість систематизувати функції та завдання безпілотної авіації у зазначеній сфері й обґрунтувати підстави для переходу до класифікації безпілотних літальних апаратів. З огляду на аналіз класифікацій безпілотних літальних апаратів військового та загального призначення українських і зарубіжних авторів зроблено висновки про їх різноманітність, а також про необхідність їх класифікації, враховуючи специфіку сфери цивільного захисту. В основу покладено нормативну класифікацію безпілотних літальних апаратів безпілотних авіаційних комплексів, що наведено в наказі Міністерства оборони України. За призначенням їх запропоновано класифікувати таким чином: для розвідки та цілевказання; для підсвічування; для відновлення та ретрансляції зв'язку; для пожежогасіння; для транспортування вантажів (засобів рятування); для протидії аматорським апаратам, для комбінованого призначення. У класифікації виявився непотрібним III клас, оскільки його положення не є характерними для сфери цивільного захисту, враховуючи характер і масштаби надзвичайних ситуацій, а також функції та завдання, що виконуються рятувальниками ДСНС під час ліквідації надзвичайних ситуацій. Запропоновано розробити Концепцію створення системи безпілотної авіації у складі ДСНС.

Постановка проблеми. Однією з важливих сфер широкого застосування безпілотної авіації за світовою практикою вважається сфера цивільного захисту [1].

У статті під цим словосполученням, враховуючи нормативний зміст терміна «цивільний захист», розуміється утворене державою середовище з внутрішньою єдністю та межами, що охоплює населення, територію, навколишнє природне середовище та майно і в якому створюються всі необхідні умови для забезпечення потрібного рівня цивільного захисту в мирний час та особливий період.

Згідно зі світовим досвідом, рятувальники активно використовують безпілотні літальні апарати (далі – БпЛА) під час ліквідації надзвичайних ситуацій (далі – НС). Також ними послугуються у процесі оцінювання збитків від аварій на промислових підприємствах, від залізничних катастроф із небезпечними вантажами, терористичних актів; для визначення забруднення територій хімічними або ядерними відходами; для надання допомоги постраждалим (медикаменти, засоби харчування, речі, засоби зв'язку тощо).

Перевагою безпілотної літальної апарата є те, що його застосування надає можливість дистанційно, без ризику наразити рятувальника на небезпеку, проводити моніторинг НС на досить великих територіях, у важкодоступних районах і за значно менших фінансових витрат порівняно з пілотованою авіацією.

Згідно з наказами ДСНС [2; 3] з метою упорядкування застосування БпЛА в територіальних органах ДСНС, підприємствах, установах, організаціях сфери її управління допущені до експлуатації різноманітні квадрокоптери. Разом із тим у зазначених документах містяться посилання на накази МО України, які є керівними нормативно-правовими актами для державної авіації України.

У наказі МО України від 08 грудня 2016 року № 661, яким затверджено Правила виконання польотів безпілотними

авіаційними комплексами державної авіації України, наведено Класифікацію безпілотної літальної апаратури безпілотної авіації комплексів, яка є загальною для державної безпілотної авіації України [4].

З огляду на аналіз класифікації в основному вона притаманна військовій сфері і обмежено – сфері цивільного захисту. Це зумовлено тим, що такі терміни, як «поле бою», «бойові БпЛА», «ударні БпЛА» не є характерними для сфери цивільного захисту взагалі, що створює невизначеність під час спроб класифікації БпЛА у сфері управління ДСНС.

Нормативно-правового документа ДСНС, в якому б було наведено притаманну сфері цивільного захисту Класифікацію безпілотної літальної апаратури безпілотної авіації комплексів, на сьогодні немає. Це зумовлено початком процесу впровадження БпЛА у діяльність територіальних органів ДСНС, а також браком нормативного визначення сукупності функцій і завдань для безпілотної авіації у сфері цивільного захисту України.

За браком нормативної класифікації, визначення функцій і завдань безпілотної авіації у сфері цивільного захисту України виникає проблема, пов'язана насамперед із формуванням оперативно-тактичних і тактико-технічних вимог до БпЛА та безпілотної авіаційних комплексів (далі – БпАК), розробкою методик порівняння та відбору БпАК з метою оснащення ними ДСНС, розробкою способів застосування БпЛА у разі вирішення завдань під час НС.

З огляду на зазначене питання класифікації визначення сукупності функцій та завдань безпілотної авіації у сфері цивільного захисту України є актуальним для дослідження з урахуванням досвіду провідних країн світу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями класифікації, визначення сукупності функцій та завдань безпілотної авіації у військовій сфері займалась низка вітчизняних і зарубіжних вчених та фахівців, враховуючи значну, у

тому числі й новітню, історію щодо створення та застосування безпілотної авіації у військовій сфері [5].

Авторський колектив із Національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба [6] запропонував класифікацію військових БПЛА за низкою ознак: за призначенням, функціональним призначенням, організаційними ознаками тощо без визначення достатності таких ознак для класифікації.

У колективній праці Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки ЗС України [7] автори наводять елементи класифікації БПЛА військового призначення з визначенням відповідних завдань.

М. Догерті [8] розглянув у популярній формі низку військових і цивільних безпілотників із висвітленням завдань, що вони вирішують.

Б. Книш [9] на підставі аналізу основних видів БПЛА та ознак, за якими вони класифікуються іншими фахівцями, узагальнив інформацію і навів загальну класифікацію БПЛА,

У колективній монографії [10] за досвідом сучасних воєнних конфліктів наведено класифікацію, функції і завдання безпілотної авіації військового призначення.

О. Дідур [11], посилаючись на стандартизацію НАТО, а саме – на STANAG 4670 (АТР 3.3.7.), представив класифікацію БПЛА НАТО, згідно з якою їх розділено на три основні класи.

Відповідно до класифікації МО США [12] безпілотники розділяються на п'ять основних груп.

Українська класифікація БпАК державної авіації України, що є загальною для державної безпілотної авіації України, наведена в наказі МО України від 08 грудня 2016 р. № 661 [4].

Отже, треба наголосити, що єдиного стандарту на класифікацію БПЛА військового призначення ще не розроблено.

Щодо аналогічної класифікації та визначення функцій і завдань у сфері цивільного захисту, то спеціалізованого дослідження ще не проводилось. Існує низка праць українських та іноземних фахівців, у яких частково відображені зазначені питання.

Так, одними з перших робіт українських науковців слід вважати працю В. Акулова, О. Кулакова, М. Райза та В. Хоменка [13] і працю І. Руснака, В. Хижняка та В. Ємця [14], у яких міститься перелік завдань для БПЛА у сфері цивільного захисту України.

С. Мосов [15] за результатами аналізу світового досвіду окреслив завдання, що вирішувалися на той час рятувальниками із застосуванням БПЛА.

Класифікація БПЛА в узагальненому вигляді наведена в колективній праці [16].

Перспективні напрями застосування БПЛА коптерного типу наведені в колективній статті фахівців Львівського державного університету безпеки життєдіяльності [17].

Авторський колектив [18] на основі підходів організації UAV International запропонував класифікацію БПЛА з восьми категорій, а також окреслив можливий перелік завдань для БПЛА в умовах НС. Треба зазначити, що класифікація не прив'язана до сфери цивільного захисту, має загальний характер і не враховує класифікацію, наведену в [4].

Низка різноманітних напрямів застосування безпілотної авіації у сфері цивільного захисту знайшла своє відображення в тезах науково-практичних конференцій.

Питання напрямів застосування БпЛа під час вирішення завдань в умовах НС окреслені також у працях зарубіжних авторів [19–21].

Таблиця 1 – Функції та завдання БпЛА БпАК

№	Функції	Завдання
1.	Розвідка (спостереження)	– збір інформації в інтересах попередження, прогнозування і виявлення НС; – спостереження за станом об'єктів; – розвідка стану об'єктів та інформаційна підтримка під час ліквідації НС; – контроль за результатами ліквідації НС; – збір інформації для оцінки збитків від НС
2.	Цілевказання	– цілеспрямоване передавання з борта БпЛА даних у масштабі реального часу про об'єкти, на яких необхідно ліквідувати НС (на яких ліквідується НС)
3.	Відновлення та ретрансляція зв'язку	– відновлення функціонування лінії зв'язку; – збільшення дальності дії управління БпЛА в умовах відсутності прямого зв'язку; – ретрансляція даних з борта БпЛА в умовах відсутності прямого зв'язку; – ретрансляція інформаційних повідомлень населенню
4.	Підсвічування в темний час	– локальне підсвічування вночі місця, де відбувається НС
5.	Радіаційна, хімічна та біологічна розвідки	– моніторинг потенційно небезпечних зон; – оцінка рівня радіації – виявлення загрози; – ідентифікація отруйних речовин; – ідентифікація біологічних засобів; – попередження та визначення місця розташування загрози
6.	Виявлення мін (вибухонебезпечних об'єктів)	– виявлення й установлення місця розташування мінних полів і окремих мін з повітря; – виявлення й установлення місця розташування вибухонебезпечних об'єктів
7.	Пошук і рятування	– виявлення місця розташування осіб (тварин), які підлягають рятуванню в умовах НС, і передача інформації про них на встановлені пункти її приймання; – оперативна доставка засобів рятування до осіб, які підлягають рятуванню
8.	Гасіння пожеж	– виявлення людей у приміщеннях будівлі під час ліквідації пожеж; – застосування для гасіння локальної пожежі у важко доступних місцях; – гасіння пожеж в умовах висотних будівель; – доставка необхідних засобів (канати, пожежні рукави, захисні речі тощо) для рятування людей під час пожеж
9.	Транспортування вантажів (засобів рятування)	– доставка медичних препаратів у важкодоступні місця і під час НС для надання оперативної медичної допомоги; – доставка продуктів харчування у важкодоступні місця під час НС; – доставка рятувального обладнання
10.	Протидія аматорським БпЛА	– захоплення аматорських БпЛА; – збиття аматорських БпЛА

Згідно з проведеним аналізом виявлено, що мають місце підходи до загальної класифікації безпілотної авіації, які не враховують чинні нормативно-правові документи, а також немає досліджень, пов'язаних із систематизацією

функцій і завдань безпілотної авіації у сфері цивільного захисту України.

Мета статті. Обґрунтувати пропозиції щодо адаптації нормативної класифікації безпілотної авіації в Україні до особливостей сфери цивільного захисту і систематизувати функції та завдання для безпілотної авіації.

Методи дослідження. Використано метод теоретичних досліджень, складовими якого є такі операції: аналіз, синтез, аналогія, порівняння, узагальнення, систематизація тощо.

Виклад основного матеріалу. Класифікація (від лат. classis – розряд, клас і facio – роблю, розкладаю) – загальнонаукове і загальнометодологічне поняття, що означає таку форму систематизації знання, коли вся галузь досліджуваних об'єктів представлена у вигляді системи класів, або груп, за якими ці об'єкти розподілені на підставі їх подібності в певних властивостях. Класифікація покликана вирішувати два основних завдання: представляти в надійному і зручному для огляду і розпізнавання вигляді всю цю галузь і містити в собі максимально повну інформацію про її об'єкти [22].

Забезпечення повноти класифікації БпЛА в інтересах сфери цивільного захисту потребує введення розширеного визначення БпЛА: під безпілотним літальним апаратом слід розуміти безпілотний апарат одноразового чи багаторазового використання, оснащеного силовою установкою, який має дистанційне, напівавтономне, автономне чи комбіноване управління, здатний нести на своєму борту різні типи корисного навантаження, що дозволяє йому виконувати специфічні завдання в земній атмосфері протягом часу, необхідного для виконання завдань [5].

Крім цього, існує потреба у дослідженні і систематизуванні функцій та завдання для безпіотної авіації у сфері цивільного захисту України.

Функції та завдання безпіотної авіації у сфері цивільного захисту.

Основними функціями БпЛА у сфері цивільного захисту на підставі аналізу досвіду зарубіжних країн світу слід вважати: розвідку (спостереження); цілевказання; відновлення та ретрансляцію зв'язку; радіаційну, хімічну та біологічну розвідки; виявлення мін (вибухонебезпечних об'єктів); пошук і рятування; гасіння пожеж; транспортування вантажів (табл. 1) [19–21; 23–28].

У зв'язку з наведеною сукупністю функцій спектр завдань, що вирішуються із застосуванням БпЛА, є досить широким. Під час ведення розвідки (спостереження) БпЛА розв'язують такі із них, як (див. табл. 1): збирання інформації в інтересах попередження, прогнозування і виявлення НС; спостереження за станом об'єктів; розвідка стану об'єктів та інформаційна підтримка під час ліквідації НС; контроль за результатами ліквідації НС; збирання інформації для оцінювання збитків від НС тощо (рис. 1).

Для виконання завдань розвідки (спостереження) використовуються різноманітні технічні засоби: видова апаратура (прим. з формуванням зображення об'єктів) видимого діапазону (RGB-камери); видова апаратура інфрачервоного діапазону; радіолокаційні станції із синтезованою апертурою; багатоспектральна апаратура; газодатчики, радіаційна апаратура тощо, а також їх комбінації (рис. 2) [26; 27].

Реалізація функції цілевказання здійснюється шляхом вирішення завдань передавання з борта БпЛА даних у масштабі реального часу про об'єкти, на яких необхідно ліквідувати НС (на яких ліквідується НС).



Рисунок 1 – Повітряна розвідка (спостереження) пожежі за допомогою БПЛА

Джерело: [19; 20]



а)



б)



в)

Рисунок 2 – Апаратура розвідки (спостереження) БПЛА: а) RGB-камера; б) багатоспектральна камера; в) інфрачервона камера

Джерело: [26; 27]

Функція відновлення та ретрансляції зв'язку виконується шляхом розв'язання завдань відновлення функціонування лінії зв'язку, збільшення дальності дії управління БПЛА та ретрансляції даних з борта БПЛА в умовах відсутності прямого зв'язку з використанням спеціальної апаратури зв'язку, що встановлюється на БПЛА, ретрансляції інформаційних повідомлень населенню.

Функція локального підсвічування в темний час доби реалізується безпілотником зі встановленим на ньому прожектором, тобто використовується як джерело світла (рис. 3), щоб пошуково-рятувальна команда могла побачити стан об'єкта чи місце, де знаходиться людина [27].

З огляду на можливість радіаційного, хімічного та біологічного зараження місцевості під час НС визначається необхідність ведення радіаційної, хімічної та біологічної розвідок.



Рисунок 3 – Безпілотник з функцією підсвічування вночі

Джерело: [27]

Для виконання завдань моніторингу потенційно небезпечних зон, виявлення радіаційної, хімічної та біологічної небезпек чи загроз, ідентифікації отруйних речовин, ідентифікації біологічних засобів, попередження та визначення місця розташування небезпек і загроз на БПЛА встановлюється апаратура радіаційної, хімічної та біологічної розвідок або використовуються одноразові безпілотні апарати (рис. 4).



а)

б)

Рисунок 4 – Повітряна розвідка за допомогою БПЛА:

а) з апаратурою радіаційної розвідки;

б) з апаратурою хімічної розвідки

Джерело: [19, 20]



Рисунок 5 – Варіант безпілотної для виявлення мін

Джерело: [19; 20]



Рисунок 7 – Доставка медичних препаратів за допомогою БПЛА

Джерело: [25; 27]



Рисунок 6 – Локальне гасіння пожежі за допомогою БПЛА

Джерело: [19; 20; 27]



Рисунок 8 – АнтиБПЛА із сіткою

Джерело: [28]



Рисунок 9 – Пошук і рятування з використанням БПЛА

Джерело: [14]

Проведення протимінних робіт (рис. 5). На БПЛА покладаються такі завдання: виявлення та встановлення місця розташування мінних полів і окремих мін із повітря; виявлення та встановлення місця розташування вибухонебезпечних об'єктів.

Безпілотники активно застосовуються під час гасіння пожеж (рис. 6). За їх допомогою здійснюється виявлення людей у приміщеннях будівлі під час ліквідації пожеж; вони застосовуються для гасіння локальної пожежі у важко доступних місцях, а також для гасіння пожеж в умовах висотних будівель [19; 20; 27]. Важливою функцією БПЛА вважається транспортування вантажів у зону НС: доставка медичних препаратів у важкодоступні місця для надання оперативної медичної допомоги; доправлення продуктів харчування і необхідних речей у важкодоступні місця під час НС; доставка обладнання для рятування та засобів рятування на воді, інших необхідних засобів (канати, захисні речі тощо) для рятування людей під час пожеж (рис. 7) [25; 27]. Функція протидії аматорським БПЛА потребує обов'язкової реалізації, що зумовлена світовою статистикою шкоди з боку аматорських безпілотників під час ліквідації надзвичайних ситуацій [27]. Для протидії аматорським БПЛА можуть використовуватись, наприклад, антиБПЛА із сіткою (рис. 8), якою захоплюється приватний безпілотник [28].

Іншим способом протидії є, наприклад, збиття безпілотників шляхом використання удару звукової хвилі по гіроскопам безпілотника. Треба лише підібрати

відповідну резонансну частоту, гіроскоп увійде в резонанс і почне видавати показання, які, як підтверджують проведені зарубіжними фахівцями експерименти, призводять до аварії БПЛА [10].

Важливим варіантом у використанні БПЛА є їх залучення як для авіаційного, так і для загального процесу пошуку й рятування з метою виявлення місць катастрофи повітряного судна, розташування людей (тварин), які підлягають рятуванню в умовах НС, інформація про які передається на встановлені пункти її приймання, а також оперативної доставки засобів рятування до осіб, які підлягають рятуванню (рис. 9).

Систематизація функцій і завдань у сфері цивільного захисту дає підстави для переходу до класифікації БПЛА БпАК.

Класифікація БпЛА БпАК державної авіації України. Згідно з наказом Міністерства оборони України від 08 грудня 2016 року № 661 класифікація БпЛА БпАК здійснюється за такими ознаками: за класами; за призначенням; за типом, місцем базування, способом зльоту та посадки, типом системи керування польотом; за способом посадки; за типом системи керування польотом [4]:

1. За класами БпЛА БпАК класифікуються як:

1) I клас «Легкі» (злітною масою до 150 кг), до якого належать:

мікро (тактичні) БпЛА БпАК, що мають злітну масу менше 2 кг, радіус дії до 5 км;

міні (тактичні поля бою) БпЛА БпАК, що мають злітну масу від 2 до 15 кг, радіус дії більше 5 км;

малі (тактичні) БпЛА БпАК, що мають злітну масу більше 15 кг, радіус дії більше 25 км. БпЛА I класу запускаються з руки, за допомогою катапульти, мобільних пускових пристроїв або використовують ЗПС (ЗПМ);

2) II клас «Середні» (злітною масою від 150 до 600 кг), до якого належать тактичні (оперативно-тактичні) БпЛА БпАК з радіусом дії більше 50 км. БпЛА II класу запускаються за допомогою катапульти, мобільних пускових пристроїв або використовують ЗПС (ЗПМ);

3) III клас «Важкі» (злітною масою більше 600 кг), до якого належать:

оперативні БпЛА БпАК (medium altitude long endurance – MALE, середньої висоти, довгої тривалості), що застосовуються на висоті до 13700 м (45000 футів) і мають радіус дії більше 200 км;

стратегічні БпЛА БпАК (high altitude long endurance – HALE, великої висоти, довгої тривалості), що застосовуються на висоті до 19800 м (65000 футів) і мають радіус дії більше 200 км. БпЛА III класу потребують ЗПМ зі штучним покриттям.

2. За призначенням БпЛА БпАК класифікуються як:

1) бойові БпЛА БпАК – призначені для виконання бойових завдань, до яких належать:

розвідувальні БпЛА БпАК;

БпЛА БпАК розвідки та цілевказання;

БпЛА БпАК радіоелектронної боротьби;

ударні БпЛА;

БпЛА-перехоплювачі ПС. Бойові БпЛА БпАК можуть мати комбіноване призначення;

2) спеціальні БпЛА БпАК – призначені для виконання спеціальних завдань як ретранслятори та мішені, а також для спостереження та моніторингу об'єктів, території тощо.

3. За типом, місцем базування, способом зльоту та посадки, типом системи

керування польотом БпЛА БпАК поділяються на такі:

1) за типом літального апарата:

літаковий тип;

вертолітний тип;

мультироторний;

2) за місцем базування:

наземне базування;

річкове (морське) базування;

повітряне базування;

3) за способом зльоту:

по-літаковому (з розбігу);

по-вертолітному (з місця);

за допомогою засобів запуску (катапульта, пускова установка);

з руки;

універсальний (комбінований);

4) за способом посадки:

по-літаковому (з пробігом);

по-вертолітному (без пробігу);

за допомогою засобів посадки (парашут, гальмівний пристрій тощо);

5) за типом системи керування польотом:

автономні БпЛА БпАК, що здійснюють політ за попередньо введеною програмою і можуть мати аварійний режим приведення БпЛА в точку посадки або режим аварійного припинення польоту;

пілотовані БпЛА БпАК, до яких належать:

БпЛА БпАК із ручним пілотуванням;

БпЛА БпАК, що пілотуються автопілотом;

БпЛА БпАК, що пілотуються за допомогою точок шляху;

БпЛА БпАК із комбінованою системою керування.

Зведена класифікація БпЛА БпАК за основними ознаками наведена у табл. 2 [4]. Згідно з класифікацією «за призначенням БпЛА» безпілотники, що виконують завдання у сфері цивільного захисту, слід віднести до спеціальних БпЛА, що «призначені для виконання спеціальних завдань...»

Таблиця 2 – Зведена класифікація БпЛА БпАК за основними ознаками

Клас	Рівень застосування	Бойовий радіус	Категорія БпЛА БпАК держав - членів НАТО
I клас < 150 кг	мікро (тактичні) злітна маса < 2 кг	до 5 км (зона прямої видимості)	micro
	міні (тактичні поля бою) 2 кг ≤ злітна маса ≤ 15 кг	більше 5 км (зона прямої видимості)	mini
	малі (тактичні) злітна маса > 15 кг	більше 25 км (зона прямої видимості)	small
II клас 150-600 кг	тактичні (оперативно-тактичні)	більше 50 км (зона прямої видимості)	tactical
III клас > 600 кг	оперативні	більше 200 км (поза зоною прямої видимості)	MALE
	стратегічні	більше 200 км (поза зоною прямої видимості)	HALE

Таблиця 3 – Зарубіжна класифікація БпЛА БпАК військового призначення [5; 8; 10; 12]

Клас БпЛА	Абревіатура	Дальність, км	Тривалість польоту, год	Висота, м	Призначення	БПЛА (приклад)
МікроБпЛА	μ	<10	<1	250	Розвідка, цілевказання, ретрансляція зв'язку, пошук, РХР, РЕБ	Black Widow; Microbat; Microstar
МініБпЛА	Mini	<10	<2	250	Розвідка, цілевказання, ретрансляція зв'язку, пошук, РХР, РЕБ	Pointer; Raven
БпЛА близької дії	CR	10–30	2–4	3000	Розвідка, корегування вогню, виявлення мін, ретрансляція зв'язку, пошук, РЕБ	Luna; Dragon; Vigilant; «Пчела-ТМ», «Шмель»
БпЛА малої дальності	SR	30–70	3–6	3000	Розвідка, цілевказання, оцінка результатів ударів, виявлення мін, РХР, РЕБ	Mirach-26; Phoenix; BP-3 «Рейс»
БпЛА середньої дальності	MR	70–200	6–10	3000–5000	Розвідка, цілевказання, оцінка результатів ударів, виявлення мін, РХР, РЕБ, ретрансляція зв'язку	Pioneer; Shadow-200; CL-327; Brevel; BP-2 «Стриж»
Мало-висотні БпЛА глибинної розвідки	LADP	>250	0.5–1	50–9000	Розвідка	CL-289; Mirach-100
БпЛА великої дальності	LR	>500	10–18	5000–8000	Розвідка, цілевказання, оцінка результатів ударів, РХР, РЕБ, ретрансляція зв'язку	Hermes-450; Shadow-600
Середньовисотні БпЛА великої тривалості польоту	MALE	>500	24–48	500–8000	Розвідка, цілевказання, оцінка результатів ударів, РЕБ, ретрансляція зв'язку	Predator; Hermes-1500; Altus
Висотні БпЛА великої тривалості польоту	HALE	>1000	24–48	15000–20000	Розвідка, цілевказання, оцінка результатів ударів, РЕБ, ретрансляція зв'язку, перехоплення БР на активній ділянці	Global Hawk; Raptor; Condor
Ударні БпЛА	LETH	300	3–4	3000–4000	Протитанкові, протитранспортні, протикорабельні, протиоб'єктові дії	Predator; K-100; Taifun; Futura;

Зарубіжна класифікація БпЛА військового призначення (табл. 3)

[5; 8; 10; 12]. Сучасні БпЛА БпАК військового призначення умовно належать

до декількох класів. За призначенням БпЛА можуть бути багатоцільовими (розвідувально-ударними) і конкретного призначення (розвідувальні, цілевказання, ударні, ретрансляції зв'язку, радіоелектронної боротьби, коректування артилерійського вогню, виявлення мін, радіохімічної розвідки, мішені, несправжні цілі тощо)

Залежно від дальності дії БпЛА можна розділити на тактичні, оперативно-тактичні, оперативні та стратегічні. До класу тактичних БпЛА належать апарати, дальність дії яких не перевищує 70 км: мікроБпЛА (<10 км); мініБпЛА (<10 км); БпЛА близької дії (10–30 км) і БпЛА малої дальності (30–70 км) (табл. 3). Оперативно-тактичні БпЛА мають дальність польоту в межах 300 км. До них належать апарати середньої дальності (70–200 км), глибинної розвідки (>250 км) і ударні (до 300 км).

Дальність дії, що перевищує 500 км, мають оперативні БпЛА, до яких згідно із зарубіжною класифікацією належать апарати великої дальності дії, а також середньовисотні апарати великої тривалості польоту.

Стратегічні БпЛА мають дальність польоту, що досягає 1000 км і більше.

За способом запуску БпЛА бувають: ручного запуску; запуску з використанням систем зброї; запуску із застосуванням катапультних пускових установок (гумових, гідравлічних, пневматичних); старту з використанням твердопаливного ракетного двигуна; зльоту по-літаковому на колісному шасі; вертикального зльоту і посадки; повітряного старту; підводного старту та автоматичного зльоту.

Відповідно БпЛА класифікуються також за способом посадки: з посадкою на фюзеляж; з посадкою на лижу (лижі); з посадкою в сітку; з посадкою по-літаковому на колісній шасі (без гальм, з гальмами, з аерофінішером); зі спуском на парашуті; вертикальної посадки; автоматичної посадки; з автоматичною самолівідацією.

Маса БпЛА надає можливість їх поділяти на мікроБпЛА (<5 кг), мініБпЛА

(5–200 кг), середні (<2000 кг), великі (<5000 кг) і важкі (>5000 кг).

Залежно від тривалості польоту БпЛА можуть бути малої дальності для підтримки дій маневрених сил (дальність до 50 км; тривалість польоту до 6 год), середньої дальності для підтримки дій бригад, дивізій і морських сил (дальність до 200 км; тривалість польоту до 10 год), великої тривалості польоту для підтримки дій сил на театрі воєнних дій (дальність понад 800 км; тривалість польоту понад 24 год).

За висотою польотів БпЛА можна поділити на низьковисотні (до 300 м), маловисотні (до 3000 м), середньовисотні (до 8000 м) і висотні (понад 8000 м).

Фахівці Державного науково-дослідного інституту авіації запропонували проводити класифікацію БпЛА також і за типом двигуна:

- з електричним;
- з поршневим;
- з роторно-поршневим;
- з турбореактивним і турбогвинтовим

[23].

Кожний з наведених класів БпЛА на сьогодні представлений досить широким спектром як дослідних зразків, так і таких, які активно використовують.

Аналіз класифікацій БпЛА, що наведено у наказі МО України [4], і варіантів зарубіжної класифікації військових БпЛА, показує як їх схожість, так і відмінність.

Разом з тим, враховуючи специфіку сфери цивільного захисту, необхідна класифікація БпЛА, що притаманна саме цій сфері.

Класифікація БпЛА БпАК у сфері цивільного захисту України. За основу класифікації обрана класифікація, що наведена в [4], з урахуванням аналізу світового досвіду застосування безпілотної авіації у сфері цивільного захисту [19–21; 24–28].

Класифікація БпЛА БпАК пропонується за такими ознаками: за класами; за призначенням; за типом, місцем базування, способом зльоту та посадки, типом системи керування польотом; за

способом посадки; за типом системи керування польотом:

1. За класами БпЛА БпАК класифікуються, як:

1) I клас «Легкі» (злітною масою до 150 кг), до якого належать:

мікро (тактичні) БпЛА БпАК, що мають злітну масу менше 2 кг, радіус дії до 5 км;

міні (тактичні) БпЛА БпАК, що мають злітну масу від 2 до 15 кг, радіус дії більше 5 км;

малі (тактичні) БпЛА БпАК, що мають злітну масу більше 15 кг, радіус дії більше 25 км. БпЛА I класу запускаються з руки, за допомогою катапульти, мобільних пускових пристроїв або використовують ЗПС (ЗПМ);

2) II клас «Середні» (злітною масою від 150 до 600 кг), до якого належать тактичні (оперативно-тактичні) БпЛА БпАК з радіусом дії більше 50 км. БпЛА II класу запускаються за допомогою катапульти, мобільних пускових пристроїв або використовують ЗПС (ЗПМ).

III клас класифікації не є характерним для сфери цивільного захисту, враховуючи характер і масштаби НС, а також функції та завдання, що виконуються рятувальниками ДСНС під час ліквідації НС.

2. За призначенням БпЛА БпАК класифікуються, як:

1) БпЛА БпАК розвідки та цілевказання;

2) БпЛА БпАК підсвічування;

3) БпЛА БпАК відновлення та ретрансляції зв'язку;

4) БпЛА БпАК пожежогасіння;

5) БпЛА транспортування вантажів (засобів рятування);

6) БпЛА протидії аматорським БпЛА.

БпЛА БпАК можуть мати комбіноване призначення.

3. За типом, місцем базування, способом зльоту та посадки, типом системи керування польотом БпЛА БпАК поділяються на такі:

1) за типом літального апарата:

літаковий тип;

вертолітний тип;

мультироторний;

2) за типом двигуна:

із електричним;

із поршневим;

із роторно-поршневим;

із турбореактивним і турбогвинтовим;

3) за місцем базування:

наземне базування;

річкове (морське) базування;

повітряне базування;

4) за способом зльоту:

по-літаковому (з розбігу);

по-вертолітному (з місця);

за допомогою засобів запуску (катапульта, пускова установка);

з руки;

універсальний (комбінований);

5) за способом посадки:

по-літаковому (з пробігом);

по-вертолітному (без пробігу);

за допомогою засобів посадки (парашут, гальмівний пристрій тощо);

6) за типом системи керування польотом:

автономні БпЛА БпАК, що здійснюють політ за попередньо введеною програмою і можуть мати аварійний режим приведення БпЛА в точку посадки або режим аварійного припинення польоту;

дистанційно пілотовані БпЛА БпАК, до яких належать:

БпЛА БпАК з ручним пілотуванням;

БпЛА БпАК, що пілотуються автопілотом;

БпЛА БпАК, що пілотуються за допомогою точок шляху;

БпЛА БпАК з комбінованою системою керування.

Таким чином, запропонована адаптація нормативної класифікації БпЛА БпАК до сфери цивільного захисту України має зміни за ознакою «призначення», а також III клас класифікації виявився зовсім не потрібним, тому що зазначене в ній не є характерним для сфери цивільного захисту, враховуючи характер і масштаби НС, а також функції та завдання, що виконуються рятувальниками ДСНС під час ліквідації НС.

Висновки та напрями подальшого дослідження. Запропоновано підхід до класифікації та систематизації функцій і завдань безпілотної авіації, що надає можливість ґрунтовно осмислити місце та роль БпЛА в сучасних умовах прогнозування, виявлення й ліквідації НС в Україні.

Напрямами подальших досліджень слід вважати такі: розроблення нормативної методики формування тактико-технічних і оперативно-тактичних вимог до безпілотної авіаційних комплексів у сфері управління ДСНС; розроблення Концепції створення системи безпілотної авіації у складі ДСНС, на чому вже наголошувалось у [29].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мосов С. П. Ера безпілотної авіації в сфері цивільного захисту. *Пожежна та техногенна безпека*. 2020. № 11(86). С. 14–16.
2. Про допуск до експлуатації безпілотної літальних апаратів : наказ ДСНС від 20.11.2018 р. № 675. URL : <https://ips.ligazakon.net/document/FN047759> (дата звернення : 01.06.2020).
3. Про внесення змін до наказу ДСНС від 20.11.2018 р. № 675 : наказ ДСНС від 08.02.2019 р. № 92. URL : <https://www.dsns.gov.ua/ua/Nakazi/89229.html> (дата звернення : 01.06.2020).
4. Про затвердження Правил виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України від 08.12.2016 № 661: наказ МО України. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0031-17#Text> (дата звернення : 01.06.2020).
5. Мосов С. Беспилотная разведывательная авиация стран мира : история создания, опыт боевого применения, современное состояние, перспективы развития : монография. Киев : РУМБ. 2008. 160 с.
6. Тимочко О. І., Голубничий Д. Ю., Третяк В. Ф., Рубан І. В. Класифікація безпілотної літальних апаратів. *Системи озброєння і військова техніка*. 2007. Вип. 1(9). С. 61–66.
7. Беспилотные авиационные комплексы : Методика сравнительной оценки боевых возможностей / М. М. Митрахович и др. Киев : ЦНИИ ВВТ ВС Украины, 2012. 288 с.
8. Dougherty M. Drones: An Illustrated Guide to the Unmanned Aircraft That are Filling Our Skies. Amber Books Limited, 2015. P. 224.
9. Книш Б. П. Класифікація відомих видів безпілотної літальних апаратів. URL : <https://www.sworld.com.ua/konferger1/4.pdf> (дата звернення : 01.03.2021).
10. Безпілотна авіація у військовій справі: кол. монографія / С. П. Мосов і др. ; за ред. проф. С. П. Мосова. Київ : Інтерсервіс, 2019. 324 с.
11. Дідур О. Стандарти НАТО в галузі безпілотної авіації. URL : <https://armyinform.com.ua/2020/03/standarty-nato-v-galuzi-bezpilotnoyi-aviacziyi/> (дата звернення : 01.01.2020).
12. Classification of the Unmanned Aerial Systems. URL : <https://www.e-education.psu.edu/geog892/node/5> (last accessed : 03.11.2020).
13. Акулов В. М., Кулаков О. В., Райз Ю. М., Хоменко В. С. Обґрунтування можливості застосування безпілотної літаків для моніторингу території України під час весняних повеней. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2010. Вип. № 11. С. 3–7.
14. Руснак І. С., Хижняк В. В., Ємець В. І. Безпілотна авіація у сфері цивільного захисту України. Стан та перспективи розробки і застосування. *Наука і оборона*. 2014. № 2. С. 34–39.
15. Мосов С. П. Дрони на службі рятувальників. *Пожежна та техногенна безпека*. 2016. № 8. С. 16–17.
16. Книш Б. П., Кулик Я. А., Барабан М. В. Класифікація безпілотної літальних апаратів та їх використання для доставки товарів. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2018. № 3(261). С. 246–252.
17. Малець І. О., Сичевський М. І., Лопух О. Р. Удосконалення підготовки фахівців цивільного захисту шляхом опанування перспективних напрямів застосування квадрокоптерів (мультикоптерів). *Інформаційно-комунікаційні технології в сучасній освіті. Досвід, проблеми, перспективи*. 2015. Т. 2. № 4. С. 52–57.
18. Азаров І. С., Сидоренко В. Л., Задунай О. С. Перспективи використання безпілотної літальних апаратів під час проведення ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. *Вчені записки ТНУ ім. В. І. Вернадського. Серія : технічні науки*. 2018. Т. 29(68). Ч. 1. С. 11–16.
19. 5 Ways Drones are Being Used for Disaster Relief. URL : <https://safetymanagement.eku.edu/blog/5-ways-drones-are-being-used-for-disaster-relief/> (Last accessed : 03.02.2021).
20. Oliver F. Six ways drones are helping in emergency response. URL : <https://www.soarizon.io/news/six-ways-drones-are-helping-in-emergency-response> (Last accessed : 03.02.2021).
21. The Future of Emergency Response : 4 Ways Drones Can Help Save Lives. URL : <https://www.skygrid.com/blogs/emergency-response-how-drones-can-help-save-lives/> (last accessed : 03.02.2021).
22. Классификация / Советский энциклопедический словарь. М. : Сов. энцикл., 1984. 1600 с.
23. Харченко О. В., Кулешин В. В., Коцуренко Ю. В. Класифікація та тенденції створення безпілотної літальних апаратів військового призначення. *Наука і оборона*. 2005. № 1. С. 47–54.
24. Мосов С. П., Єременко С. А. Дрон розвідує мінну обстановку. *Пожежна та техногенна безпека*. 2020. № 9. С. 18–20.
25. Мосов С. Медичні дрони – інновація медицини катастроф. *Пожежна та техногенна безпека*. 2021. № 4. С. 30–32.
26. Мосов С. Безпілотники попереджують про надзвичайні ситуації. *Пожежна та техногенна безпека*. 2021. № 5. С. 12–14.
27. Мосов С. Безпілотники – життєво важливий роботизований інструмент сучасності. *Пожежна та техногенна безпека*. 2021. № 6. С. 14–15.

28. Дрон будет ловить опасные беспилотники сеткой. URL : <https://telegraf.com.ua/tehnologii/2206909-dron-budet-lovit-opasnyie-bespilotniki-setkoj.html> (дата звернення : 10.03.2021).
29. Мосов С. Створення системи безпілотної авіації у складі ДСНС – актуальне питання сьогодення. *Позжежна та техногенна безпека*. 2020. № 10. С. 16–19.

REFERENCES

1. Mosov S. P. (2020). Era bezpilotnoi aviatsii v sferi tsyvilnoho zakhystu: publication [The era of unmanned aviation in the civil defense]. *Pozhezhna ta tekhnohenna bezpeka*, 11(86), 14-16 [in Ukrainian].
2. Order of the State Emergency Service On admission to operation of unmanned aerial vehicles. from November 20, 2018 № 675 <https://ips.ligazakon.net/document/FN047759> [in Ukrainian].
3. Order of the State Emergency Service On amendments to the order of the State Emergency Service of November 20, 2018 № 675. from February 8, 2019 №92 <https://www.dsns.gov.ua/ua/Nakazi/89229.html> [in Ukrainian].
4. Order of the Ministry of Defense of Ukraine About approval of Rules of performance of flights by unmanned aviation complexes of the state aviation of Ukraine. Form December 8, 2016 №661. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0031-17#Text> [in Ukrainian].
5. Mosov S. P. (2008). *Bespilotnaia razvedyvatelnaia avyatsiya stran myra: ystoryia sozdaniya, opyt boevoho prymereniya, sovremennoe sostoianye, perspektivy razvitiya* [Unmanned reconnaissance aircraft of the countries of the world: history of creation, experience of combat use, current state, prospects for development]. Kyiv: Yzd. dom «RUMB» [in Russian].
6. Tymochko O. I., Holubnychyi D. Yu., Tretiak V. F., Ruban I. V. (2007). Klasyfikatsiia bezpilotnykh litalnykh apparativ [Classification of unmanned aerial vehicles]. *Sistemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*, 1(9), 61–66 [in Ukrainian].
7. M. M. Mytrakhovych, V. B. Semenov, V. Y. Sylkov, A. V. Samkov, S. A. Stankevych (2012). *Bespilotnye avyatsionnye komplekсы: Metodyka sravnytelnoi otsenky boevykh vozmozhnostei* [Unmanned aerial systems: Methodology for comparative assessment of combat capabilities]. Kyiv: TsNYY VVT VS Ukrainy [in Ukrainian].
8. Dougherty M. (2015). *Drones: An Illustrated Guide to the Unmanned Aircraft That are Filling Our Skies*. Amber Books Limited [in English].
9. Knysh B. P. Klasyfikatsiia vidomykh vydiv bezpilotnykh litalnykh apparativ [Classification of known types of unmanned aerial vehicles]. Retrieved from: <https://www.sworld.com.ua/konferger1/4.pdf> [in Ukrainian].
10. Bezpilotna aviatsiia u viiskovii spravi: kol. monohrafiia (2019) / S. P. Mosov, M. V. Pohoretskyi, S. M. Salii, O. V. Sieliukov, A. L. Feshchenko; za red. prof. S.P. Mosova. Kyiv: Interservis. P. 324 [in Ukrainian].
11. Didur O. Standarty NATO v haluzi bezpilotnoi aviatsii [NATO unmanned aerial standards]. Retrieved from: <https://armyinform.com.ua/2020/03/standarty-nato-v-galuzi-bezpilotnoyi-aviacziyi/> [in Ukrainian].
12. Classification of the Unmanned Aerial Systems. Retrieved from: <https://www.e-education.psu.edu/geog892/node/5> [in Ukrainian].
13. Akulov V.M., Kulakov O.V., Raiz Yu.M., Khomenko V.S. (2010). Obgruntuvannia mozhlivosti zastosuvannia bezpilotnykh litakiv dlia monitorynhu terytorii Ukrainy pid chas vesnianykh povnei [Substantiation of the possibility of using drones to monitor the territory of Ukraine during spring floods]. *Problemy nadzvychainykh sytuatsii*, 11, 3-7 [in Ukrainian].
14. Rusnak I. S., Khyzhniak V. V., Yemets V. I. (2014). Bezpilotna aviatsiia u sferi tsyvilnoho zakhystu Ukrainy. Stan ta perspektivy rozrobky i zastosuvannia [Unmanned aircraft in the civil defense of Ukraine. Status and prospects of development and application.]. *Nauka i oborona*, 2, 34–39 [in Ukrainian].
15. Mosov S. P. (2016). Drony na sluzhbi riatsuvalnykiv [Drones on the rescue duty]. *Pozhezhna ta tekhnohenna bezpeka*, 8, 16-17 [in Ukrainian].
16. Knysh B. P., Kulyk Ya. A., Baraban M. V. (2018). Klasyfikatsiia bezpilotnykh litalnykh apparativ ta yikh vykorystannia dlia dostavky tovariv [Classification of unmanned aerial vehicles and their use for delivery of goods]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, 3 (261), 246-252 [in Ukrainian].
17. Malets I. O., Sychevskyi M. I., Lopukh O. R. (2015). Udoskonalennia pidhotovky fakhivtsiv tsyvilnoho zakhystu shliakhom opanuvannia perspektynykh napriamiv zastosuvannia kvadropteriv (multykopteriv) [Improving the training of civil defense specialists by mastering promising areas of application of quadcopters (multicopters)]. *Zb. nauk. prats «Informatsiino-komunikatsiini tekhnolohii v suchasni osviti. Dosvid, problemy, perspektivy»*, 4, 52-57 [in Ukrainian].
18. Azarov I. S., Sydorenko V. L., Zadunai O. S. (2018). Perspektivy vykorystannia bezpilotnykh litalnykh apparativ pid chas provedennia likvidatsii naslidkiv nadzvychainykh sytuatsii [Prospects for the use of unmanned aerial vehicles during emergency response]. *Vcheni zapysky TNU im. V.I. Vernadskoho. Seriya: tekhnichni nauky*. 29(68) Ch.1, 11-16 [in Ukrainian].
19. 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/> [in English].
20. Oliver F. Six ways drones are helping in emergency response. Retrieved from: <https://www.soarizon.io/news/six-ways-drones-are-helping-in-emergency-response/> [in English].
21. The Future of Emergency Response: 4 Ways Drones Can Help Save Lives. Retrieved from: <https://www.skygrid.com/blogs/emergency-response-how-drones-can-help-save-lives/> [in English].
22. Klasyfikatsiia / Sovetskyi entsyklopedycheskyi slovar [Classification / Soviet Encyclopedic Dictionary] (1984). Moskva: Yzd-vo «Sov. entsykl.» [in Russian].
23. Kharchenko O. V., Kulieshyn V. V., Kotsurenko Yu. V. (2005). Klasyfikatsiia ta tendentsii stvorennia bezpilotnykh litalnykh apparativ viiskovoho pryznachennia [Classification and trends in the creation of unmanned aerial vehicles for military purposes]. *Nauka i oborona*, 1, 47–54 [in Ukrainian].
24. Mosov S. P., Yermenko S. A. (2020). Dron rozviduie minnu obstanovku [the drone is reconnaissance of a mine situation]. *Pozhezhna ta tekhnohenna bezpeka*, 9, 18–20 [in Ukrainian].
25. Mosov S. (2021). Medychni drony – innovatsiia medytsyny katastrof [Drones is innovation in an emergency medicine]. *Pozhezhna ta tekhnohenna bezpeka*, 4, 30–32 [in Ukrainian].

26. Mosov S. (2021). Bezpilotnyky poperedzhuut pro nadzvychni situatsii [Drones warn of emergencies]. *Pozhezhna ta tekhnohenna bezpeka*, 5, 12–14 [in Ukrainian].
27. Mosov S. (2021). Bezpilotnyky – zhyttievo vazhlyvyi robotyzovanyi instrument suchasnosti [Drones are a vital robotic tool of today]. *Pozhezhna ta tekhnohenna bezpeka*, 6, 14–15 [in Ukrainian].
28. Dron budet lovyt opasnye bespylotnyky setkoi [The drone will catch dangerous drones with a net]. Retrieved from: <https://telegraf.com.ua/tehnologii/2206909-dron-budet-lovit-opasnye-bespylotniki-setkoy.html> [in Russian].
29. Mosov S. (2020). Stvorennia systemy bezpilotnoi aviatsii u skladi DSNS – aktualne pytannia sohodennia [The creation of an unmanned aerial vehicle system within the SES is a topical issue today]. *Pozhezhna ta tekhnohenna bezpeka*, 10, 16-19 [in Ukrainian].

CLASSIFICATION, FUNCTIONS AND TASKS OF UNMANNED AVIATION IN THE FIELD OF CIVIL PROTECTION OF UKRAINE

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

Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine

KEYWORDS

emergency situation, unmanned aerial vehicle, unmanned aircraft system, functions, tasks, classification

ANNOTATION

The article examines the classification of unmanned aerial vehicles, systematization of functions and tasks of unmanned aviation in the field of civil protection of Ukraine. Emphasis is placed on the fact that there IS a number of different approaches to the general classification of unmanned aerial vehicles that do not take into account existing regulatory and legal documents, as well as on the lack of relevant research. The relationship between functions and tasks and classification of unmanned aviation in civil protection of Ukraine is taken as a hypothesis. The aim of the article is to substantiate proposals for adapting the regulatory classification of unmanned aviation in Ukraine, set out in the order of the Ministry of Defence of Ukraine No. 661 of 08 December 2016, to the specifics of the civil protection sphere of Ukraine and to systematize the functions and tasks for unmanned aviation. Based on the analysis of literature sources, the composition of the main functions of unmanned aerial vehicles in civil protection, which include: reconnaissance (surveillance, monitoring); targeting; communication restoration and retransmission; radiation, chemical and biological reconnaissance; mine detection (explosive objects); search and rescue; firefighting; cargo transportation. A decomposition of each function into functional tasks was carried out, which together made it possible to systematize the functions and tasks of unmanned aerial vehicles in civil protection, and to substantiate the provisions for the transition to the classification of unmanned aerial vehicles. The analysis of classifications of military and general-purpose drones made by Ukrainian and foreign authors enabled the conclusion about their diversity, and, considering the specificity of civil protection sphere, the necessity of a classification for drones, which would be peculiar to this sphere. The normative classification of unmanned aerial vehicles, given in the order of the Ministry of Defence of Ukraine, is chosen as a basis for classification. It was proposed to classify drones according to their purpose as follows: reconnaissance and target designation; illumination; communication restoration and retransmission; firefighting; cargo transportation (rescue vehicles) to counteract amateur drones, and combined use. Class III was found unnecessary in the classification because the provisions of this class are not characteristic of civil protection, given the nature and scale of emergencies and the functions and tasks performed by rescuers of the State Emergency Service during the elimination of emergencies. It is offered to work out the Concept of Unmanned Aerial Vehicle System as a part of State Emergency Service.

УДК 614.841.45

ОЦІНЮВАННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РЕАКТИВНИХ ВОГНЕЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.2.69-81>

Новак С. В.^{1*}, ORCID iD 0000-0001-7087-318X

Новак М. С.², ORCID iD 0000-0002-5888-5812

Дріжд В. Л.³, ORCID iD 0000-0003-2507-7007

*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

³Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 11.10.2021

Пройшла рецензування: 05.11.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

вогнестійкість, коефіцієнт теплопровідності, покриття, що спучується, реактивне вогнезахисне покриття, стандартний температурний режим, сталева конструкція, теплофізичні властивості

АНОТАЦІЯ

Математичні моделі для теплофізичних властивостей реактивного вогнезахисного покриття, що спучується, які застосовано в процедурі щодо визначення цих властивостей, наведений в EN 13381-8 і ДСТУ Б В.1.1-17, не враховують повною мірою особливості процесу теплопровідності в такому покритті в умовах вогневого впливу. Це може призводити до значних похибок у встановленні його товщини, необхідної для забезпечення нормованих класів вогнестійкості сталевих конструкцій (колон і балок). У дослідженні ставилось за мету вдосконалити процедуру (що існує) з'ясування теплофізичних властивостей такого вогнезахисного покриття шляхом застосування уточненої моделі для них. За його результатами розроблено модифіковану процедуру визначення теплофізичних властивостей реактивних покриттів, що спучуються, які призначено для вогнезахисту сталевих конструкцій, в якій вихідними даними є температури в печі і сталі для ненавантажених коротких конструкцій, отримані під час випробування за EN 13381-8 або ДСТУ Б В.1.1-17 в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму. Обґрунтовано застосування в цій процедурі уточненої моделі, в якій враховано залежність коефіцієнта теплопровідності такого вогнезахисного покриття від температури, його початкової товщини і коефіцієнта поперечного перерізу сталевих конструкцій. З'ясовано алгоритм розрахунку теплофізичних властивостей покриття за модифікованою процедурою. Визначено напрями подальших досліджень, які орієнтовані на оцінювання достовірності результатів, отримуваних за розробленою модифікованою процедурою.

Постановка проблеми. З метою підвищення вогнестійкості сталевих конструкцій до нормованих значень на їхню поверхню наносять спеціальні вогнезахисні покриття, які можуть бути виконані із застосуванням пасивних або реактивних вогнезахисних матеріалів [1–3]. Для забезпечення нормованої вогнестійкості товщина цього покриття має бути не

меншою за певну величину, за якої температура або деформація сталевих конструкцій досягає критичного значення.

Для визначення значень необхідної мінімальної товщини вогнезахисного покриття для сталевих конструкцій використовують методи, які мають розрахункові процедури із застосуванням нестационарного рівняння

теплопровідності [4–6]. Сутність цих процедур полягає у встановленні коефіцієнта теплопровідності вогнезахисного покриття за отриманими експериментальними даними щодо температурного стану зразків захищених сталевих колон і балок в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму [7]. Водночас процедури, які застосовують для визначення коефіцієнта теплопровідності реактивного і пасивного вогнезахисних покриттів, є однаковими. В той же час механізм теплопровідності для реактивного покриття значно відрізняється від того, який має місце для пасивного покриття. І особливості процесу теплопровідності у разі використання реактивного покриття повною мірою не враховані у процедурі визначення його теплофізичних властивостей [5; 6], що може призводити до значних похибок у визначенні його необхідної мінімальної товщини. Отже, актуальним є розроблення і запровадження модифікованої процедури визначення теплофізичних властивостей реактивного вогнезахисного покриття, що надало б можливість підвищити точність розрахунків його необхідної мінімальної товщини, які виконують за EN 13381-8 [5] і ДСТУ Б В.1.1-17 [6].

Аналіз попередніх досліджень та публікацій. Пасивні вогнезахисні матеріали не змінюють свого фізичного стану під час нагрівання. Вони забезпечують вогнезахист конструкцій завдяки своїм теплофізичним властивостям [4; 6]. До них можуть належати матеріали, що містять воду, яка під час нагрівання випаровується, забезпечуючи поглинання теплоти. Вони можуть мати форму покриттів, що наносяться методом розпилювання, штукатурки, матів, панелей і плит [2; 3]. Теплофізичні властивості таких матеріалів залежать головним чином від температури і їх можна описати простими емпіричними залежностями.

На відміну від пасивних, склад реактивних вогнезахисних матеріалів спеціально підбирають з таким розрахунком, щоб забезпечити перебіг

хімічної реакції під час нагрівання, з тим щоб змінився їх фізичний стан, у такий спосіб забезпечуючи вогнезахист конструкцій за рахунок теплоізолювального та ендотермічного ефектів [5; 6]. Вони можуть являти собою матеріал, що забезпечує утворення теплоізоляційного покриття (бути таким, що спучується), абляційний матеріал або комбінацію таких виробів [1]. Матеріали, що спучуються, збільшуються в об'ємі завдяки спінюванню в умовах теплового впливу під час пожежі. Абляційні матеріали можуть незначною мірою розширюватись завдяки утворенню звугленої речовини під час нагрівання. Для вогнезахисту сталевих конструкцій набули широкого розповсюдження реактивні вогнезахисні матеріали, що спучуються [8].

Якщо процес теплопередачі в покритті у разі використання пасивних вогнезахисних матеріалів відбувається кондуктивним шляхом, і його інтенсивність визначається тільки величинами теплофізичних властивостей матеріалу, залежних від температури, то для реактивних покриттів він є значно складнішим. Це зумовлено наявністю хімічних і фізичних явищ у реактивному покритті в умовах теплового впливу під час пожежі, що спричиняють його спучування [9].

Ще у 1980-х роках Г. Каміно та співавтори [10; 11] працювали над детальним з'ясуванням механізму спучування та опублікували ряд статей із загальним оглядом аспектів, пов'язаних із хімічними явищами та основними компонентами покриття, що спучується. Пізніше М. Брас [12; 13] та С. Бутбігот [14] провели подальші дослідження щодо хімічних і фізичних явищ, які зумовлюють спучування. Основну увагу під час проведених ними досліджень було зосереджено на тому, як покриття, що спучуються, поведуть себе за наявності різних хімічних компонентів, і як ці компоненти впливають на різні аспекти поведінки, що характеризує спучування,

зважаючи також на добавки у складі композицій.

Для вивчення процесу спучування та особливостей процесу теплопровідності в системах, що спучуються, було розроблено низку числових і математичних моделей різної складності. Інноваційну модель розробили Д. Каліостро зі співавторами [15]. У цій моделі враховано фундаментальну кінетику хімічних реакцій, а також профілі масо- і теплообміну з метою оцінювання температури сталевій підкладки. Модель забезпечує визначення теплоізоляційної ефективності врахуванням фактичної теплопровідності, оцінюваної як співвідношення теплопровідності і коефіцієнта спучування вогнезахисного покриття. С. Андерсон зі співавторами [16] розробили процедуру оцінювання фактичної теплопровідності звугленого шару, що утворився в результаті спучування. Він, зокрема, наголосив на впливі збільшення об'єму матеріалу на характеристики теплового реагування покриття, що спучується. Крім того, К. Ді Блазі зі співавторами [17] вивчали одномірну перехідну математичну модель для складної системи, що складалася зі сталевій підкладки та покриття, що спучується, на яку діяло теплове випромінювання. Застосовуючи спрощене рівняння теплопровідності для підкладки, він пропонує загальну модель для покриття, що складається з трьох компонентів, які розкладаються внаслідок перебігу незалежних одна від одної реакцій, що відбуваються з кінцевою швидкістю. В цій моделі розглядається спрощений механізм динаміки спучування матеріалу. Було розроблено також деякі інші моделі, але більшість з них ґрунтувалась на спрощеній одномірній теплопровідності крізь шар покриття, що спучується, та на напівемпіричних формулах. К. Батлер зі співавторами [18; 19], навпаки, розробили низку моделей дуже складного рівня, у тому числі для одномірної і тривимірної теплопровідності з метою ґрунтового врахування процесу спучування.

У джерелах можна знайти багато описів результатів досліджень на основі цих моделей. Було запропоновано різні підходи та методології для аналізування властивостей покриттів, що спучуються, у разі впливу різних умов під час пожежі. М. Хіменес зі співавторами [20] вивчав властивості покриття, що спучується, в температурному режимі вуглеводневої пожежі [7]. Пожежі, під час яких відбувається горіння як авіаційного пального, так і горіння вуглеводнів, потужніші за звичайні з тієї причини, що під час їх перебігу досягаються дуже високі температури за доволі високої швидкості їх зростання. Г. Лі зі співавторами [21] запропонували спрощений підхід до оцінювання еквівалентного термічного опору покриттів, що спучуються, в умовах впливу пожежі, під час якої відбувається горіння матеріалів на основі целюлози, відповідно до стандартного температурного режиму [7]. М. Бартоломей зі співавторами [22] досліджували вплив зовнішнього теплового потоку і товщини покриття на теплоізоляційні властивості покриттів, що спучуються. Матеріал, що спучується, поміщений в конічний калориметр із нагрівачем, що забезпечував також визначення втрати маси, піддавали впливу потоків теплового випромінювання різної щільності, створюючи нагрівання, близьке до стандартного температурного режиму.

Х. Дай зі співавторами [23] провели низку експериментів на сталевих елементах, захищених покриттями, що спучуються, які піддавали впливу стандартного температурного режиму. Ефективність вогнезахисту оцінювали за фактичним коефіцієнтом теплопровідності, визначеним за перетвореною формулою для розрахунку температури захищених сталевих конструкцій, наведеною в Єврокод [24].

Л. Ван зі співавторами [25] провели низку випробувань в печі на сталевих пластинах з покриттями, що спучуються, які піддавали впливу нестандартних температурних режимів. Фактичні значення коефіцієнта теплопровідності оцінювали з

огляду на виміряні температури сталі та в печі, також користуючись перетвореною формулою з Єврокоду [24]. Дж. Андерсен у [26] визначив чотири стадії змінювання термічного опору покриттів, що спучуються, підданих впливу нестандартних температурних режимів, і також встановив, яким чином тривалість стадій та відповідні значення термічного опору залежать від швидкості нагрівання й типу сталевих профілю.

П. Шауманн зі співавторами [27] аналізували теплофізичні властивості покриття, що спучується, нанесеного з використанням препарату на основі органічного розчинника, в умовах «реальних» пожеж. Розглядали покриття, що спучується, призначене для вогнезахисту сталевих конструкцій в умовах пожеж, перебіг яких відбувається за стандартного температурного режиму. У першій частині дослідження теплофізичні властивості покриття оцінювали для різних значень швидкості нагрівання проведенням термогравіметричного аналізу. Показано, що втрата маси покриття чітко залежить від швидкості нагрівання на стадії реакції, результатом якої є спучування. Під час другої частини експерименту ефективність теплоізоляції, забезпечуваної покриттям, досліджували, проводячи дрібномасштабні експерименти в печі.

Д. Сільва зі співавторами [28–31] показали, що багато характеристик реактивного покриття, таких як його ступінь спучування та еквівалентний коефіцієнт теплопровідності, залежать від коефіцієнта поперечного перерізу та його початкової товщини. Ці два параметри залежать також від способу нагрівання (наприклад, у печі чи в конічному калориметрі). Разом із тим такі параметри, як температура активації покриття або температура, за якої досягається мінімальне значення його коефіцієнта теплопровідності, є характеристичними і не залежать від умов вогневого впливу. Визначено залежність, котра описує теплопровідність покриття, що спучується, з огляду на серію експериментальних

даних, яку можна застосовувати для різних умов вогневого впливу.

У сучасній практиці проектування сталевих конструкцій застосовують таблиці, в яких вказують необхідну мінімальну товщину вогнезахисного покриття, потрібну для гарантування того, що температура сталевих конструкцій залишиться нижчою за задану проектну температуру протягом заданого проміжку часу, упродовж якого має зберігатися несуча здатність цієї конструкції [8]. Наведені в цих таблицях дані щодо необхідної мінімальної товщини покриття, встановлені для різних значень проектної температури сталі, коефіцієнта поперечного перерізу і класу вогнестійкості сталевих конструкцій, характеризують його вогнезахисну здатність. Для забезпечення належного вогнезахисту з цих таблиць вибирають найбільш прийнятну товщину покриття з огляду на критичну температуру сталі, коефіцієнт поперечного перерізу, тип профілю (переріз відкритого або закритого типу), а також тип сталевих конструкцій (головним чином балки або колони). Дані щодо необхідної мінімальної товщини реактивних вогнезахисних покриттів, котрі наводять в цих таблицях, визначають за результатами випробувань, методи яких наведено в EN 13381-8 [5] і ДСТУ Б В.1.1-17 [6]. Ці методи мають розрахункову складову, яка містить процедуру визначення теплофізичних властивостей реактивного вогнезахисного покриття. В європейському стандарті EN 13381-8 у цій процедурі застосовують два альтернативних підходи, в яких коефіцієнт теплопровідності покриття задають залежним від температури або незалежним від неї. В національному стандарті ДСТУ Б В.1.1-17, крім цих двох підходів, застосовують ще й альтернативний для визначення теплофізичних властивостей реактивного вогнезахисного покриття, який ґрунтується на розв'язанні оберненої задачі теплопровідності. Згідно з результатами досліджень, наведеними в [32], відхилення розрахункового значення необхідної

мінімальної товщини реактивного вогнезахисного покриття (в тому числі й покриття, що спучується), визначеного за цими стандартами, від її дійсної (точної) величини може досягати декількох десятків відсотків. Однією з причин такого значного відхилення є застосування спрощеної процедури визначення теплофізичних властивостей покриття, яка не повною мірою враховує особливості поведінки покриттів, що спучуються, в умовах вогневого впливу. Використання уточнених моделей для теплофізичних властивостей покриття, що спучується, напевно надасть можливість підвищити точність визначення його необхідної мінімальної товщини. Однак на підтвердження цієї гіпотези не наведені відповідні розрахунки. Отже, є підстави вважати, що недостатня визначеність впливу складових математичної моделі для теплофізичних властивостей реактивного вогнезахисного покриття, що спучується, на результати визначення цих властивостей і вогнезахисної здатності такого покриття зумовлює проведення дослідження у цьому напрямі.

Мета дослідження. Метою цього дослідження було вдосконалення процедури визначення теплофізичних властивостей реактивного вогнезахисного покриття, що спучується, наведеної в EN 13381-8 і ДСТУ Б В.1.1-17, шляхом застосування для їх опису уточненої математичної моделі.

Для досягнення зазначеного розв'язували завдання щодо обґрунтування застосовної уточненої математичної моделі для теплофізичних властивостей покриття, що спучується, і розроблення алгоритму розрахунку цих властивостей в модифікованій процедурі.

Методи дослідження. Для вирішування поставлених завдань застосовано аналітичний метод, який

полягає у розгляді і вивченні положень європейського та національного стандартів EN 13381-8 і ДСТУ Б В.1.1-17, які регламентують процедури визначення теплофізичних властивостей реактивного вогнезахисного покриття, а також даних щодо особливостей і опису процесу теплопровідності в системах, що спучуються, наведених у джерелах інформації.

Виклад основного матеріалу.

Процедура визначення теплофізичних властивостей реактивного покриття, що спучується, є однією зі складових методів оцінювання вогнезахисної здатності таких покриттів, призначених для захисту сталевих конструкцій, які наведено в EN 13381-8 і ДСТУ Б В.1.1-17. Початковими показниками для неї є дані щодо температури в печі та сталі, отримані під час випробування ненавантажених коротких конструкцій (колон або балок) в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму.

Для визначення теплофізичних властивостей покриття відповідно до EN 13381-8 застосовують базову формулу теплопровідності (1).

У разі використання підходу, в якому передбачено змінне значення λ_p , середні значення змінного коефіцієнта теплопровідності покриття для значень температури покриття в діапазоні від 0 °C до 1000 °C з інтервалом в 50 °C, визначені для мінімальної та максимальної товщини покриття відповідно, вважають такими, що відображають теплофізичні властивості реактивного вогнезахисного покриття. Якщо використовують підхід, що передбачає стале (незалежне від температури) значення λ_p , то результатом визначення теплофізичних властивостей реактивного вогнезахисного покриття будуть величини коефіцієнтів регресії c_0 , c_1 і c_2 в рівнянні (3).

$$\Delta\theta_{a,t} = \left[\frac{\lambda_{p,t}/d_p}{c_a\rho_a} \times \frac{A_m}{V} \times \left(\frac{1}{1+\phi/3} \right) \times (\theta_t - \theta_{a,t})\Delta t \right] - [(e^{\phi/10} - 1)\Delta\theta_t], \quad (1)$$

де

$$\phi = \frac{c_p\rho_p}{c_a\rho_a} \times d_p \times \frac{A_m}{V}, \quad (2)$$

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

$\Delta\theta_t$ – підвищення температури в печі за проміжок часу Δt , °C;

d_p – товщина вогнезахисного покриття, м;

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

θ_t – температура в печі, °C;

$\theta_{a,t}$ – температура сталі, °C;

Δt – проміжок часу, с;

$\lambda_{p,t}$ – коефіцієнт теплопровідності вогнезахисного покриття в момент часу t за товщини d_p , Вт/(м·°C);

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

c_p – питома теплоємність вогнезахисного покриття, Дж/(кг·°C);

ρ_a – густина сталі, кг/м³;

ρ_p – густина вогнезахисного покриття, кг/м³

$$\lambda_p = c_0 + c_1 \times A_m/V + c_2 \times d_p \quad (3)$$

В альтернативному підході, який наведено в ДСТУ Б В.1.1-17, на основі уточненого рівняння теплопровідності шляхом розв'язання оберненої задачі теплопровідності визначають теплофізичні властивості реактивного вогнезахисного покриття у формі залежностей коефіцієнта теплопровідності λ_p і питомої об'ємної теплоємності $c_p\rho_p$ від температури. У ньому не враховано залежність теплофізичних властивостей покриття, що спучується, від його товщини і коефіцієнта поперечного перерізу сталеві конструкції.

У модифікованій процедурі запропоновано застосування уточненої моделі для теплофізичних властивостей реактивного покриття, що спучується, яка ґрунтується на результатах досліджень, наведених у роботах [28–31]. У цій процедурі застосовано кусково-лінійну залежність коефіцієнта теплопровідності покриття від температури (наведено на рис. 1). У діапазоні температури від кімнатної (20 °C) до температури активації $\theta_{activation}$, яка становить 120 °C і за якої в покритті розпочинається хімічна реакція, покриття залишається інертним і його товщина

залишається такою, що дорівнює його початковому значенню. За температури 20 °C значення коефіцієнта теплопровідності покриття $\lambda_{p,20}$ беруть таким самим, як у сталі, оскільки активації покриття не відбувається. З цієї причини у діапазоні від 20 °C до 120 °C відбувається лінійне змінювання теплопровідності покриття від значення, яке відповідає теплопровідності сталі $\lambda_{a,20}$, до значення, що має місце за температури 120 °C. У разі досягнення температури активації розпочинається ендотермічна реакція з утворенням газоподібних речовин, що спричиняє спучування, коли товщина покриття збільшується з утворенням звугленої структури, яка зумовлює термічний опір проникненню теплоти. Процес поглинання теплоти покриттям для перебігу хімічної реакції, що спричиняє спучування, припиняється за температури $\theta_{\lambda,min}$, яка становить 240 °C. Ця температура відповідає мінімальному значенню коефіцієнта теплопровідності покриття. Подальше підвищення температури призводить до збільшення коефіцієнта теплопровідності покриття через властивості звугленої структури, яку було утворено в результаті процесу спучування.

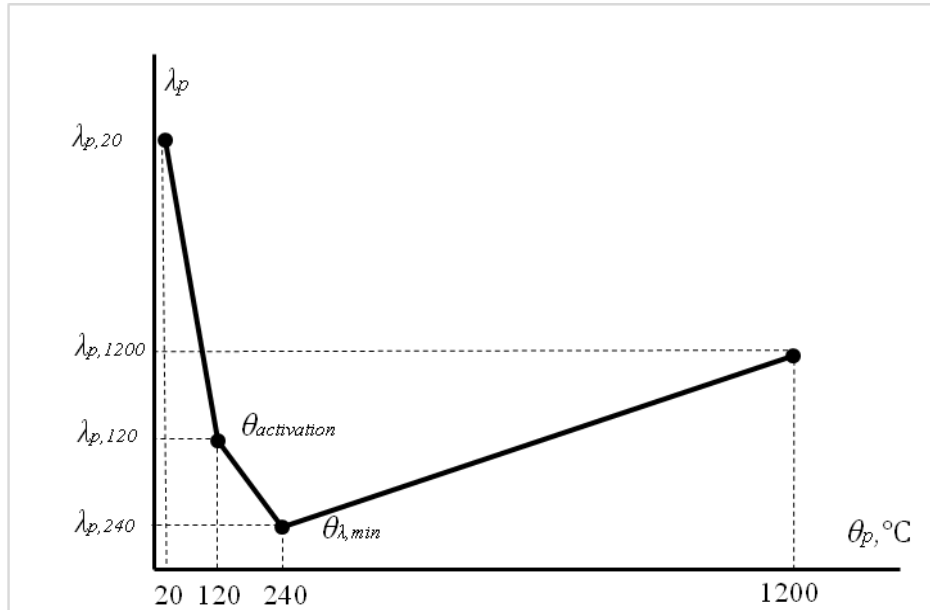


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта теплопровідності вогнезахисного покриття, що спучується, від температури

Графік, наведений на рис. 1, відображає температурну залежність коефіцієнта теплопровідності, яка прийнятна для індивідуальних значень початкової товщини покриття d_p і коефіцієнта поперечного перерізу сталеві конструкції A_m/V . Залежність коефіцієнта теплопровідності від товщини d_p і коефіцієнта A_m/V в загальному вигляді визначається за таким рівнянням регресії [30]:

$$\lambda_p \left(d_p, \frac{A_m}{V} \right) = a_0 + a_1 d_p + a_2 \frac{V}{A_m}, \quad (4)$$

де: a_0, a_1, a_2 – коефіцієнти регресії.

З урахуванням (4) та кусково-лінійної залежності, наведеної на рис. 1, для визначення значень коефіцієнта теплопровідності вогнезахисного покриття в модифікованій процедурі застосовано рівняння (5–10).

$$\lambda_{p,120} = a_{0,120} + a_{1,120} d_p + a_{2,120} \frac{V}{A_m}, \quad (5)$$

$$\lambda_{p,240} = a_{0,240} + a_{1,240} d_p + a_{2,240} \frac{V}{A_m}, \quad (6)$$

$$\lambda_{p,1200} = a_{0,1200} + a_{1,1200} d_p + a_{2,1200} \frac{V}{A_m}, \quad (7)$$

$$\lambda_{p,20-120} = \lambda_{p,20} + b_{20-120} (\theta_p - 20), \quad (8)$$

$$\lambda_{p,120-240} = \lambda_{p,120} + b_{120-240} (\theta_p - 120), \quad (9)$$

$$\lambda_{p,240-1200} = \lambda_{p,240} + b_{240-1200} (\theta_p - 240), \quad (10)$$

де, $\lambda_{p,20}, \lambda_{p,120}, \lambda_{p,240}, \lambda_{p,1200}$ – коефіцієнт теплопровідності вогнезахисного покриття за температури 20 °C, 120 °C, 240 °C, 1200 °C, відповідно, Вт/(м·°C);

$\lambda_{p,20-120}, \lambda_{p,120-240}, \lambda_{p,240-1200}$ – коефіцієнт теплопровідності вогнезахисного покриття в діапазоні температури (20–120) °C, (120–240) °C, (240–1200) °C відповідно Вт/(м·°C);

$a_{0,120}, a_{1,120}, a_{2,120}$ – коефіцієнти регресії за температури 120 °C;

$a_{0,240}, a_{1,240}, a_{2,240}$ – коефіцієнти регресії за температури 240 °C;

$a_{0,1200}, a_{1,1200}, a_{2,1200}$ – коефіцієнти регресії за температури 1200 °C.

$b_{20-120}, b_{120-240}, b_{240-1200}$ – коефіцієнти температурної лінійної залежності λ_p в діапазонах (20–120) °C, (120–240) °C, (240–1200) °C, які розраховують за такими формулами (11–13).

$$b_{20-120} = \frac{\lambda_{p,120} - \lambda_{p,20}}{100}; \quad (11)$$

$$b_{120-240} = \frac{\lambda_{p,240} - \lambda_{p,120}}{120}; \quad (12)$$

$$b_{240-1200} = \frac{\lambda_{p,1200} - \lambda_{p,240}}{960}. \quad (13)$$

Процес теплообміну в сталевій конструкції з вогнезахисним покриттям в модифікованій процедурі описується математичною моделлю теплопровідності, яка складається з такої системи рівнянь (14–21).

$$c_a \rho_a \frac{\partial \theta_a}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_a \frac{\partial \theta_a}{\partial x} \right) \quad (14)$$

$$0 < x < x_1; \quad \theta_a = \theta_a(x, t);$$

$$c_p \rho_p \frac{\partial \theta_p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_p \frac{\partial \theta_p}{\partial x} \right); \quad (15)$$

$$x_1 < x < x_2; \quad \theta_p = \theta_p(x, t);$$

– початкова умова:

$$\theta_a(x, 0) = \theta_p(x, 0) = \theta_0 \quad (16)$$

гранична умова на обігрівній поверхні вогнезахисного покриття, якщо $x = x_2$:

$$\lambda_p \frac{\partial \theta_p}{\partial x} = \alpha^* (\theta_t - \theta_{p,s}) \quad (17)$$

$$\alpha^* = \alpha_c + \Phi \varepsilon_{p,s} \varepsilon_f \sigma [(\theta_t + 273)^4 - (\theta_{p,s} + 273)^4] / (\theta_t - \theta_{p,s}) \quad (18)$$

– гранична умова на внутрішній поверхні вогнезахисного покриття, якщо $x = x_1$:

$$\lambda_p \frac{\partial \theta_p}{\partial x} = \lambda_a \frac{\partial \theta_a}{\partial x} \quad (19)$$

$$\theta_a = \theta_p \quad (20)$$

– гранична умова в точці теплової симетрії сталеві конструкції, якщо $x = 0$:

$$\frac{\partial \theta_a}{\partial x} = 0 \quad (21)$$

де x – координата, м;

x_1 – координата внутрішньої поверхні вогнезахисного покриття, м;

x_2 – координата обігрівної поверхні вогнезахисного покриття, м;

t – тривалість вогневого впливу, с;

α_c – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією на обігрівній поверхні вогнезахисного покриття, який становить 25 Вт/(м²·°C) [33];

α^* – сумарний коефіцієнт тепловіддачі конвекцією та тепловою радіацією на обігрівній поверхні вогнезахисного покриття, Вт/(м²·°C);

Φ – кутовий коефіцієнт, який становить 1,0 [33];

$\varepsilon_{p,s}$ – коефіцієнт теплового випромінювання обігрівної поверхні вогнезахисного покриття, який становить 0,8 [33];

ε_f – коефіцієнт теплового випромінювання газового середовища в печі, який становить 1,0 [33];

σ – стала Стефана Больцмана, 5,67·10⁻⁸ Вт/(м²·°C⁴);

$\theta_{p,s}$ – температура обігрівної поверхні вогнезахисного покриття, °C;

θ_0 – початкова температура, яка становить 20 °C;

λ_p – коефіцієнт теплопровідності вогнезахисного покриття, Вт/(м·°C);

λ_a – коефіцієнт теплопровідності сталі, Вт/(м·°C)

Завдання щодо визначення теплофізичних властивостей вогнезахисного покриття в модифікованій процедурі сформульовано в постановці оберненої задачі теплопровідності таким чином.

За експериментальними даними щодо температури в печі θ_t і сталі $\theta_{a,1}, \theta_{a,2}, \dots, \theta_{a,m}$, отриманими під час випробування зразків ненавантажених коротких конструкцій (колон або балок) в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму, із застосуванням математичної моделі (5) – (21), визначити такі значення коефіцієнтів регресії ($a_{0,120}, a_{1,120}, a_{2,120}, a_{0,240}, a_{1,240}, a_{2,240}, a_{0,1200}, a_{1,1200}, a_{2,1200}$) і питомої об'ємної теплоємності

вогнезахисного покриття $c_p \rho_p$, за яких різниця F (формула (22) між розрахунковими $\theta_a^{j,i}(x_l, t)$ і експериментальними $\theta_a^{j,i}$ величинами температури сталі є мінімальною та задовольняються критерії прийнятності, наведені в 13.5 EN 13381-8 [5].

$$F = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [\theta_a^{j,i}(x_l, t) - \theta_a^{j,i}]^2}{\sum_{j=1}^m n_j}}, \quad (22)$$

де j – номер зразка для випробування, $j = 1, 2, \dots, m$; m – загальна кількість зразків;

n_j – кількість експериментальних значень температури $\theta_a^{j,i}$, які використовують у формулі (18), для зразка з номером j ($j = 1, 2, \dots, m$).

Сутність розв'язання оберненої задачі теплопровідності полягає в такому. Задають початкові значення коефіцієнтів регресії ($a_{0,120}$, $a_{1,120}$, $a_{2,120}$, $a_{0,240}$, $a_{1,240}$, $a_{2,240}$, $a_{0,1200}$, $a_{1,1200}$, $a_{2,1200}$) і питомої об'ємної теплоємності вогнезахисного покриття $c_p\rho_p$. Для одного зі зразків, яких піддавали випробуванню, за формулами 5–7 розраховують коефіцієнти теплопровідності $\lambda_{p,120}$, $\lambda_{p,240}$, $\lambda_{p,1200}$. За формулами 11–13 визначають коефіцієнти температурної лінійної залежності λ_p : b_{20-120} , $b_{120-240}$, $b_{240-1200}$. З огляду на це значення $\lambda_{p,20}$ беруть з Єврокоду [24]. Розв'язанням математичної моделі (8)–(10), (14)–(21) методом кінцевих різниць [34] визначають розрахункову температуру сталі $\theta_a^{j,i}(x_l, t)$. Такі ж розрахунки виконують для інших зразків, яких піддавали випробуванню. За формулою (22) визначають значення F . Змінюють початкове значення одного із коефіцієнтів регресії і розраховують нову величину F . Такі розрахунки виконують для всіх коефіцієнтів регресії і теплоємності $c_p\rho_p$. Для пошуку комбінації значень коефіцієнтів регресії і теплоємності $c_p\rho_p$, за якої величина F є мінімальною, застосовують підхід, заснований на ітераційному методі Ньютона-Гауса – пошуку мінімуму функції, і методі регуляризації О. Тихонова [34].

За отриманими шляхом розв'язання оберненої задачі теплофізичними властивостями вогнезахисного покриття для кожного зразка встановлюють розрахункові дані щодо температури сталі $\theta_a(x_l, t)$. За цими даними визначають розрахункові проміжки часу t_{recal} до досягнення проєктної температури сталі в діапазоні її змінювання від 350 °C до 700 °C з кроком 50 °C. Ці розрахункові проміжки часу порівнюють з відповідними експериментальними проміжками часу t_{exp} , отриманими для кожного зразка, за такими трьома критеріями прийнятності, наведеними в 13.5 EN 13381-8 [5]:

- для кожного зразка жодне значення t_{recal} не має перевищувати відповідного значення t_{exp} більше ніж на 15 %;
- для кожного зразка середнє значення усіх відсоткових відмінностей t_{recal} від t_{exp} має бути меншим за нуль;
- більшим за нуль мають бути не більше ніж 30 % окремих значень усіх відсоткових відмінностей t_{recal} від t_{exp} .

Якщо всі три критерії виконуються, то вважають, що отримані шляхом розв'язання оберненої задачі значення коефіцієнтів регресії і питомої об'ємної теплоємності є такими, що відображають теплофізичні властивості вогнезахисного покриття.

Якщо це не так, то необхідно повторювати розрахунки проміжків часу t_{recal} , використовуючи кориговане значення $a_{0,240}$, доки не буде досягнуто узгодження з наведеними вище критеріями прийнятності.

Результатом визначення теплофізичних властивостей вогнезахисного покриття за модифікованою процедурою є комбінація коефіцієнтів регресії $a_{0,120}$, $a_{1,120}$, $a_{2,120}$, $a_{0,240}$ (за необхідності коригованого), $a_{1,240}$, $a_{2,240}$, $a_{0,1200}$, $a_{1,1200}$, $a_{2,1200}$ і сталого значення питомої об'ємної теплоємності покриття $c_p\rho_p$.

Розроблена модифікована процедура призначена для визначення теплофізичних властивостей реактивних покриттів, що спучуються, які застосовують для вогнезахисту сталевих конструкцій. Ці теплофізичні властивості застосовні для створення таблиць, в яких вказують необхідну мінімальну товщину покриття, що спучується, потрібну для забезпечення нормованих класів вогнестійкості сталевих конструкцій [5]. Також зазначені властивості можуть бути використані у разі оцінювання вогнестійкості захищених сталевих конструкцій під час розгляду сценаріїв реальної пожежі [24; 33].

Однак варто зауважити, що зазначена модифікована процедура не є валідованою. Через це не можна виключати можливість отримання за нею результатів, які значно

відрізняються від дійсних даних щодо теплофізичних властивостей реактивних вогнезахисних покриттів, що спучуються. Така невизначеність накладає обмеження на використання розробленої процедури, що може трактуватись як недолік цього дослідження. Немоżliвість зняти вказані обмеження в рамках цього дослідження обґрунтовує напрями подальших наукових розвідок, які, зокрема, можуть бути спрямовані на оцінювання достовірності результатів, отримуваних за цією процедурою. Під час подальшої роботи доцільно застосувати процедуру валідації методів розрахунку характеристики вогнезахисної здатності покриттів для сталевих конструкцій, яку засновано на проведенні обчислювального експерименту [35; 36], та математичну модель теплопровідності, в якій буде враховано кінетику термічної деструкції вогнезахисного покриття і динаміку змінювання його товщини в умовах вогневого впливу [18].

Висновки та напрями подальших досліджень. Під час дослідження

розроблено модифіковану процедуру визначення теплофізичних властивостей реактивних покриттів, що спучуються, які призначено для вогнезахисту сталевих конструкцій. За вихідні дані взято температури в печі і сталі для ненавантажених коротких конструкцій, що отримані під час випробування за EN 13381-8 або ДСТУ Б В.1.1-17 в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму.

Обґрунтовано застосування в цій процедурі уточненої моделі для теплофізичних властивостей реактивного вогнезахисного покриття, що спучується, відповідно враховано залежність коефіцієнта теплопровідності такого покриття від температури, його початкової товщини і коефіцієнта поперечного перерізу сталевих конструкцій та з'ясовано алгоритм їх розрахунку.

Визначено напрями подальших досліджень, які орієнтовані на оцінювання достовірності результатів, отримуваних за розробленою модифікованою процедурою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. EAD 350402-00-1106. Reactive coatings for fire protection of steel elements. URL : https://www.eota.eu/download?file=/2015/15-35-0402/ead%20for%20ojeu/ead%20350402-00-1106_ojeu2017.pdf (дата звернення : 20.10.2021).
2. EAD 350140-00-1106. Renderings and rendering kits intended for fire resistant applications URL : https://www.eota.eu/download?file=/2014/14-35-0140/ead%20for%20ojeu/ead%20350140-00-1106_ojeu2017.pdf (дата звернення : 20.10.2021).
3. EAD 350142-00-1106. Fire protective board, slab and mat products and kits. URL : https://www.eota.eu/download?file=/2014/14-35-0142/ead%20for%20ojeu/ead%20350142-00-1106_ojeu2017.pdf (дата звернення : 20.10.2021).
4. 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.
5. 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.
6. ДСТУ Б В.1.1-17:2007. Захист від пожежі. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності (ENV 13381-4:2002, NEQ). [Чинний від 2008-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2007. 66 с.
7. ДСТУ Б В.1.1-4-98*. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. [Чинний від 2006-01-01]. Київ : Держбуд України, 2005. 19 с.
8. Калафат К. В., Вахитова Л. Н. Каталог средств огнезащиты стальных конструкций 2017 : публикация. Метінвест, 2017. 91 с.
9. Pettersson O., Magnusson S., Thor J. Fire engineering design of steel structures. Swedish Institute of Steel Construction (SBI). Stockholm, 1976. 232 p.
10. Camino G., Costa L., Trossarelli L. Study of the mechanism of intumescence in fire retardant polymers : mechanism of action in polypropylene-ammonium polyphosphate-pentaerythritol mixture. *Poly. Deg. and Stab.* 1984. Vol. 7. P. 25–31.
11. Camino G., Costa L. Performance and mechanism of fire retardants in polymers – A review. *Poly. Deg. and Stab.* 1988. Vol. 20. P. 271–294.
12. Le Bras M., Bugajny M., Lefebvre J., Bourbigot S. Use of polyurethanes as char-forming agents in polypropylene intumescent formulations. *Polym. Int.* 2000. Vol. 49. P. 1115–1124.

13. Le Bras M., Camino G., Bourbigot S., Delobel R. Fire retardancy of polymers : the use of intumescence. The Royal Society of Chemistry. Cambridge, UK. 1998. 466 p.
14. Bourbigot S., Le Bras M., Duquesne S., Rochery M. Recent advances for intumescent polymers. *Macromol. Mater. Eng.* 2004. Vol. 289. P. 499–511.
15. Cagliostro D., Riccitello S., Clark K., Shimizu A. Intumescent coating modeling. *Journal of Fire and Flammability.* 1975. Vol. 6. P. 205–222.
16. Anderson C., Ketchum D., Mountain W. Thermal conductivity of intumescent chars. *Journal of Fire Science.* 1988. Vol. 16. P. 390–410.
17. Di Blasi C., Branca C. Mathematical Model for the Nonsteady Decomposition of Intumescent Coatings. *AIChE Journal.* 2001. Vol. 47(10). P. 2359–2370.
18. Butler K. Physical modelling of intumescent fire retardant polymers. Building and Fire Research Laboratory. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg. Maryland, 1997. P. 214–228.
19. Butler K., Baum H., Kashiwagi T. Three-dimensional modelling of intumescent behaviour in fires. *Fire Safety Science.* Proc. 5th Int. Symp. 1997. P. 523–534.
20. Jimenez M., Duquesne S., Bourbigot S. Characterization of the performance of an intumescent fire protective coating. *Surface and Coating Technology.* 2006. Vol. 201. P. 523–534.
21. Assess the fire resistance of intumescent coatings by equivalent constant thermal resistance / G. Li, G. Lou, C. Zhang, L. Wang, Y. Wang. *Fire Technology.* 2012. Vol. 48. P. 529–546.
22. Bartholomai M., Schriever R., Scharfel B. Influence of external heat flux and coating thickness on the thermal insulation properties of two different intumescent coatings using cone calorimeter and numerical analysis. *Journal of Fire Materials.* 2003. Vol. 27. P. 151–162.
23. Dai X., Wang Y., Bailey C. A simple method to predict temperatures in steel joints with partial intumescent coating fire protection. *Fire Technology.* 2010. Vol. 46. P. 19–35.
24. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010. Єврокод 3 : Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1993-1-2:2005, IDT). [Чинний від 2013-07-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2012. 98 с.
25. Experimental study of heat transfer in intumescent coatings exposed to non-standard furnace curves / L. Wang, Y. Dong, D. Zhang, D. Zhang, C. Zhang. *Fire Technology.* 2015. Vol. 51. no. 1. P. 627–643.
26. Andersen J. Experimental study of the thermal resistance of intumescent coatings exposed to different heating rates. Master of Science thesis. Civil Engineering Department. Technical University of Denmark. Copenhagen. Denmark. 2015.
27. Schaumann P., Weisheim W. Effect of heating rates in natural fires on the thermal performance of a solvent-borne intumescent coating. IFireSS 2017 2nd International Fire Safety Symposium, Napoli, Italy, June 7–9 2017. P. 373–380.
28. Silva D., A. Bilotta A., Nigro E. Effect of the thermal input on the behavior of intumescent coatings. ASFE 2017 – Applications of Structural Fire Engineering, 7-8 September 2017, Manchester, UK. P. 351–360.
29. Silva D., A. Bilotta A., Nigro E. Analisi del comportamento di vernici intumescenti per la protezione al fuoco delle strutture in acciaio. *Accettato per la pubblicazione negli atti della conferenza : XXVI Giornate Italiane Della Costruzione in Acciaio* (28-30 Settembre 2017).
30. Bilotta A., Silva D., Nigro E. Tests on intumescent paints for fire protection of existing steel structures. *Construction and Building Materials.* 2016. Vol. 121. P. 410–422.
31. Bilotta A., Silva D., Nigro E. General approach for the assessment of the fire vulnerability of existing steel and composite steel concrete structures. *Journal of Building Engineering.* 2016. Vol. 8. P. 198–207.
32. Григор'ян Н. Б., Круковский П. Г., Новак С. В. Области применения стандартизированных методов определения огнезащитной способности огнезащитных покрытий металлических конструкций : монографія. Черкаси : ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2016. 132 с.
33. ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016. Проектування сталевих конструкцій. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість. [Чинний від 2017-06-01]. Київ : Мінрегіон України, 2016. 111 с.
34. Круковский П. Г. Обратные задачи тепломассопереноса (общий инженерный подход) : монографія. Київ : Інститут технічної теплофізики НАН України, 1996. 218 с.
35. 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.
36. Новак С. В., Новак М. С. Розроблення автоматизованої процедури валідації методів розрахунку характеристики вогнезахисної здатності покриттів для сталевих конструкцій. *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека.* 2021. № 1 (11). С. 3–10.

REFERENCES

1. EAD 350402-00-1106. Reactive coatings for fire protection of steel elements (2017). URL : https://www.eota.eu/download?file=/2015/15-35-0402/ead%20for%20ojeu/ead%20350402-00-1106_ojeu2017.pdf [in English].
2. EAD 350140-00-1106. Renderings and rendering kits intended for fire resistant applications (2014). URL : https://www.eota.eu/download?file=/2014/14-35-0140/ead%20for%20ojeu/ead%20350140-00-1106_ojeu2017.pdf [in English].
3. EAD 350142-00-1106. Fire protective board, slab and mat products and kits (2017). URL : https://www.eota.eu/download?file=/2014/14-35-0142/ead%20for%20ojeu/ead%20350142-00-1106_ojeu2017.pdf [in English].
4. 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].
5. 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].

6. DSTU B V.1.1-17:2007. Vohnnezakhysni pokryttia dlia budivelnnykh nesuchykh metalevykh konstrukttsii. Metod vyznachennia vohnnezakhysnoi zdatsnosti (ENV 13381-4:2002, NEQ) [Fire protective coatings for building load-bearing metal structures. Method for determining the fire protective ability (ENV 13381-4:2002, NEQ)]. K. : Minrehionbud Ukrainy, 2007. 66 s. [in Ukrainian].
7. DSTU B V.1.1-4-98*. Zakhyst vid pozhezhi. Budivelni konstrukttsii. Metody vyprobuvan na vohnestiikist. Zahalni vymohy [Fire protection. Building constructions. Fire resistance test methods. General requirements]. Kyiv : Derzhbud Ukrainy, 2005. 19 s. [in Ukrainian].
8. Kalafat K. V., Vakhitova L. N. (2017). Katalog sredstv ogneshchity stal'nykh konstruktsii [Catalog of steel structures fire protection 2017]: publikatsiya. Metinvest, 2017. 91 s. [in Russian].
9. Pettersson O., Magnusson S., Thor J. Fire engineering design of steel structures. Swedish Institute of Steel Construction (SBI). Stockholm, 1976. 232 p. [in English].
10. Camino G., Costa L., Trossarelli L. (1984). Study of the mechanism of intumescence in fire retardant polymers: mechanism of action in polypropylene-ammonium polyphosphate-pentaerythritol mixture. Poly. Deg. and Stab. Vol. 7. P. 25–31 [in English].
11. Camino G., Costa L. (1988). Performance and mechanism of fire retardants in polymers – A review. Poly. Deg. and Stab. Vol. 20. P. 271–294 [in English].
12. Le Bras M., Bugajny M., Lefebvre J., Bourbigot S. (2000). Use of polyurethanes as char-forming agents in polypropylene intumescent formulations. Polym. Int. Vol. 49. P. 1115–1124 [in English].
13. Le Bras M., Camino G., Bourbigot S., Delobel R. (1998). Fire retardancy of polymers: the use of intumescence. The Royal Society of Chemistry. Cambridge, UK. 466 p. [in English].
14. Bourbigot S., Le Bras M., Duquesne S., Rochery M. (2004). Recent advances for intumescent polymers. Macromol. Mater. Eng. Vol. 289. P. 499–511 [in English].
15. Cagliostro D., Riccitello S., Clark K., Shimizu A. (1975). Intumescent coating modeling. Journal of Fire and Flammability. Vol. 6. P. 205–222 [in English].
16. Anderson C., Ketchum D., Mountain W. (1988). Thermal conductivity of intumescent chars. Journal of Fire Science. Vol. 16. P. 390–410 [in English].
17. Di Blasi C., Branca C. (2001). Mathematical Model for the Nonsteady Decomposition of Intumescent Coatings. AIChE Journal. Vol. 47(10). P. 2359–2370 [in English].
18. Butler K. (1997). Physical modelling of intumescent fire retardant polymers. Building and Fire Research Laboratory. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg. Maryland, 1997. P. 214–228 [in English].
19. Butler K., Baum H., Kashiwagi T. Three-dimensional modelling of intumescent behaviour in fires. Fire Safety Science. Proc. 5th Int. Symp. P. 523–534 [in English].
20. Jimenez M., Duquesne S., Bourbigot S. (2006). Characterization of the performance of an intumescent fire protective coating. Surface and Coating Technology. Vol. 201. P. 523–534 [in English].
21. Li G., Lou G., Zhang C., Wang L., Wang Y. (2012). Assess the fire resistance of intumescent coatings by equivalent constant thermal resistance. Fire Technology. Vol. 48. P. 529–546 [in English].
22. Bartholomai M., Schriever R., Scharrel B. (2003). Influence of external heat flux and coating thickness on the thermal insulation properties of two different intumescent coatings using cone calorimeter and numerical analysis. Journal of Fire Materials. Vol. 27. P. 151–162 [in English].
23. Dai X., Wang Y., Bailey C. (2010). A simple method to predict temperatures in steel joints with partial intumescent coating fire protection. Fire Technology. Vol. 46. P. 19–35 [in English].
24. DSTU-N B EN 1993-1-2:2010. Yevrokod 3: Proektuvannia stalevykh konstrukttsii. Chastyna 1-2. Zahalni polozhennia. Rozrakhunok konstrukttsii na vohnestiikist (EN 1993-1-2:2005, IDT) (2012) [Eurocode 3 : Design of steel structures. Part 1-2: General rules. Structural fire design (EN 1993-1-2:2005, IDT)] Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 98 s. [in Ukrainian].
25. Wang L., Dong Y., Zhang D., Zhang D., Zhang C. (2015). Experimental study of heat transfer in intumescent coatings exposed to non-standard furnace curves. Fire Technology. Vol. 51. №. 1. P. 627–643 [in English].
26. Andersen J. (2015). Experimental study of the thermal resistance of intumescent coatings exposed to different heating rates. Master of Science thesis. Civil Engineering Department. Technical University of Denmark. Copenhagen. Denmark [in English].
27. Schaumann P., Weisheim W. (2017). Effect of heating rates in natural fires on the thermal performance of a solvent-borne intumescent coating. IFireSS 2017 2nd International Fire Safety Symposium, Napoli, Italy, June 7–9. P. 373–380 [in English].
28. Silva D., A. Bilotta A., Nigro E. (2017). Effect of the thermal input on the behavior of intumescent coatings. ASFE 2017 – Applications of Structural Fire Engineering, 7–8 September. Manchester, UK. P. 351–360 [in English].
29. Silva D., A. Bilotta A., Nigro E. (2017). Analisi del comportamento di vernici intumescenti per la protezione al fuoco delle strutture in acciaio. accettato per la pubblicazione negli atti della conferenza : XXVI Giornate Italiane della Costruzione in Acciaio (28–30 Settembre) [in Italian].
30. Bilotta A., Silva D., Nigro E. (2016). Tests on intumescent paints for fire protection of existing steel structures. Construction and Building Materials. Vol. 121. P. 410–422 [in English].
31. Bilotta A., Silva D., Nigro E. (2016). General approach for the assessment of the fire vulnerability of existing steel and composite steel concrete structures. Journal of Building Engineering. Vol. 8. P. 198–207 [in English].
32. Gryhorian N. B., Krukovskiy P. G., Novak S. V. (2016). Oblasty pryimeneniya standartyzirovannykh metodov opredeleniya ohnezashchytnoi sposobnosti ohnezashchytnykh pokrytyi metallicheskykh konstrukttsiy [Areas of application of standardized methods for determining the fire protective ability of fire protective coatings of metal structures] : monohrafiia. Cherkasy : ChIPB im. Heroiv Chornobylia NUTsZ Ukrainy, S. 132 [in Russian].
33. DSTU-N B V.2.6-211:2016. Proektuvannia stalevykh konstrukttsii. Rozrakhunok konstrukttsii na vohnestiikist (2016). [Design of steel structures. Calculation of structures for fire resistance]. Kyiv: Minrehion Ukrainy. 111 s. [in Ukrainian].
34. Krukovskiy P. G. (1996). Obratnyye zadachi teplomassoperenosa (obshchiy inzhenernyy podkhod) [Inverse problems of heat and mass transfer (general engineering approach)] : monohrafiia. Kyiv: Instytut tekhnichnoi teplofizyky NAN Ukrainy. 218 s. [in Russian].

35. Novak S. V., Novak M. S. (2020). Validatsiia metodiv rozrakhunku minimalnoi tovshchyny vohnezakhysnykh materialiv dlia stalevykh konstrukttsii [Validation of methods for calculating the minimum thickness of fire protective materials for steel structures]. Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka. № 2 (10). S. 83–90 [in Ukrainian].
36. Novak S. V., Novak M. S. (2021). Rozroblennia avtomatyzovanoi protsedury validatsii metodiv rozrakhunku kharakterystyky vohnezakhysnoi zdatnosti pokryttiv dlia stalevykh konstrukttsii [Development of the automated procedure of validation of methods of calculation of the characteristic of fire protective ability of coverings for steel designs]. Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka. № 1 (11). S. 3–10 [in Ukrainian].

EVALUATION OF THERMAL PROPERTIES OF REACTIVE FIRE PROTECTIVE COATINGS FOR STEEL STRUCTURES

S. Novak¹, M. Novak², V. Drizhd³

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

²*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine*

³*L. M. Litvinenko Institute Physical-Organic Chemistry and Coal Chemistry, Ukraine*

KEYWORDS

fire resistance, thermal conductivity coefficient, intumescent coating, reactive fire protective coating, standard temperature regime, steel structure, thermal properties.

ANNOTATION

Mathematical models of thermophysical properties of intumescent fire-retardant coating, used in the procedure for determining such properties, are described in EN 13381-8 or DSTU B V.1.1-17. These models do not fully take into account the peculiarities of thermal conductivity in such a coating under fire conditions. This can lead to significant discrepancies in determining the thickness of a coating required to ensure normalized fire resistance rates for steel structures (columns and beams). The aim of current study was to improve the existing procedure for determining thermophysical properties of intumescent fire-retardant coating by applying an updated model.

Based on the results of the study, a modified procedure for determining thermophysical properties of intumescent coatings, designed for fire protection of steel structures, was developed. The initial data for this procedure are the temperatures in the furnace and steel for unloaded short structures, obtained during tests according to EN 13381-8 or DSTU B V.1.1-17 using standard time-temperature curve.

The study substantiates the use of an updated model, which takes into account the dependence of thermal conductivity of such fire-retardant coating on temperature, initial coating thickness and cross-sectional coefficient of steel structure, in this procedure. A piecewise linear dependence of thermal conductivity of a coating on temperature was introduced. The dependence of thermal conductivity coefficient on coating thickness and cross-sectional coefficient is determined by the linear regression equations. This modified procedure also determines the algorithm for calculating thermophysical properties of intumescent fire-retardant coating. The directions for further studies were suggested, focusing on the estimation of reliability of results received when the developed modified procedure is applied

УДК 614.842.68

ПИТАННЯ БЕЗПЕЧНОГО ГАСІННЯ ПОЖЕЖ НА ОБ'ЄКТАХ З НАЯВНІСТЮ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.2.82-91>

Скоробагатько Т. М.^{1*}, ORCID iD 0000-0001-5651-1975

Борисов А. В.¹, ORCID iD 0000-0001-6858-0492

Іллюченко П. О.¹, ORCID iD 0000-0001-6687-6388

Пруський А. В.¹, ORCID iD 0000-0002-9132-7070

Дівізінюк М. М.², ORCID iD 0000-0002-5657-2302

Гудович О. Д.¹, ORCID iD 0000-0001-5490-2307

*E-mail : tarasskorobagatko@gmail.com

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

²Інститут геохімії та навколишнього середовища НАН України

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 20.10.2021

Пройшла рецензування: 23.11.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

безпека праці, енергетичний
об'єкт, нормативне забезпечення,
пожежогасіння, сонячна
електростанція

АНОТАЦІЯ

Розглянуто небезпеки, що пов'язані з ліквідацією пожеж та надзвичайних ситуацій на об'єктах із наявністю сонячних електростанцій. Проведено аналіз вітчизняних та зарубіжних праць за напрямом досліджень. Виявлено, що в доступних джерелах інформації надзвичайно мало результатів досліджень вітчизняних науковців щодо питань особливостей гасіння пожеж на об'єктах з наявністю сонячних електростанцій. Підкреслено, що особливої уваги варта робота німецьких дослідників, яка присвячена оцінці пожежних ризиків у фотоелектричних системах та розробленню концепцій безпеки для їх мінімізації. Зазначено, що ці дослідження охоплюють декілька тематичних комплексів, а саме: оцінку пожежного ризику у фотоелектричних системах; оцінку ризиків для служб обслуговування фотоелектричних систем, аварійних служб, зокрема пожежних команд, та стратегію уникнення ризиків; оцінку можливостей мінімізації ризику виникнення пожежі та її поширення на об'єктах із наявністю фотоелектричних систем; розроблення рекомендацій для виробників щодо конструкції компонентів фотоелектричних систем, її складових матеріалів, забезпечення якості під час виробництва, монтажу та експлуатації, що є актуальним для України. Проаналізовано нормативні документи, в яких регламентовано порядок оперативно-тактичних дій пожежно-рятувальних підрозділів під час ліквідації надзвичайних ситуацій та гасіння пожеж на енергетичних об'єктах і спорудах, зокрема й на об'єктах із наявністю сонячних електростанцій, наголошуючи на забезпеченні безпечних умов праці особового складу. Встановлено, що в розглянутих національних нормативних документах міститься ряд положень щодо основних принципів порядку дій у разі гасіння пожеж в організаціях і на підприємствах енергетичної галузі та в електроустановках під напругою. Проте в них не повністю враховано особливості конструкції та експлуатування саме сонячних електростанцій, зокрема й тих, що використовуються у приватному житловому секторі, а також порядок оперативно-тактичних дій пожежно-рятувальних підрозділів під час ліквідації надзвичайних ситуацій і гасіння пожеж на таких об'єктах. Наголошено на актуальності цього напряму досліджень та сформуовано задачі, які потребують розв'язання під час подальших наукових досліджень.

Постановка проблеми.

Використання сонячних панелей як найбільш надійного джерела альтернативної енергії з кожним роком набуває популярності як у світі, так і в Україні. Станом на 2019 рік загальносвітова потужність сонячних електростанцій, облаштованих різноманітним фотоелектричним обладнанням, складала понад 100 ГВт на рік. Для порівняння, у 2009 році, лише десятиліття тому, потужність таких станцій на рік становила лише близько 10 ГВт [1]. В Україні станом на кінець 2020 року загальна номінальна потужність наявних сонячних електростанцій сягає 6,3 ГВт, частка генерації електроенергії якими складає близько 6% від загального обсягу згенерованої електроенергії за рік по країні [2]. Також є попит на облаштування сонячних електростанцій у приватних домогосподарствах. Так, за даними [3], в Україні на кінець 2021 року нараховується близько 39,6 тис. таких домогосподарств, сонячні електростанції яких генерують електроенергію загальною номінальною потужністю близько 1,06 ГВт, і тенденція до збільшення таких домогосподарств очевидна. Водночас варто зауважити, що в різних конструкціях сонячних електростанцій передбачається застосування таких горючих матеріалів та виробів, як полімерна плівка для герметизації EVA, полімерний фоновий лист у модулях, неметалеві електроізоляційні матеріали у кабелях, корпусах трансформаторів, акумуляторах, інверторах тощо. Наприклад, у фотоелектричній системі потужністю 9 кВт з 38 стандартними фотомодулями міститься до 60 кг горючих полімерів тільки в самих модулях [4; 5]. Таким чином, у разі виникнення пожежі на об'єкті, який експлуатується разом із сонячною електростанцією, наявність, зокрема на покрівлі, додаткової пожежної навантаги у вигляді фотоелектричного обладнання під напругою може ускладнити обстановку на

пожежі. Крім того, у разі безпосереднього горіння такого обладнання можуть виділятися небезпечні концентрації токсичних продуктів згоряння неметалевих матеріалів, а також таких металів, як свинець, кадмій, селен тощо, внаслідок чого виникає небезпека для особового складу пожежно-рятувальних підрозділів, задіяного до ліквідації пожежі та її наслідків.

Особливістю фотоелектричних модулів також є те, що вони генерують електричний струм увесь той час, поки піддаються впливу досить потужного джерела світла. Світло від галогенних ламп, світлове випромінювання, що виділяється з полум'я пожежі, може призвести до ураження струмом людини від елементів навіть пошкодженого фотоелектричного модуля. Проведені фахівцями тести показали, що близько 60% модулів після пошкоджень, спричинених теплом або полум'ям пожежі, здатні виробляти повну потужність [4; 5].

Згідно зі статистичними даними про пожежі та їх наслідки в Україні, узагальнення яких здійснюється відповідно до [6], протягом останніх трьох років виникло 13 пожеж, спричинених нештатними ситуаціями під час експлуатування сонячних електростанцій. Матеріальні втрати внаслідок цього сягають майже 3 млн 400 тис. грн. Під час однієї із них, що виникла через коротке замикання акумуляторної батареї сонячної електростанції, яка експлуатувалась у приватному житловому будинку, загинула людина. Переважна кількість об'єктів пожеж перебували у приватній власності.

Нижче наведено інформацію про окремі випадки пожеж в Україні та поза її межами на об'єктах із наявністю сонячних електростанцій.

Унаслідок пожежі на Ганській сонячній електростанції (рис. 1), що розміщена поблизу с. Великі Нізгірці Бердичівського району Житомирської області (2019 рік), вогнем знищено запобіжники і проводку в трансформаторній підстанції [7].



Рисунок 1 – Пожежа на Ганській сонячній електростанції (Україна)

Джерело: [7]

Пожежа фотоелектричних модулів на даху магазину «Walmart» (рис. 2, а), у штаті Огайо, США (2018 рік). Пожежею завдано збитків у декілька сотень тисяч доларів [8].

Аналогічною попередній є пожежа фотоелектричних модулів на даху

промислового об'єкта в Німеччині (2013 рік) (рис. 2, б). Власникам об'єкта завдано збитків на суму близько одного мільйона євро [4; 5].



а) магазину «Walmart» (США)



б) промислового об'єкта (Німеччина)

Рисунок 2 – Пожежі фотоелектричних модулів на дахах будівель

Джерело: [4; 5; 8]

З огляду на наведені випадки можна зазначити, що, незважаючи на порівняно незначну кількість пожеж, які виникають на об'єктах із наявністю сонячних електростанцій, така ситуація характерна і для України, і для провідних світових країн, їх масштаби можуть бути як незначними, так і досить суттєвими. Але особливої уваги потребує не масштаб події, а саме шляхи забезпечення безпечних умов праці пожежників, які виконують завдання з їх ліквідації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед доступних публікацій вітчизняних науковців, в яких би досліджувались питання особливостей

гасіння пожеж на об'єктах з наявністю сонячних електростанцій, їх майже немає. Єдиним документом, в якому приділено увагу цій проблемі, є Методичні рекомендації [9], розроблені фахівцями ГУ ДСНС України в Хмельницькій області. Їх автори зазначають про стрімкий розвиток альтернативної енергетики – сонячних електростанцій в Україні, наводять їх детальну будову та наголошують на основних небезпеках для особового складу, який ліквідує пожежі. Також вони наголошують, що у Статуті [10] не передбачено, яким чином здійснювати гасіння пожеж на об'єктах із наявністю сонячних електростанцій, тобто не

встановлено чіткого алгоритму. Наводять посилання на нормативні документи, згідно з якими в Україні здійснюється улаштування та експлуатування сонячних електростанцій, і насамкінець – певний алгоритм для особового складу пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС під час гасіння пожеж на об'єктах із наявністю сонячних електростанцій, зокрема і у приватних домогосподарствах.

Варта особливої уваги робота німецьких дослідників [11], що присвячена оцінці пожежних ризиків у фотоелектричних системах та розробленню концепцій безпеки для їх мінімізації. Автори узагальнили результати більш ніж трирічної дослідницької роботи партнерів мережі фотоелектрики за підтримки інших експертів, торговельних асоціацій, промислових партнерів, пожежних команд, монтажних компаній, страхових компаній та операторів. Ця праця охоплює декілька тематичних комплексів, а саме: оцінку пожежного ризику у фотоелектричних системах; оцінку ризиків для служб обслуговування фотоелектричних систем, аварійних служб, зокрема пожежних команд, та стратегії уникнення ризиків; оцінку можливостей мінімізації ризику виникнення пожежі та її поширення на об'єктах із наявністю фотоелектричних систем; розроблення рекомендацій для виробників щодо конструкції компонентів фотоелектричних систем, їх складових матеріалів, забезпечення якості під час виробництва, монтажу та експлуатації.

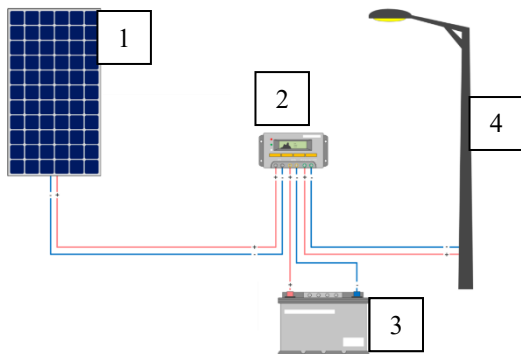
Слід наголосити, що робота [11] потребує ґрунтовного вивчення вітчизняними фахівцями у сфері пожежної безпеки щодо можливості адаптації її результатів для подальшого впровадження в Україні, враховуючи національні особливості з проєктування безпосередньо сонячних електростанцій, монтування фотоелектричних систем на будівлях і спорудах приватного сектору тощо, а також особливості дій пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС з ліквідації пожеж на енергетичних об'єктах.

Застосування напрацьовань вітчизняних фахівців за вказаним напрямом, результатів досліджень провідних закордонних науковців, а також проведення досліджень з розв'язання ще невирішених задач за цим напрямом у перспективі має стати підґрунтям для мінімізації в Україні інцидентів з пожежами на об'єктах із наявністю сонячних електростанцій та ефективного й безпечного пожежогасіння. З огляду на зазначене вище актуальності набуває питання проведення досліджень особливостей процесів гасіння пожеж на об'єктах і спорудах із наявністю сонячних електростанцій та забезпечення безпечних умов праці особового складу пожежно-рятувальних підрозділів.

Метою дослідження є проведення аналізу вимог вітчизняних нормативних документів, в яких регламентується порядок оперативно-тактичних дій пожежно-рятувальних підрозділів, зокрема під час ліквідації надзвичайних ситуацій та гасіння пожеж на енергетичних об'єктах і спорудах, у тому числі й на об'єктах із наявністю сонячних електростанцій, наголошуючи на забезпеченні безпечних умов праці особового складу, а також формулювання задач, що потребують розв'язання під час подальших наукових розвідок. Об'єктом досліджень є процеси гасіння пожеж на енергетичних об'єктах і спорудах, предметом – порядок дій пожежно-рятувальних підрозділів під час гасіння пожеж на таких об'єктах.

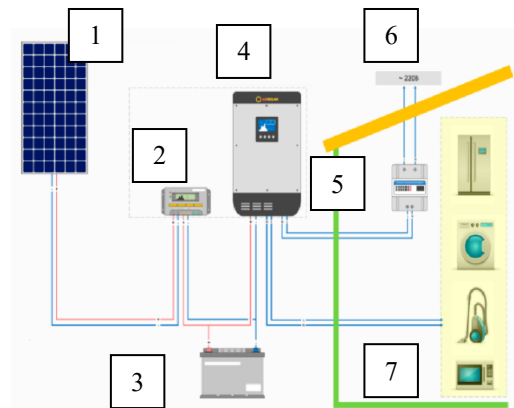
Виклад основного матеріалу дослідження. З метою кращого розуміння небезпек для особового складу (персоналу), які можуть виникати під час ліквідації надзвичайних ситуацій та гасінні пожеж на об'єктах із наявністю сонячних електростанцій, слід навести можливі схеми їх організації. Автори матеріалу [12] виділяють чотири основні типові схеми, зображення яких наведено на рис. 3.

Автономна станція для споживачів постійного струму



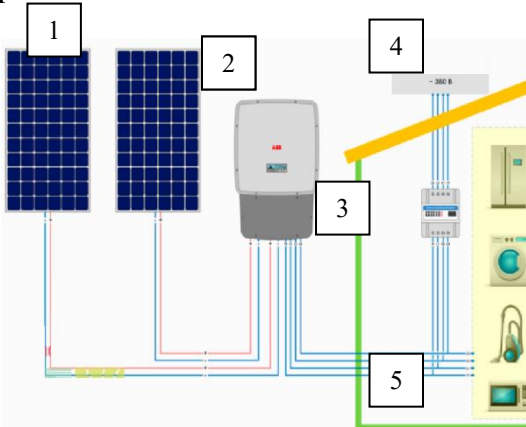
Склад станції:
фотоелектричний модуль (1);
контролер заряду (2);
акумулятор (3);
споживач (4)

Автономна станція для споживачів змінного струму



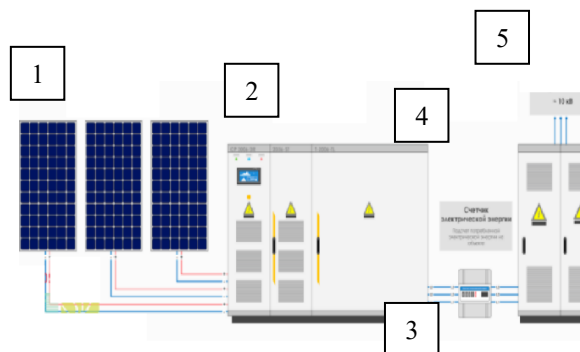
Склад станції: фотоелектричний модуль (1);
контролер заряду (2); акумулятор (3);
автономний інвертор (4); лічильник
електричної енергії (5); ввід електричної
енергії ~220 В (6); споживач (7)

Мережева станція для приватного використання



Склад станції: фотоелектричні модулі (1);
мережевий інвертор (2); двонаправлений
лічильник електричної енергії (3); ввід
електричної енергії ~380 В (4); споживач (5)

Промислова станція



Склад станції: фотоелектричні модулі (1);
мережевий інвертор (2); лічильник
електричної енергії (3); трансформатор у
точці підключення (4); підключення до
електричної мережі ~10 кВ (5)

Рисунок 3 – Типові схеми організації сонячних електростанцій

Джерело: [12]

Згідно з рисунком джерелом небезпечного для людини електричного розряду можуть бути і акумуляторна батарея, і інвертор, і фотоелектричні пластини, а також мережа проводів та кабелів, що сполучають обладнання між собою. Відповідно це слід враховувати під час організації та проведення робіт із

ліквідації надзвичайних ситуацій та гасіння пожеж.

Слід зазначити, що у Статуті [10] з метою недопущення ураження електричним струмом особового складу передбачено в обов'язках керівника гасіння пожежі під час проведення розвідки встановлення наявності електроустановок

під напругою та місць і способів відключення електроенергії та комунальних мереж тощо. Відключення електрообладнання за фазної напруги в мережі не вище 220 В проводить особовий склад пожежно-рятувальних підрозділів за розпорядженням керівника гасіння пожежі або начальника оперативної дільниці. У разі неможливості відключити електрообладнання за допомогою вимикачів або запобіжників провідники електричного струму перерізають спеціальними діелектричними ножицями. Під час роботи з пожежними стволами пожежники-рятувальники не повинні торкатися електропроводів та електрообладнання, що знаходяться під напругою, та не спрямовувати на них струмені води без виконання вимог щодо гасіння електроустановок під напругою.

Також у Статуті [10] передбачено, що під час гасіння пожеж на об'єктах енергетики (в цьому випадку сонячна електростанція розглядається як такий об'єкт) та в приміщеннях з електроустановками керівник гасіння пожежі, зокрема, зобов'язаний:

- установити зв'язок зі старшим зміни на об'єкті енергетики, уточнити в нього обстановку та отримати письмовий допуск за встановленою формою допуску на гасіння пожежі та (або) ліквідацію наслідків аварії, зокрема допуск на проведення гасіння пожежі на енергетичному об'єкті;

- уточнити, які електроустановки під час гасіння пожежі будуть небезпечні для особового складу, робота яких систем і агрегатів сприятиме поширенню вогню;

- визначити особливості проведення оперативних дій, не допускати скупчення особового складу в приміщеннях з електроустановками та його перебування в заборонених зонах, приміщеннях, на дільницях;

- отримати від уповноважених на те посадових осіб об'єкта інструктаж з безпеки праці під час гасіння пожежі;

- уточнити, які електроустановки під час гасіння пожежі будуть небезпечні для

особового складу, робота яких систем і агрегатів сприятиме поширенню вогню;

- ужити заходів щодо заземлення стволів і насосів пожежно-рятувальних автомобілів та забезпечення особового складу діелектричними засобами.

У Правилах безпеки праці в органах і підрозділах МНС України [13] (п. 5.8.15) вказано, що безпека праці під час гасіння пожеж в електроустановках під напругою визначається згідно з НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) [14], НАПБ В.01.034-2005/111 (замінений в Україні на Правила пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України [15]), а також рекомендаціями щодо безпечного використання вогнегасних речовин під час гасіння пожеж електрообладнання, яке знаходиться під напругою.

Відповідно до Порядку дій у разі гасіння пожеж на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі та згідно з Правилами [15] передбачено, зокрема, таке:

- до прибуття першого пожежно-рятувального підрозділу керівником гасіння пожежі є старший зміни енергетичного об'єкта (начальник зміни станції, начальник зміни цеху, черговий диспетчер) або керівник об'єкта;

- старший начальник пожежно-рятувального підрозділу, який прибув на місце пожежі, зобов'язаний негайно зв'язатися зі старшим зміни енергетичного об'єкта, отримати від нього дані про обставини пожежі й письмовий допуск на проведення гасіння пожежі;

- особовий склад пожежно-рятувальних підрозділів розпочинає гасіння пожежі на електроустановках після інструктажу старшим із присутніх інженерно-технічних працівників об'єкта;

- гасіння пожежі ручними пожежними стволами в надзвичайно задимлених приміщеннях енергетичних об'єктів (видимість менше ніж 5 і 10 м за діаметра sprisku відповідно 13 і 19 мм) з проникненням у них без зняття напруги з електроустановок і кабельних ліній не допускається;

- гасіння пожежі у приміщеннях електроустановок, які перебувають під напругою до 10 кВ, усіма видами вогнегасних пін, що генеруються ручними засобами, забороняється;

- у разі виникнення пожежі на енергетичному об'єкті без постійного чергового персоналу об'єкта гасіння пожежі пожежно-рятувальними підрозділами може проводитись самостійно тільки за попередньо розробленим і затвердженим керівником енергетичного підприємства оперативним планом (карткою) пожежогасіння.

Разом із Правилами [15] в державі також чинна Інструкція з гасіння пожеж на енергетичних об'єктах України [16], в якій серед особливостей їх ліквідації на електроустановках під напругою визначено, зокрема, такі положення:

- під час гасіння пожеж на електроустановках під напругою з використанням ручних пожежних стволів необхідно: застосовувати ефективні засоби і прийоми подавання вогнегасних речовин у зону горіння, дотримуватись безпечних відстаней від електроустановок, що знаходяться під напругою, до пожежників, які працюють з ручними пожежними стволами, застосовувати індивідуальні ізолювальні електрозахисні засоби під час гасіння пожеж на електроустановках без зняття напруги, забезпечувати надійне заземлення пожежних стволів і пожежних автомобілів;

- як вогнегасні речовини під час гасіння пожеж в електроустановках під напругою доцільно використовувати компактні та розпилені струмені води, газові вогнегасні речовини – інертні розріджувачі (на основі інертних газів), вогнегасний порошок;

- під час гасіння пожежі в електроустановках під напругою необхідно застосовувати засоби і прийоми подачі в зону горіння вогнегасних речовин, які забезпечують безпечну роботу пожежників і ефективне гасіння пожежі, враховуючи при цьому безпечні відстані до електроустановок під напругою, що горять,

під час подачі пожежниками вогнегасних речовин з ручних стволів;

- позиції пожежників з урахуванням безпечних відстаней до конкретних електроустановок визначаються і уточнюються під час проведення пожежно-тактичних тренувань (навчань) та зазначаються в оперативному плані пожежогасіння об'єкта;

- заземлення ручних пожежних стволів і насосів пожежних автомобілів під час гасіння пожеж на електроустановках, які знаходяться під напругою, здійснюється за допомогою гнучких мідних проводів перетином не менше 25 мм², оснащених спеціальними струбцинами для підключення до заземлених конструкцій: гідрантів водогінних мереж, металевих опор повітряних ліній електропередачі, обсадних труб артезіанських свердловин, шурфів тощо. Місця підключення до заземлених конструкцій визначаються спеціалістами енергооб'єкта, вносяться до графічної частини оперативного плану пожежогасіння об'єкта і позначаються відповідними знаками заземлення;

- ручні пожежні стволи і насоси пожежних автомобілів заземлюються окремо. Під час подачі води від внутрішнього водопроводу заземлюються тільки пожежні стволи;

- індивідуальні ізолювальні електрозахисні засоби (діелектричні рукавиці, боти) необхідно застосовувати для електробезпечності персоналу і пожежників, які безпосередньо беруть участь у гасінні пожежі на електроустановках, які знаходяться під напругою;

- загоряння (займання) в електроустановках під напругою ліквідовується персоналом енергетичного об'єкта за допомогою переносних і пересувних вогнегасників: порошкових – за напруги до 1,0 кВ, вуглекислотних – за напруги до 10 кВ. Відстань від насадки (розтруба) вогнегасника до струмопровідних частин електроустановок не може бути менше ніж 1 м. Застосування пінних вогнегасників не допускається;

- компактні струмені води доцільно застосовувати тільки під час гасіння пожеж у електроустановках під напругою до 110 кВ, але тільки в тих випадках, коли до осередку горіння неможливо наблизитись для подачі розпиленої води;

- для гасіння пожеж електроустановок, які знаходяться під напругою, допускається використовувати воду з водопровідних мереж, а також з природних і штучних водойм. Морську воду в зв'язку з її підвищеною електропровідністю застосовувати забороняється.

Висновки та напрями подальших досліджень. Підсумовуючи наведене вище, слід зазначити, що розглянуті у роботі нормативні документи містять ряд положень щодо основних принципів порядку дій у разі гасіння пожеж в організаціях і на підприємствах енергетичної галузі та в електроустановках під напругою, але вони не повністю враховують особливості конструкції та експлуатування саме сонячних електростанцій, в тому числі й тих, що експлуатуються в приватних домогосподарствах, а також і порядок оперативно-тактичних дій пожежно-рятувальних підрозділів під час ліквідації надзвичайних ситуацій та гасіння пожеж на таких об'єктах. З огляду на зазначене не виникає сумнівів щодо актуальності обраного напрямку досліджень, а основними його задачами, що потребують розв'язання у подальшому, слід вважати такі:

- пошук та аналізування інформації стосовно різновидів, технічних характеристик та принципів роботи сонячних електростанцій, особливостей їх пожежонебезпечності тощо;

- вивчення національних та закордонних будівельних норм, в яких

регламентуються вимоги до проектування промислових енергетичних об'єктів, що переробляють сонячну енергію в електричну, а також будівельних норм для об'єктів непромислового призначення, зокрема приватних домогосподарств, які облаштовуються сонячними електростанціями;

- пошук та вивчення національних та закордонних нормативних документів, в яких регламентується порядок оперативно-тактичних дій пожежно-рятувальних підрозділів під час ліквідації надзвичайних ситуацій та гасіння пожеж на енергетичних об'єктах, зокрема на об'єктах із наявністю сонячних електростанцій;

- проведення експериментальних досліджень з визначення показників пожежонебезпечності окремих елементів конструкцій сонячних електростанцій, опрацювання питання щодо необхідності внесення змін до будівельних норм щодо їх обов'язкового нормування за цими показниками;

- проведення експериментальних досліджень з вивчення особливостей можливих аварійних режимів роботи на прикладі типової сонячної електростанції;

- розроблення методичних рекомендацій щодо порядку дій пожежно-рятувальних підрозділів з гасіння пожеж на об'єктах і спорудах із наявністю сонячних електростанцій.

Кінцевий результат проведення у майбутньому зазначених досліджень спрямований на підтримку та конкретизацію положень нової редакції Статуту [10], в якому, зокрема, виділено дії оперативно-рятувальних підрозділів з гасіння пожеж на об'єктах із наявністю сонячних електростанцій

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основні тенденції у галузі сонячної енергетики у 2020 році. Сонячна енергетика : вебсайт. URL : <https://solarity.com.ua/blog/pv-trends-2020> (дата звернення : 23.11.2021).
2. Сонячна енергетика України. Сонячна енергетика : вебсайт. URL : <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (дата звернення : 23.11.2021).
3. Домашня енергетика. Скільки українських семей установили собственные солнечные станции – инфографика. Сонячна енергетика : вебсайт. URL : <https://cutt.ly/PUq2UTc> (дата звернення : 23.11.2021).
4. 5 потенційних загроз від PV-систем при пожежі та як їх запобігти. Сонячна енергетика : вебсайт URL : <https://solarity.com.ua/blog/fire-hazards-and-mitigation-in-photovoltaic-systems/> (дата звернення : 22.08.2021).

5. Скоробагатко Т. М., Іллюченко П. О., Пруський А. В., Тищенко В. О. До питання безпечного гасіння пожеж на об'єктах з наявністю сонячних електростанцій. *Проектування безпекового середовища громад* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., 02 лип. 2021 р. Маріуполь, 2021. С. 372–376. (дата звернення : 31.08.2021).
6. Про забезпечення ведення обліку пожеж та їх наслідків : наказ Державної служби України з надзвичайних ситуацій від 16.08.2017 р. № 445. URL : <https://ips.ligazakon.net/document/FN035689> (дата звернення : 15.09.2021).
7. Мультимедійна платформа іномовлення України. Укрінформ : вебсайт. URL : <https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/2662179-na-zitomirsinizagorilasa-sonacna-lektrorstancia.html>. (дата звернення : 26.09.2021).
8. Хабр. Енергія і елементи питання : вебсайт. URL : <https://habr.com/ru/company/madrobots/blog/464631/> (дата звернення : 18.09.2021).
9. Методичні рекомендації щодо порядку дій аварійно-рятувальних формувань ДСНС під час гасіння пожеж на сонячних електростанціях : вебсайт. URL : <https://cutt.ly/FUq2mPi> (дата звернення : 24.09.2021).
10. Про затвердження Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та Статуту дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж : наказ МВС України від 26.04.2018 р. № 340. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0801-18#Text> (дата звернення : 27.09.2021).
11. Assessing Fire Risks in Photovoltaic Systems and Developing Safety Concepts for Risk Minimization. Assessing Fire Risks : вебсайт. URL : <https://cutt.ly/CUq2HDO> (дата звернення : 27.09.2021).
12. Схеми організації сонячних електростанцій. Сонячні електростанції : вебсайт. URL : <https://www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostancii/sxemi-organizacii-sonyachnix-lektrorstancij/> (дата звернення : 23.11.2021).
13. Правила безпеки праці в органах і підрозділах МНС України : наказ МНС України від 07.05.2007 р. № 312. URL : https://www.dsns.gov.ua/files/2019/2/14/321/PRAVIL_Ohor-Pr_MNS.pdf (дата звернення : 27.09.2021).
14. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98). Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. [Чинні від 1998.02.20]. Київ : Держнаглядохоронпраці, 1998.
15. Про затвердження Правил пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України : наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 26.09.2018 р. № 491. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0328-19#Text> (дата звернення : 28.09.2021).
16. Про затвердження Інструкції з гасіння пожеж на енергетичних об'єктах України : наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 22.12.2011 р. № 863. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0013-12#Text> (дата звернення : 23.11.2021).

REFERENCE

1. Osnovni tendentsii u haluzi soniachnoi enerhetyky u 2020 rotsi [Main trends in sleepyhead energy in 2020 rotsi]. Retrieved from <https://solarity.com.ua/blog/pv-trends-2020/> [in Ukrainian].
2. Soniachna enerhetyka Ukrainy [Solar energy of Ukraine]. Retrieved from https://uk.wikipedia.org/wiki/Soniachna_enerhetyka_Ukrainy/ [in Ukrainian].
3. Domashniaia enerhetyka. Skolko ukraynskykh semei ustanovyly sobstvennye solnechnye stantsyy – ynfografika [Home energy. How many Ukrainian families have installed their own solar stations - infographics]. Retrieved from <https://biz.nv.ua/markets/solnechnye-elektrostancii-skolko-ih-v-chastnyh-domohozyaystvah-ukrainy-infografika-50195602/> [in Ukrainian].
4. 5 potentsiinykh zahroz vid PV-system pry pozhezhi ta yak yikh zapobihty [5 potential threats from PV systems in case of fire and how to prevent them]. Retrieved from <https://solarity.com.ua/blog/fire-hazards-and-mitigation-in-photovoltaic-systems/> [in Ukrainian].
5. Skorobahatko T. M., Illiuchenko P. O., Pruskyi A. V., Tyshchenko V. O. (2021). Do pytannia bezpechnoho hasinnia pozhezhi na ob'ektakh z naiavnistiu soniachnykh elektrostantsiiu. «Proektuvannia bezpekovooho seredovysheha hromad» [On the issue of safe firefighting at facilities with a solar power plant]: materialy Mizhnar. nauk.-prakt. konf., 02 lyp. m. Mariupol. S 372-376 [in Ukrainian].
6. Nakaz Derzhavnoi sluzhby Ukrainy z nadzvychainykh sytuatsii vid 16.08.2017 № 445. Pro zabezpechennia vedennia obliku pozhezhi ta yikh naslidkiv [On ensuring the keeping of records of fires and their consequences] [in Ukrainian].
7. Multymediina platforma inomovlennia Ukrainy [UKRINFORM]. Retrieved from <https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/2662179-na-zitomirsinizagorilasa-sonacna-lektrorstancia.html> [in Ukrainian].
8. Khabr. Enerhiya y elementy pytanyia [Habr. Energy and batteries: website]. Retrieved from <https://habr.com/ru/company/madrobots/blog/464631/> [in Russian].
9. Metodychni rekomendatsii: shchodo poriadku dii avariino-riatuvalnykh formuvan DSNS pid chas hasinnia pozhezhi na soniachnykh elektrostantsiiakh. Rekomendatsii [Guidelines for the procedure of emergency rescue formations of the SES during firefighting at solar power plants: website]. Retrieved from https://rv.dsns.gov.ua/files/Hasinnia_pozhezhi_na_soniachnykh_elektrostantsiiakh_Metodychni_reko-mendatsii.pdf [in Ukrainian].
10. Nakaz MVS Ukrainy vid 26.04.2018 № 340. Pro zatverdzhennia Statutu dii u nadzvychainykh sytuatsiiakh orhaniv upravlinnia ta pidrozdiliv Operatyvno-riatuvanoi sluzhby tsyvilnoho zakhystu ta Statutu dii orhaniv upravlinnia ta pidrozdiliv Operatyvno-riatuvanoi sluzhby tsyvilnoho zakhystu pid chas hasinnia pozhezhi [About the statement of the Charter of actions in emergency situations of management bodies and divisions of Operational and rescue service of civil protection and the Charter of actions of management bodies and divisions of Operational and rescue service of civil protection during fire extinguishing]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0801-18#Text> [in Ukrainian].
11. Assessing Fire Risks in Photovoltaic Systems and Developing Safety Concepts for Risk Minimization. Assessing Fire Risks. Retrieved from <https://cutt.ly/RUq9D5A> [in English].

12. Skhemy orhanizatsii soniachnykh elektrostantsii. Soniachni elektrostantsii [Schemes of organization of solar power plants. Solar power plants]. Retrieved from <https://www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostancii/sxemi-organizacii-sonyachnix-lektrostancij/> [in Ukrainian].
13. Nakaz MNS Ukrainy vid 07.05.2007 № 312. Pro zatverdzhennia Pravyl bezpeky pratsi v orhanakh i pidrozdilakh MNS Ukrainy [Rules of labor safety in the bodies and departments of the Ministry of Emergencies of Ukraine] [in Ukrainian].
14. Pravyla bezpechnoi ekspluatatsii elektroustanovok spozhyvachiv [Rules for safe operation of electrical installations of consumers] (1998) NPAOP 40.1-1.21-98 (DNAOP 0.00-1.21-98) Kyiv : Derzhnahlidokhoronpratsi, (Derzhavni Normatyvni Akty z Okhorony Pratsi) [in Ukrainian].
15. Nakaz Ministerstva enerhetyky ta vuhilnoi promyslovosti Ukrainy vid 26.09.2018 № 491. Pro zatverdzhennia Pravyl pozhezhnoi bezpeky v kompaniiakh, na pidpriemstvakh ta v orhanizatsiiakh enerhetychnoi haluzi Ukrainy [On approval of the Rules of fire safety in companies, enterprises and organizations of the energy sector of Ukraine] Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0328-19#Text> [in Ukrainian].
16. Nakaz Ministerstva enerhetyky ta vuhilnoi promyslovosti Ukrainy vid 22.12.2011 № 863. Pro zatverdzhennia Instruksii z hasinnia pozhezh na enerhetychnykh ob'ekтах Ukrainy [On approval of the Instruction on firefighting at energy facilities of Ukraine]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0013-12#Text> [in Ukrainian].

ON THE ISSUE OF SAFE FIRE-FIGHTING AT FACILITIES WITH SOLAR POWER PLANTS

T. Skorobahatko¹, A. Borisov¹, P. Illiuchenko¹, A. Pruskyi¹, M. Divizynyuk², O. Gudovych¹

¹*Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine*

²*Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine*

KEYWORDS

occupational safety, energy facility, regulatory support, fire extinguishing, solar power plant

ANNOTATION

The hazards associated with the elimination of fires and emergencies at facilities with solar power plants are considered. The analysis of domestic and foreign literary sources in the sphere of the research is carried out. It was revealed that the available sources of information contained almost no research results derived by domestic researchers which would be devoted to the peculiarities of fire-fighting at facilities with solar power plants. It is emphasized that the work of German researchers on the assessment of fire risks in photovoltaic systems and the development of safety concepts to minimize them deserves special attention in the international arena. It is noted that these studies cover several thematic complexes, namely: fire risk assessment in photovoltaic systems; risk assessment for photovoltaic systems maintenance services, emergency services including fire brigades, and risk avoidance strategies; assessment of opportunities to minimize the risk of fire occurrence and spread of fire at facilities with photovoltaic systems; development of recommendations for manufacturers on the design of components of photovoltaic systems, its components, quality assurance during production, installation and operation, which are extremely relevant for Ukraine. The normative documents regulating the order of operative and tactical actions of fire and rescue divisions during elimination of emergencies and fire-fighting on power facilities and constructions including on the ones with solar power plants with an emphasis on maintenance of safe conditions for the personnel's operations are analyzed. It was established that the national regulations considered in the paper contained a number of provisions on the basic principles of action in case of fire-fighting at enterprises and organizations of the energy sector and live electrical installations, but they did not fully take into account the design and operation of solar power plants, including those operated in the private housing sector as well as, accordingly, the procedure for operational and tactical actions of fire and rescue divisions during emergencies and fire-fighting at such facilities. The relevance of this area of the research is emphasized and the problems that need to be solved during further research are formed.

УДК 355.58.001; 351.862.11

ОГЛЯД ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ: НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА, ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ ТА КІНЦЕВІ РЕЗУЛЬТАТИ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.2.92-100>

Слюсар А. А.¹, ORCID iD 0000-0002-3492-32092

Калиненко Л. В.^{1*}, ORCID iD 0000-0002-2507-4183

Фомін А. І.¹, ORCID iD 0000-0003-0754-1750

Запольський Л. Л.¹ ORCID iD. 0000-0003-4357-2933

Ільїна Н. Є.¹ ORCID iD 0000-0002-5455-8566

Морщ Є. В.² ORCID iD 0000-0003-0131-2332

*E-mail : lkalynenko@gmail.com

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

²Департамент запобігання надзвичайним ситуаціям Державної служби України з надзвичайних ситуацій

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 01.10.2021

Пройшла рецензування: 08.12.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

огляд цивільного захисту, оцінювання спроможностей, базові елементи (складові) спроможностей, функціональні групи (інтегровані категорії) спроможностей, каталог спроможностей, планування на основі спроможностей короткострокове, середньострокове, довгострокове.

АНОТАЦІЯ

Огляд цивільного захисту – це комплекс заходів, що проводиться з метою визначення стану готовності єдиної державної системи цивільного захисту, її функціональних і територіальних підсистем, сил цивільного захисту до реагування на можливі надзвичайні ситуації, стану захищеності населення та територій від таких ситуацій. Ключовими у цьому процесі є аналіз і оцінювання спроможностей сил та засобів цивільного захисту щодо виконання покладених завдань і на цій основі планування розвитку єдиної державної системи цивільного захисту та її складових, що є новим напрямом, який тільки започатковується у цій сфері.

У статті викладено коментарі до вимог чинних нормативно-правових актів. Охарактеризовано мету та завдання огляду цивільного захисту на основі спроможностей, методи і порядок його проведення, кінцеві результати та їх використання для розроблення Стратегії громадської безпеки та цивільного захисту України. Інформація, наведена у статті, призначена для фахівців, що провадять свою діяльність у сфері цивільного захисту.

Постановка проблеми. Згідно із Законом України «Про національну безпеку України» основним документом довгострокового планування, в якому визначено найважливіші напрями державної політики у сфері національної безпеки, підґрунтям для підготовки всіх інших нормативно-правових актів щодо планування у сферах національної безпеки і оборони є Стратегія національної безпеки України (далі – Стратегія нацбезпеки) [1].

На засадах Стратегії нацбезпеки за результатами огляду громадської безпеки та

цивільного захисту розробляється Стратегія громадської безпеки та цивільного захисту України – документ довгострокового планування, в якому окреслено напрями державної політики щодо гарантування захищеності життєво важливих для держави, суспільства та особи інтересів, прав і свобод людини і громадянина, цілі та очікувані результати їх досягнення з урахуванням актуальних загроз.

Складовою частиною огляду цивільного захисту України є огляд спроможностей

функціональних та територіальних підсистем єдиної державної системи цивільного захисту (далі – ЄДСЦЗ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За результатами опрацювання низки законодавчих і нормативно-правових документів щодо цивільного захисту та національної безпеки й оборони, статей щодо оборонного стратегічного планування на основі спроможностей стосовно Збройних сил України, деяких зарубіжних документів, у тому числі НАТО [1–19], автори дійшли висновку, що оцінювання наявних, необхідних, надлишкових спроможностей та планування на їх підґрунті в Україні було засновано у сфері оборони з урахуванням підходів, прийнятих у державах-членах НАТО, і розвивається впродовж останніх років досить інтенсивно. Разом із тим у сфері безпеки, зокрема у сфері цивільного захисту, ці поняття є новими, а запроваджуватися почали з моменту започаткування роботи зі створення Стратегії громадської безпеки та цивільного захисту України.

Актуальність дослідження підтверджується існуванням запиту щодо методології і методики проведення огляду й оцінювання спроможностей та планування розвитку цивільного захисту на цій основі, визначення учасників цього процесу, процедури й порядку його проведення, використання результатів цієї діяльності для формування Єдиного каталогу спроможностей цивільного захисту. На сьогодні зазначених вище методологій і методик немає, але роботи в цьому напрямі проводяться, зокрема в Інституті державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту (далі – ІДУ НД ЦЗ), – завершується виконання науково-дослідної роботи «Спроможності ЦЗ».

Методи дослідження. Використано метод теоретичних досліджень, складовими якого є такі операції, як аналіз, синтез, аналогія, порівняння, узагальнення, систематизація тощо.

Виклад основного матеріалу.

Нормативна база з питань огляду цивільного захисту та планування на основі оцінки спроможностей невелика, отже, необхідно докласти значних зусиль для її розширення.

Основним нормативним актом з цього питання є Закон України «Про національну безпеку України» [1], у якому визначено, що сили цивільного захисту входять до складу сектору безпеки і оборони (п. 16) і є силами безпеки (п. 17). Крім того, у ньому започатковано проведення комплексного огляду сектору безпеки і оборони (п. 8).

Не менш важливим документом є постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку проведення огляду громадської безпеки та цивільного захисту Міністерством внутрішніх справ» [2]. У цьому Порядку встановлено організаційні, методичні засади підготовки і проведення МВС огляду стану захищеності інтересів людини й громадянина, суспільства і держави від суспільно небезпечних діянь, негативного впливу криміногенної ситуації та стану захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій. Огляд містить дві складові: перша – це огляд громадської безпеки, друга – цивільного захисту.

Огляд цивільного захисту (далі – огляд ЦЗ) – це процедура оцінювання стану готовності єдиної державної системи цивільного захисту, її функціональних та територіальних підсистем, сил цивільного захисту до реагування на можливі надзвичайні ситуації та стану захищеності населення і територій від таких ситуацій.

Відповідно до постанови [2] визначено поетапне проведення огляду ЦЗ. Зокрема, на його основному (виконавчому) етапі мають бути здійснені аналіз та оцінка спроможностей функціональних та територіальних підсистем єдиної державної системи цивільного захисту, сил цивільного захисту щодо ефективності та оперативності реагування на прогнозовані надзвичайні ситуації, наслідки військових конфліктів, а також здатності оперативно розв'язувати завдання за призначенням як

основоположні серед усього комплексу призначених для огляду заходів.

Визначення та огляд спроможностей цивільного захисту (далі – ВОСЦЗ) – це процес, який здійснюється:

по-перше – періодично і обов'язково під час огляду цивільного захисту як складової частини комплексного огляду сектору безпеки і оборони, що проводиться за рішенням Ради національної безпеки і оборони України відповідно до Указу Президента України;

по-друге – в інтервалах між проведенням комплексних оглядів сектору безпеки і оборони керівником суб'єкта забезпечення цивільного захисту може бути ухвалено рішення про проведення цільових оглядів (у разі необхідності).

Мета таких оглядів – проведення аналізу відповідності окремих спроможностей, функціональних груп спроможностей та спроможностей територіальних і функціональних підсистем загалом, їх оцінювання відповідно до сценаріїв реагування на можливі надзвичайні ситуації та вироблення обґрунтованих рекомендацій для формування узгоджених, реалістичних і прийнятних рішень (матеріальних та нематеріальних) з розвитку відповідних спроможностей, структури і складу складових ЄДСЦЗ з урахуванням стану безпекового середовища та встановлених ресурсних обмежень.

Типовими проблемами за результатами проведення ВОСЦЗ можуть бути:

- неможливість досягти в нинішніх умовах необхідних спроможностей (потребує матеріальних рішень);

- кількісні та якісні показники спроможності недостатні (потребує матеріальних та нематеріальних рішень);

- закінчення життєвого циклу носіїв спроможності (потребує матеріальних рішень).

Залежно від мети огляду в процедурі ВОСЦЗ передбачається порівняння наявних спроможностей з тими, що мають бути у їх носія відповідно до вимог нормативно-правових актів, настанов, статутів, стандартів, інструкцій, табелів,

засад (основ, принципів) застосування, стандартних операційних процедур (алгоритмів) та інших керівних документів, а також зі спроможностями, що можуть знадобитись у перспективі, за результатами прогнозування.

Крім того, згідно з процедурою ВОСЦЗ передбачається виявлення недоліків у вимогах до спроможностей, встановлення нових чи оновлення сучасних вимог.

Під час ВОСЦЗ за необхідності розробляються рекомендації щодо проведення певних змін одночасно в усіх споріднених організаційних структурах, носіях відповідних спроможностей.

Головною метою ВОСЦЗ є перевірка наявності найкращих спроможностей у межах виділених бюджетних видатків у функціональних та територіальних підсистемах ЄДСЦЗ, їх силах і засобах загалом, або їх окремих складових.

Під час огляду встановлюється:

- відповідність спроможностей критеріям ефективності їх оперативного застосування, необхідним для успішного виконання завдань;

- брак (нестача) або надлишок необхідної кількості аварійно-рятувальної, пожежної та спеціальної техніки, аварійно-рятувального та пожежного обладнання й оснащення, запасів матеріально-технічних засобів для забезпечення цих спроможностей та пов'язані з ними оперативні ризики;

- можливий нематеріальний підхід для пом'якшення або усунення дефіциту спроможностей, а в разі необхідності – ухвалення матеріальних рішень (щодо протипожежної, аварійно-рятувальної та іншої спеціальної техніки, обладнання, механізмів, приладів, інструментів тощо).

Для організації та проведення ВОСЦЗ послуговуються чинними національними стандартами, методиками та керівництвами, регламентами, положеннями та інструкціями, а також можуть бути використані як вітчизняні, так і міжнародні практики, описані у відповідних стандартах та публікаціях НАТО [12–13] і Збройних сил України

[9–11], якщо вони не суперечать законодавству України.

Відповідно до визначеної мети ВОСЦЗ поділяється на типи залежно від цілей огляду:

- розв'язання проблем та усунення недоліків у наявних спроможностях;
- оцінювання готовності до врегулювання прогнозованих потреб на перспективу (в тому числі з урахуванням невиконаних програм (планів)) тощо;
- в інтересах забезпечення виконання необхідних дій щодо реагування на можливі в майбутньому масштабні НС;
- перевірки перспективних планів з оперативного застосування сил, матеріально-технічного, медичного забезпечення, застосування наявних чи перспективних зразків техніки та оснащення тощо;
- поглибленого вивчення окремої спроможності, групи спроможностей чи функціональної групи спроможностей;
- розроблення рекомендацій щодо вирішення найбільш проблемних питань,

що стосуються окремої спроможності чи групи спроможностей.

Об'єктом огляду в ЄДСЦЗ є окрема спроможність, група спроможностей чи функціональна група, які визначені у функціональних групах спроможностей ЄДСЦЗ та стосовно яких проводиться ВОСЦЗ. Суб'єктами огляду є робоча група, створена для проведення ВОСЦЗ, чи окремий призначений суб'єктом представник (представники) забезпечення ЦЗ.

ВОСЦЗ передбачає проведення таких основних процедур, як оцінювання безпеки середовища (на конкретній території), визначення та оцінювання спроможностей органів управління та сил ЦЗ, визначення потреби в ресурсах, оцінювання ризиків, удосконалення нинішньої структури ЄДСЦЗ та її складових або формування нової (до аварійно-рятувального формування включно), підготовка підсумкового документа за результатом ВОСЦЗ. Цей процес схематично наведений на рис. 1.

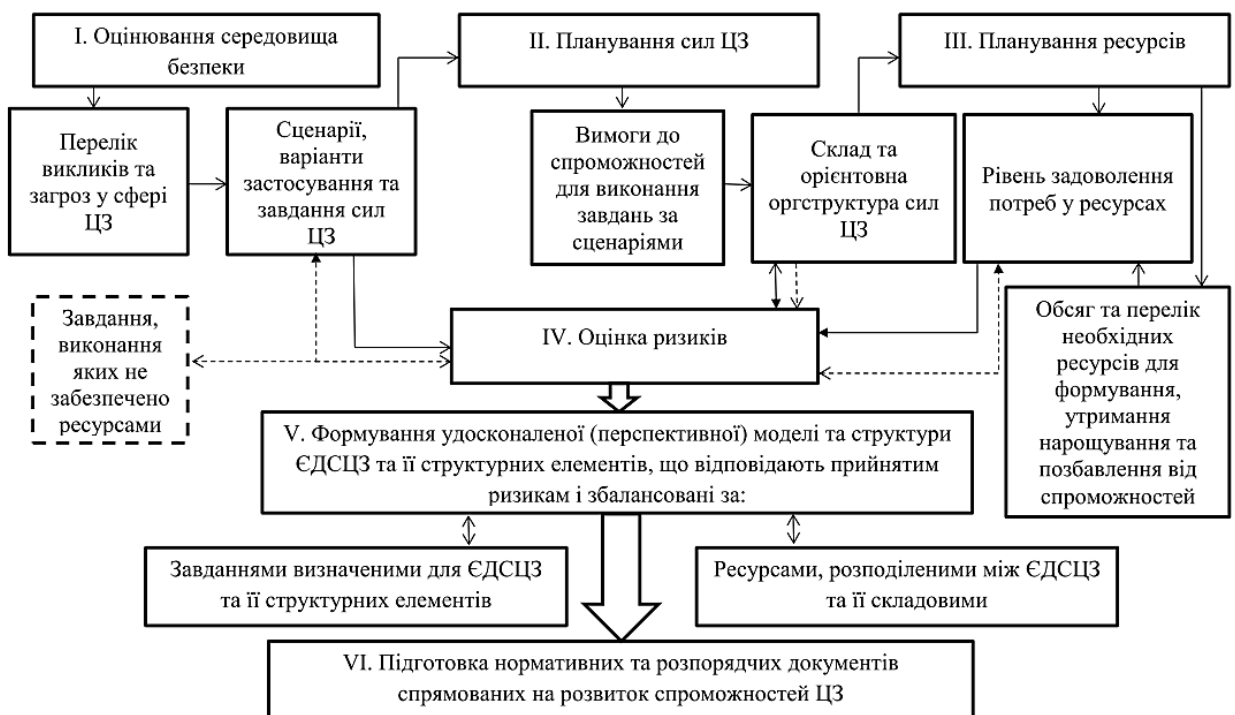


Рисунок 1 – Перелік та взаємний зв'язок між процедурами проведення ВОСЦЗ

Джерело: розроблено авторами

Під час процедури оцінювання середовища безпеки визначається перелік викликів та загроз у сфері цивільного захисту, аналізуються перспективи їх розвитку на окремій території та України загалом, формуються на їх основі ймовірні сценарії реагування на НС, за яких застосовуються сили та засоби ЄДСЦЗ та її складових.

У межах цієї процедури з'ясовується ймовірність виникнення тих чи інших сценаріїв НС, визначаються завдання органам управління та силам ЦЗ за кожним сценарієм і варіанти їх застосування, а також вимоги до спроможностей (на державному, регіональному, місцевому та об'єктовому рівнях) щодо виконання завдань за всіма сценаріями.

Між проведенням ВОСЦЗ здійснюється моніторинг середовища безпеки та за необхідності вносяться зміни до ймовірних сценаріїв і варіантів застосування сил та засобів ЄДСЦЗ та її складових.

Враховуючи характеристики викликів та загроз у сфері цивільного захисту України, пріоритети політики держави у цій сфері, аналізується широкий спектр імовірних ситуацій та варіантів їх розвитку, до яких можуть застосовуватись (залучаються) сили та засоби ЄДСЦЗ. Ці ситуації об'єднуються відповідними сценаріями.

Водночас враховуються вимоги положень Стратегії національної безпеки України, Стратегії громадської безпеки та цивільного захисту України, відповідні акти Президента України, Кабінету Міністрів України, зокрема постанови «Про затвердження Порядку проведення огляду громадської безпеки та цивільного захисту Міністерством внутрішніх справ» [2], інших нормативно-правових актів та нормативних документів у сфері цивільного захисту.

Визначення та оцінювання спроможностей органів управління та сил ЦЗ здійснюється на основі варіантів застосування сил та засобів ЄДСЦЗ та її

складових для виконання завдань, визначених у сценаріях. Воно включає:

- встановлення необхідних спроможностей для виконання завдань за сценаріями та варіантами застосування;

- оцінювання наявних спроможностей та їх відповідності чинним вимогам (здатності до виконання завдань за призначенням);

- визначення недостатніх і надлишкових спроможностей шляхом порівняння необхідних та наявних спроможностей;

- планування заходів з утримання наявних, формування недостатніх та позбавлення від надлишкових спроможностей.

Відповідно до вказаного підходу передбачається:

- визначення завдань за кожним із сценаріїв та рівнем небезпечної події, які в подальшому мають бути зведені в об'єднаний перелік типових завдань функціональної групи (підгрупи);

- опис умов та критеріїв виконання завдань (умов їх виконання): оперативних, технічних, спеціальних тощо, які у сукупності складають вимоги до спроможностей, для формування каталогів спроможностей функціональних груп та підгруп з подальшим включенням їх до Єдиного переліку (каталогу) спроможностей цивільного захисту;

- підбір з Єдиного каталогу спроможностей ЦЗ (каталогів спроможностей функціональних груп та підгруп) спроможностей, які відповідають визначеним завданням;

- визначення пріоритетних із обраних спроможностей (критичних, необхідних, наявних, надлишкових) відповідно до завдань з урахуванням перспективи їх розвитку;

- формування цільового пакета необхідних спроможностей та відповідного їм складу сил.

За підсумком ВОСЦЗ формуються висновки (оцінка) щодо відповідності, перевищення чи нестачі спроможностей об'єкта оцінювання та пропозиції щодо

матеріальних та нематеріальних управлінських рішень (підтримання наявних спроможностей, нарощування (удосконалення) базових компонентів (складових) спроможностей, формування нових чи позбавлення від надлишкових спроможностей).

Для ухвалення раціонального рішення щодо вибору (розвитку) спроможностей з метою виконання необхідних завдань та визначення пріоритетності їх досягнення можуть застосовуватись різні апробовані та доступні методи та методики, зокрема метод багатокритеріального аналізу, де показники визначаються методом експертних оцінок (метод Делфі) [20], інші розрахункові задачі, спеціальне програмне забезпечення.

Зведення необхідних спроможностей (з урахуванням їх рейтингів) у єдиний каталог дає змогу сформулювати цільовий пакет спроможностей, необхідних для виконання завдань на відповідному рівні державного управління, за певним сценарієм та визначити необхідний склад сил.

Висновки та напрями подальшого дослідження. З метою забезпечення ефективної реалізації державної політики у сфері цивільного захисту, яку здійснюють ЄДСЦЗ та її складові шляхом запровадження нових підходів до оцінювання стану цивільного захисту згідно із законодавством України, запроваджено визначення та огляд (аналіз) спроможностей цивільного захисту, за результатами якого (у подальшому) має здійснюватись планування розвитку цивільного захисту на основі спроможностей з урахуванням підходів та процедур, прийнятих в інших організаціях, що входять до складу сектору безпеки та оборони, а також у державах-членах НАТО.

Автори за результатами проведеного у 2020 році огляду реагування на надзвичайні ситуації, наслідки військового конфлікту на сході, здатності оперативно розв'язувати завдання за призначенням функціональними та територіальними підсистемами єдиної державної системи

цивільного захисту визначили особливості спроможностей у сфері цивільного захисту, дослідили основні властивості (вимоги до них) спроможностей та їх носіїв.

Встановлено, що бракує аналізу конкретних методів та механізмів підтримки процесів запровадження запропонованих підходів у діяльність ДСНС, що, на наш погляд, має бути предметом подальших досліджень і розробок.

Уперше систематизовано за функціональним призначенням та науково обґрунтовано основні базові компоненти та функціональні групи спроможностей єдиної державної системи цивільного захисту.

Уперше розроблено шляхи, форми й методи визначення спроможностей та на основі цього розроблено проект Рекомендацій з огляду спроможностей функціональних і територіальних підсистем єдиної державної системи цивільного захисту та проект структури Єдиного каталогу цивільного захисту, що в перспективі має забезпечити проведення оцінювання спроможностей ЦЗ як елементу планування на основі спроможностей, з урахуванням підходів, прийнятих у державах-членах НАТО, а також формування в ЄДСЦЗ, органах управління, установах, організаціях спільного розуміння щодо підходів до впровадження такого планування та порядку його здійснення.

Наявність глибокого аналізу та оцінювання всіх складових оперативних спроможностей і базових компонентів організаційних структур дає змогу більш виражено оцінювати необхідні ресурси для забезпечення розвитку ЦЗ, ретельніше підходити до розроблення стратегій розвитку спроможностей, ухвалювати інвестиційні рішення, управління пакетом спроможностей та розвитку сил ЦЗ.

Втілення в практику планування на основі спроможностей ЦЗ процедур оцінювання та аналізу складових оперативних і спеціальних спроможностей, базових компонентів спроможностей

можна вважати одним із напрямів її адаптації до принципів та правил, що використовують країни – члени НАТО.

У подальшому доцільно внести зміни до сучасного процесу планування у сфері

цивільного захисту, додавши до нього процедури оцінювання складових оперативних спроможностей та аналізу їх базових компонентів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про національну безпеку України : Закон України від 21.06.2018 р. № 2469-VIII. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/2469-19> (дата звернення : 01.10.2021).
2. Про затвердження Порядку проведення огляду громадської безпеки та цивільного захисту Міністерством внутрішніх справ : постанова Кабінету Міністрів України від 22.05.2019 р. № 507. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/507-2019-%D0%BF#Text> (дата звернення : 01.10.2021).
3. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 р. № 5403-VI. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/5403-17> (дата звернення : 01.10.2021).
4. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 6 травня 2015 року «Про Стратегію національної безпеки України : Указ Президента України від 26.05.2015 р. № 287. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/287/2015> (дата звернення : 01.10.2021).
5. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 4 березня 2016 року «Про Концепцію розвитку сектору безпеки і оборони України : Указ Президента України від 14.03.2016 р. № 92. URL : <https://www.president.gov.ua/documents/922016-19832> (дата звернення : 01.10.2021).
6. Про організацію планування в секторі безпеки і оборони України : Указ Президента України від 16.05.2019 р. № 225. URL : <https://www.president.gov.ua/documents/2252019-26835> (дата звернення : 01.10.2021).
7. Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за їх рівнями : постанова Кабінету Міністрів України від 24.03.2004 р. № 368. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/368-2004-%D0%BF> (дата звернення : 01.10.2021).
8. Про організацію оборонного планування в Міністерстві оборони України і Збройних Силах України у 2018 році на 2019–2021 роки : наказ Міністерства оборони України від 19.12.2017 р. № 670. URL : <https://ips.ligazakon.net/document/view/MUS29792?an=1> (дата звернення : 01.10.2021).
9. Рекомендації з оборонного планування на основі спроможностей в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України. Міністерство оборони України : вебсайт. Київ, 2017. URL : https://www.mil.gov.ua/content/other/Recommendationson_CBP_120617.pdf (дата звернення : 01.10.2021).
10. Оборонний огляд : український вимір 2014–2018 : монографія / Ф. Саганюк та ін.; за заг. ред. І. Руснака. Київ : МО та ГПШ ЗС України, НУОУ, 2019. 196 с.
11. Henry C. Bartlett, G. Paul Holman, Jr. and Timothy E. Somes. The Art of Strategy and Force Planning. Strategy and Force Planning. 4 th edition. Newport, R. I. : Naval War College Press, 2004. P. 17–33.
12. Handbook on Long Term Defence Planning, RTO Technical Report 69. Paris : NATO Research and Technology Organization, April 2003. URL : <http://www.rta.nato.int/pubs/rdp.asp?RDP=RTO-TR-069> (last accessed : 01.10.2021).
13. AAP-03 Ed. J Ver. 3, Production, maintenance and management of NATO standardization documents. URL : <https://cutt.ly/PUq8v23> (last accessed : 01.10.2021).
14. Guide to Capability-Based Planning, TR-JSA-TP3-2-2004. The Technical Cooperation Program, Joint Systems and Analysis Group, Technical Panel 3, MORS Workshop, October 2004.
15. Todor Tagarev. The Art of Shaping Defense Policy : Scope, Components, Relationships (but no Algorithms) Connections. *The Quarterly Journal* 5. № 1 (Spring-Summer 2006). P. 15–34. URL : <https://consortium.pims> (last accessed : 01.10.2021).
16. Поліщук В. Б., Нетесін І. Є., Нестеренко О. В. Інформаційні технології в управлінні оборонними ресурсами: методологічний контекст та приклади практичної реалізації : монографія / за ред. В. Б. Поліщука. Ч. 1 / Київ : УкрНІЦ РІТ, 2019. 120 с.
17. Калинеко Л. В., Слюсар А. А., Фомін А. І., Борисова А. С. Спроможності у сфері цивільного захисту. *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека*. Т. 1. № 1 (2020). С. 4–13.
18. Денежкін М. М.. Вплив оцінювання та аналізу спроможностей на визначення заходів розвитку Збройних сил України. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2018. Вип. 3(57). С. 57–63.
19. Денежкін М. М., Крикун П. М., Руснак І. С. Проблеми проведення комплексного огляду сектора безпеки та оборони України, погляди на його організацію та вирішення завдань. *Наука і оборона*. 2014. № 4(7). С. 3–10. URL : http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJ (дата звернення : 06.12.2021).
20. The Delphi Method : Techniques and Applications – Harold A. Linstone and Murray Turoff (Eds.). 1975. URL : <https://web.njit.edu/~turoff/pubs/delphibook/ch1.html>. (last accessed : 01.10.2021).

REFERENCES

1. Pro natsionalnu bezpeku Ukrainy [On the national security of Ukraine]: Zakon Ukrainy vid 21.06.2018 № 2469-VIII. Retrived from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/2469-19> [in Ukrainian].
2. Pro zayverdzhennia Poriadku provedennia ogliadu gromadtskoi bezpeky ta tsyvilnogo zahystu [On approval of the Procedure for conducting a review of public safety and civil protection] : postanova KM Ukrainy vid 22.05.2019. № 5/data zvernennia 01.10.2021). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/507-2019-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].
3. Kodeks tsyvilnogo zahystu Ukrainy [Code of Civil Protection of Ukraine type dated 02.10.2012 № 5403-VI] vid vid 02.10.2012 № 5403-VI. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/5403-17> [in Ukrainian].
4. Pro rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 06/05.2015 «Pro Strategiu natsionalnoibezpeku Ukrainy» [On the National Security Strategy of Ukraine] vid 26.05.2015 № 287/2015// Baza danykh «Zakonodavstvo Ukrainy» / Verkhovna Rada Ukrainy. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/287/2015> [in Ukrainian].
5. Rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 04.03.2016 «Pro Kontsepsiю rozvytku sektora bezpeky i oborony Ukrainy» [On the Concept of Development of the Security and Defense Sector of Ukraine]: Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 14/03.2016. № 92. Retrieved from <https://www.president.gov.ua/documents/922016-19832>[in Ukrainian].
6. Pro organizatsiu planuvannia v sektori bezpeky i oborony Ukrainy [On the organization of planning in the security and defense sector of Ukraine] vid 16.05.2019. № 225. Retrieved from <https://www.president.gov.ua/documents/2252019-26835>[in Ukrainian].
7. Pro zatverdzhennia Poriadku klasyfikatsii nadzvychainuh sytuatsii tehnogennoho ta pryrodnogo harakteru za ih rivniamy [About the statement of the Order of classification of emergency situations of technogenic and natural character on their levels] : Postanova KM Ukrainy vid 24.03.2004. № 368. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/368-2004-%D0%BF/>[in Ukrainian].
8. Pro organizatsiu oboronnoho planuvannia v ministerstvi oborony Ukrainy I Zbroinyh syl Ukrainy u 2018 rotsii na 2019–2021 roky [On the organization of defense planning in the Ministry of Defense of Ukraine and the Armed Forces of Ukraine in 2018 for 2019–2021] : Nakaz Ministersyva oborony Ukrainy vid 19.12. 2017 N 670. Retrieved from https://ips.ligazakon.net/document/view/MUS_29792?an=1[in Ukrainian].
9. Rekomendatsii z oboronnoho planuvannia na osnovi spromozhnosti v Ministerstvi oborony Ukrainy ta zbroinyh sylah Ukrainy [Capacity-based defense planning recommendations in the Ministry of Defense of Ukraine and the Armed Forces of Ukraine] / Ministerstvo oborony Ukrainy. Kuiv. 2017. Retrieved from https://www.mil.gov.ua/content/other/Recommendationson_CBP_120617.pdf [in Ukrainian].
10. Oboronnyi ogliad ukrainskyi vymir 2014–2018 (2019) : monografia [Defense Review: Ukrainian Dimension 2014–2018: monograph] / F. Saganiuk, A. Pavlikovskyi, P. Shchypanskyi ta insh.; za red. d. viisk. nauk, prof. I. Rusnaka. Kyiv : MO ta GSH ZS Ukrainy, NUOU. 196 s. [in Ukrainian].
11. Henry C. Bartlett, G. Paul Holman, Jr., and Timothy E. Somes (2004). The Art of Strategy and Force Planning, in Strategy and Force Planning. 4th edition. Newport, R.I. : Naval War College Press, 2004. P. 17–33 [in English].
12. Handbook on Long Term Defence Planning, RTO Technical Report 69.Paris : NATO Research and Technology Organization (2003). Retrieved from <https://www.rta.nato.int/pubs/rdp.asp?RDP=RTO-TR-069> [in English].
13. AAP-03 Ed. J Ver. 3, Production, maintenance and management of NATO standardization documents. Retrieved from <https://cutt.ly/1Uq8B6M> [in English].
14. Guide to Capability-Based Planning, TR-JSA-TP3-2-2004. The Technical Cooperation Program, Joint Systems and Analysis Group, Technical Panel 3, MORS Workshop, October 2004 [in English].
15. Todor Tagarev. The Art of Shaping Defense Policy: Scope, Components, Relationships (but no Algorithms), Connections. *The Quarterly Journal* 5. no. 1 (Spring – Summer 2006). P. 15–34. URL : <https://consortium.pims> [in English].
16. Polishchuk V. B., Netesin I. Ie., Nesterenko O. V. (2019) Informatsiini tekhnolohii v upravlinni oboronnykh resursamy: metodolohichniy kontekst ta pryklady praktychnoi realizatsii : monohrafiia. [Information technologies are in a management defensive resources: methodological context and examples of practical realization] Kyiv UkrNTs RIT. [in Ukrainian].
17. L. Kalynenko, A. Slusar, A. Fomin and Borysova (2020). Spromozhnosti u sferi tsyvilnogo zahystu [capability of civil protection] K. *Naukovyi visnyk* : Tsyvilnyi zahyst ta pozhezhna bezprka [in Ukrainian].
18. M. Denezhkin (2014). Vplyv otsiniuvannia ta analizu spromozhnosti na vyznachennia zahodiv rozvytku Zbroinyh syl Ukrainy [Influence of evaluation and analysis of possibilities is on determination of measures of development of Military powers of Ukraine] Kharkiv/ Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskogo natsionalnogo Universytetu Povitrianykh syl. [In Ukrainian].
19. M. Denezhkin, P. Krykun.and I. Rusnak. (2014) Problemy provedennia kompleksnogo ogliadu sektora bezpeky ta oborony [Problems of leadthrough of complex review of sector of safety and defensive of Ukraine, looks to his organization and decision of tasks] . Nauka il oborona [in Ukrainian].
20. The Delphi Method : Techniques and Applications – Harold A. Linstone and Murray Turoff (Eds.). (1975). URL : <https://web.njit.edu/~turoff/pubs/delphibook/ch1.html> [in English].

**CIVIL PROTECTION REVIEW: REGULATORY LEGAL ACTS,
WAYS OF IMPLEMENTATION AND FINAL RESULTS**

A. Sliusar¹, L. Kalynenko¹, A. Fomin¹, L. Zapolskiy¹, N. Ilina¹, Ye. Morshch²

¹*Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine*

²*Department of Emergency Prevention of the State Emergency Service of Ukraine*

KEYWORDS

civil protection
review, capacity
assessment, basic
elements
(components) of
capabilities,
functional groups
(integrated
categories) of
capabilities,
capacity catalog,
capacity-based
planning.

ANNOTATION

The Civil Defense Review is a set of measures taken to determine the state of readiness of the unified state civil defense system, its functional and territorial subsystems, civil defense forces to respond to possible emergencies and the state of protection of the population and territories from such situations. The key in this process is the analysis and evaluation of the capabilities of civil defense forces and means to perform the assigned tasks and on this basis to plan the development of a single state civil protection system and its components, which is a new direction in this area.

The article comments on the requirements of current regulations, describes the purpose and objectives of the review of civil protection on the basis of capabilities, methods and procedures, its final results and their use to develop a strategy for public safety and civil protection of Ukraine.

Having in-depth analysis and evaluation of all components of operational capabilities and basic components of organizational structures allows more balanced assessment of resources needed to ensure the development of the Central Command, more careful approach to developing capacity development strategies, investment decisions, capacity management and development of the Central Command.

The implementation of capability-based planning procedures for assessing and analyzing the components of operational and special capabilities, the basic components of capabilities can be considered one of the ways to adapt it to the principles and rules used by NATO member countries.

УДК 614.841.123.24

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗНИЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ І ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА ЗАЛЕЖНО ВІД ПАРАМЕТРІВ ГРАВІЙНОЇ ЗАСИПКИ МАСЛОПРИЙМАЧА

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.2.101-110>

Климась Р. В.*, ORCID iD 0000-0001-8570-6392

Ніжник В. В., ORCID iD 0000-0003-3370-9027

Нікулін О. Ф., ORCID iD 0000-0001-9126-0681

Крикун О. М., ORCID iD 0000-0001-8132-9788

Середа Д. В., ORCID iD 0000-0002-9645-5864

Цимбалістий С. З., ORCID iD. 0000-0002-9187-1674

*E-mail : r.klymas@undicz.dsns.gov.ua

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 09.11.2021

Пройшла рецензування: 06.12.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

трансформаторне обладнання,
трансформаторне масло,
маслоприймач, гравійна засипка,
припинення горіння, охолодження
масла.

АНОТАЦІЯ

У статті наведено результати експериментального дослідження щодо виявлення закономірностей зниження температури та припинення горіння трансформаторного масла від параметрів гравійної засипки маслоприймача трансформаторної підстанції, проведеного за методикою експериментальних досліджень з обґрунтування мінімальних геометричних параметрів гравійної засипки маслоприймача.

У результаті проведеного експерименту отримано залежність зниження температури ($\Delta\theta$) трансформаторного масла від відстані його проходження гравійною засипкою маслоприймача.

Постановка проблеми.

Трансформатори є одними з найбільш пожежонебезпечних видів обладнання на маслonaповнених трансформаторних підстанціях. За аварійних режимів роботи або пошкодження цілісності корпусу вони можуть зумовити пожежу. Як правило, такі пожежі супроводжуються аварійним розливом масла із трансформатора і його загорянням, що у подальшому спричиняє розвиток пожежі та її поширення на суміжні об'єкти і територію підприємства.

Припинення горіння трансформаторного масла та його охолодження до безпечної температури має досягатися застосуванням системи вогнеперешкоджання, що складається з маслоприймача, масловідводів і вогнезагороджувача, в якості якого

використовують маслосбірник із металевою решіткою, поверх якої улаштовано гравійну засипку.

На практиці з метою попередження розвитку таких пожеж застосовують норму *Правил улаштування електроустановок* [1] щодо встановлення маслonaповнених трансформаторів у маслоприймачі, дно якого має бути засипаним чистим гравієм чи промитим гранітним щебенем з частками розміром від 30 мм до 70 мм. Разом із тим унаслідок впливу довкілля гравійна засипка постійно забруднюється, що погіршує її пропускну й охолоджувальну здатність. Зазначене спричиняє її періодичне збирання, промивання, сушку, повторну засипку, що є економічно затратним, трудомістким і складним у реалізації.

Відповідно до *Правил улаштування електроустановок* [1] дозволяється не засипати дно маслоприймачів на всій площі гравієм, але геометричні параметри таких відхилень не зазначені. Це зумовлює необхідність проведення досліджень з наукового обґрунтування оптимальних параметрів гравійної засипки маслоприймачів як складової ефективності системи вогнеперешкоджання маслonaповнених трансформаторних підстанцій в умовах пожежі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З огляду на вивчення вітчизняної нормативної бази єдиним нормативним документом, у якому встановлено вимоги до електроустановок загального призначення змінного струму напругою до 750 кВ та постійного струму напругою до 1,5 кВ, зокрема щодо запобігання розтіканню масла та поширенню пожежі під час пошкодження маслonaповнених силових трансформаторів, є [1]. Згідно з аналізом іноземного досвіду щодо обмеження поширення пожеж під час аварій на маслonaповнених трансформаторних підстанціях [2–7] зарубіжні підходи аналогічні вітчизняним.

За результатами проведеного аналізу вимог вітчизняної та зарубіжної нормативної бази щодо конструктивних параметрів площадок маслоприймачів можна стверджувати, що сучасні підходи до обмеження поширення пожежі під час аварій на маслonaповнених трансформаторних підстанціях недосконалі й економічно затратні для мінімізації наслідків горіння розливів трансформаторного масла [8; 9].

Серед вітчизняних і зарубіжних вчених, роботи яких присвячені цій проблематиці, можна виділити А. Булгакова, Д. Варнакову, А. Душкіна, Д. Зозулю, Б. Кашолкіна, Є. Мешалкіна, Marc Foata, які аналізували проблеми запобігання виникненню пожеж та їх гасіння в електроустановках, зокрема на маслonaповнених трансформаторах. Питанням обмеження поширення пожеж на

суміжні споруди, оцінювання ризиків виникнення пожеж на трансформаторних підстанціях присвячені роботи В. Ніжника, В. Соколова, С. Поздєєва, Л. Філяновича, А. Хісматулліна, В. Черкасова, Heinz-Peter Berg, Nicole Fritze та інших [10]. Однак у цих працях недостатньо досліджені процеси маслотеппередачі для забезпечення ефективного відведення тепла трансформаторного масла, що проходить через вогнезагороджувач під час аварії на трансформаторних підстанціях, і не виявлені закономірності зниження температури масла до нижчої за його температуру спалаху залежно від геометричних параметрів гравійної засипки.

З огляду на викладене проведення досліджень, спрямованих на розкриття закономірностей зниження температури трансформаторного масла та припинення його горіння залежно від параметрів гравійної засипки маслоприймача, є актуальною науковою задачею, розв'язання якої може бути реалізовано шляхом проведення експерименту. Для його проведення було розроблено методику експериментальних досліджень обґрунтування мінімальних геометричних параметрів гравійної засипки у маслоприймачі трансформаторної підстанції [11], що дає змогу дослідити температуру охолодження трансформаторного масла й умови припинення його горіння під час проходження гравійною засипкою в умовах пожежі.

Методи дослідження. Під час вивчення проблематики зазначеного питання використовувався комплексний метод досліджень, що включав: аналізування довідкових даних і нормативних документів, якими регламентовано методи тепломасообміну між речовинами та матеріалами й обмеження поширення пожеж на суміжні споруди; визначення показників пожежної небезпеки трансформаторного масла проводилося за стандартизованими методами згідно із ДСТУ 8829 [12];

оброблення результатів експериментальних досліджень проводилося методами математичної статистики, їх оцінювання – методом аналізування на наявність викидів і квазिवикидів (Граббса) та методом перевірки належності дисперсій до однієї генеральної сукупності (Фішера); експеримент проведено за розробленим методом дослідження з визначення зниження температури масла залежно від параметрів гравійної засипки маслоприймача трансформаторної підстанції.

Мета дослідження полягає в оцінюванні результатів експериментальних досліджень із виявлення закономірностей зниження температури та припинення горіння трансформаторного масла залежно від параметрів гравійної засипки маслоприймача трансформаторної підстанції.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

встановити перелік параметрів, які слід враховувати під час проведення експерименту із виявлення закономірностей зниження температури та припинення горіння трансформаторного масла;

провести експериментальні дослідження зі встановлення закономірностей зниження температури та припинення горіння трансформаторного масла залежно від параметрів гравійної засипки маслоприймача;

оцінити та проаналізувати результати експериментальних досліджень;

виявити залежність зниження температури ($T_{\text{дл}}$) трансформаторного масла від відстані його проходження гравійною засипкою маслоприймача.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Експериментальні дослідження з виявлення закономірностей зниження температури та припинення горіння трансформаторного масла залежно від параметрів гравійної засипки маслоприймача трансформаторної підстанції проводились за методикою [11],

розробленою в межах виконання науково-дослідної роботи [13].

Попередньо, аналізуючи обставини виникнення пожеж на маслонаповнених трансформаторних підстанціях, було визначено, що на обмеження поширення таких пожеж можуть впливати конструктивні параметри та матеріал маслоприймача, матеріал його засипки, а також природні чинники [10]. Досліджуючи взаємозв'язки між зазначеними параметрами та їх значущість до впливу на процес тепломасообміну між маслом та гравійною засипкою, встановлено перелік параметрів, що слід враховувати під час дослідження залежності зниження температури трансформаторного масла від геометричних параметрів гравійної засипки, а саме – висоти гравійної засипки, ширини гравійної засипки, ухилу маслоприймача у бік маслозбірника.

У цьому експерименті імітується аварійна ситуація у трансформаторі за підвищення температури масла до аварійного значення ($T_{\text{самозаймання}} \approx 250^\circ\text{C}$), його розгерметизація з подальшим виливом масла у маслоприймач із подальшим загорянням масла. Під час його проведення використовувалося трансформаторне масло типу Nytro 11GX виробництва шведської компанії Nynas AB, що відповідає міжнародному стандарту ІЕС 60296 [14]. Визначення показників пожежної небезпеки трансформаторного масла за методами згідно з ДСТУ 8829 [12] дало змогу встановити діапазон зниження його температури від аварійного значення до нижчої за $T_{\text{спалаху}}$ у 150°C , що й стало критерієм оцінювання ефективності системи вогнеперешкодження на маслонаповнених трансформаторних підстанціях в умовах пожежі.

Дослідження проводились за таких умов довкілля: атмосферний тиск $101,3\text{ кПа}$; відносна вологість повітря 65% ; температура 30°C .

Дослідний стенд [11] складається з трьох основних блоків, схему якого наведено на рис. 1.

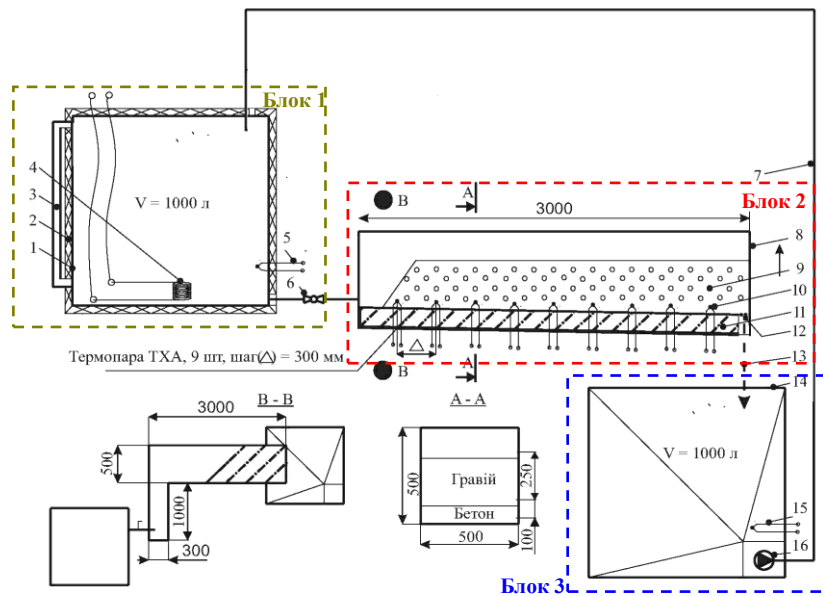


Рисунок 1 – Схема дослідного стенду

1 – корпус ємкості для масла; 2 – теплоізоляція; 3 – кварцова трубка для візуального контролю рівня масла; 4 – ТЕН; 5 – термопара; 6 – шаровий кран; 7 – з'єднувальна арматура; 8 – корпус маслоприймача; 9 – гравійна засипка; 10 – термопари; 11 – бетон; 12 – сітка; 13 – траєкторія зливання масла в аварійну ємність; 14 – корпус аварійної ємкості; 15 – термопара; 16 – шестеренчастий насос

Джерело: [11]

Блок 1, що імітує аварію в маслonaповненому трансформаторі, складається з ємності об'ємом 1000 л, в яку заливалося масло, із отвором, що імітує аварійний вилів масла; ТЕНу для нагрівання масла та термопари контролю температури масла. Розмір аварійного отвору визначався з аналізу статистичних даних про аварії на трансформаторних підстанціях за останні 10 років. Об'єм масла, що заливався у ємність, визначався із розрахунку його вільного витікання через заданий отвір упродовж 15 хв, що складав 900 л.

Блок 2 складається із металевого дека, що імітує маслоприймач із гравійною засипкою, із бетонним дном. Для відтворення найбільш несприятливих умов тепломасообміну бокові стінки корпусу

маслоприймача були теплоізовані шаром мінеральної вати. Для заміру температур у гравійній засипці встановлювалися термопари (ТХА) із кроком 300 мм на відстані 10 мм від дна маслоприймача.

Блок 3 являє собою аварійну ємність для зливання масла.

Принципами проведення експериментальних досліджень визначили таке:

над гравійною засипкою не повинно бути полуменевого горіння парів масла;

температура масла у місці отвору його зливу в аварійну ємність (маслозбірник) не повинна перевищувати 150 °С.

Дослідний стенд під час проведення експерименту зображено на рис. 2.



Рисунок 2 – Зображення дослідного стенду під час проведення експерименту

Джерело: розроблено авторами

Порядок підготовки до проведення експерименту детально описано в роботі [11].

Проведення експерименту здійснювалось у такій послідовності:

за досягнення маслом у ємкості (1), що імітує трансформатор, температури, наближеної до аварійних значень ($\approx 250\text{ }^{\circ}\text{C}$), відкривався шаровий кран (6), за допомогою якого регулювалася така необхідна витрата масла, щоб ємкість була звільнена за 900 с;

паралельно дно маслоприймача (8) підігрівалося горінням бензину А92 в модельному вогнищі класу 25В;

під час потрапляння масла до маслоприймача відбувалось його займання, і в цей момент розпочиналось вимірювання показників температур термопарами (5, 10, 15), що розташовані у маслоприймачі (8), в отворі зливу масла в аварійну ємкість (14) і в корпусі ємкості для масла (1);

за допомогою інформаційно-вимірювальної системи «Термоконт» фіксувалось зниження температури масла під час його проходження гравійною засипкою (9), а наявність полуменевого горіння парів масла над її поверхнею

фіксувалася візуально та засобом фото-, відеофіксації (фотовідеокамера Nikon D3110 18-55VR Kit);

тривав до моменту повного витікання масла із ємкості (1).

Експериментальні дослідження із проходження трансформаторного масла через гравійну засипку маслоприймача у маслозбірник повторювали шість разів, змінюючи ширину гравійної засипки від 300 мм до 2400 мм із кроком у 300 мм. Повторювання експерименту забезпечувалося заповненням першої ємкості трансформаторним маслом шляхом його перекачування з аварійної ємкості (маслозбірника) за допомогою електронасоса, що приводився в дію асинхронним двигуном.

Результати кожного експерименту фіксувалися окремо з визначенням середнього значення.

Результати експериментальних досліджень зі встановлення закономірностей зниження температури трансформаторного масла залежно від відстані його проходження гравійною засипкою маслоприймача наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Виміряні та середні значення температур трансформаторного масла залежно від відстані його проходження гравійною засипкою маслоприймача

№ експер.	Ширина гравійної засипки, мм								
	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
Значення температур трансформаторного масла, °C									
1	262	229	188	169	135	130	127	122	118
2	256	234	193	157	140	134	129	123	119
3	254	236	198	163	139	133	128	122	116
4	267	240	203	172	144	136	130	124	120
5	251	233	196	161	149	138	133	123	119
6	259	242	205	179	152	139	134	125	121
Сер. знач.	258	235	197	167	143	135	130	123	118

Джерело: узагальнено авторами



Рисунок 3 – Візуалізація горіння трансформаторного масла у разі його проходження гравійною засипкою маслоприймача під час проведення експерименту на дослідному стенді:

- а) горіння масла не припиняється ($d_{r3} \leq 1200$ мм);
- б) горіння масла припиняється ($d_{r3} \approx 1500$ мм)

Джерело: розроблено авторами

Полуменеве горіння парів масла над гравійною засипкою спостерігалось за її ширини менше ніж 1200 мм. У разі ширини гравійної засипки 1500 мм горіння парів масла над її поверхнею припинялося.

Ефективність охолодження та припинення горіння трансформаторного масла залежно від відстані проходження гравійною засипкою маслоприймача зображено на рис. 3. На основі отриманих експериментальних даних, наведених у табл. 1, побудовано графік залежності зниження температури трансформаторного масла від відстані його проходження гравійною засипкою маслоприймача та їх середні значення (рис. 4) [15].

Під час проведення експериментів діапазон коливання температур складав не більше 10 °C. Температура масла на вході до гравійної засипки перевищувала значення у 250 °C та знижувалася до 116°C

на виході з гравійної засипки (в місці зливу в аварійну ємкість).

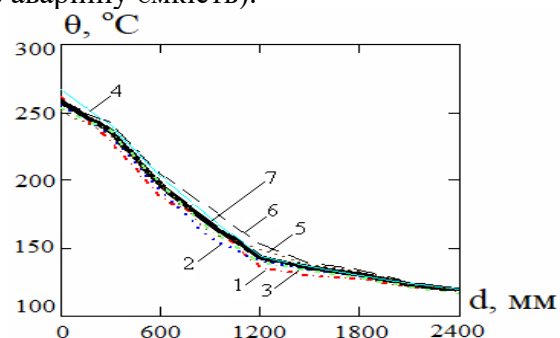


Рисунок 4 – Графік залежності зниження температури трансформаторного масла від відстані проходження гравійною засипкою:

- 1 – крива проведення першого експерименту;
- 2 – крива проведення другого експерименту;
- 3 – крива проведення третього експерименту;
- 4 – крива проведення четвертого експерименту;
- 5 – крива проведення п'ятого експерименту;
- 6 – крива проведення шостого експерименту;
- 7 – усереднена крива всіх шести експериментів

Джерело: розроблено авторами

Обробку результатів експериментальних досліджень проводили методами математичної статистики в два етапи. На першому етапі проводилася перевірка результатів експериментальних досліджень на наявність викидів і квазिवикидів. На другому етапі проводилося порівняння результатів експериментальних досліджень для виявлення розбіжностей між дисперсіями.

Для виявлення у результатах експериментальних досліджень викидів та квазिवикидів застосували критерій Граббса (1):

$$G_{\max} = \frac{y_{\max} - \bar{y}}{S} \quad \text{та} \quad G_{\min} = \frac{\bar{y} - y_{\min}}{S} \quad (1)$$

де: $\bar{y}$ – середнє значення;

S – середньо квадратичне відхилення.

У нашому випадку критичні значення (для $n=6$ експериментів) для критерію Граббса складають: для 5 % – 1,973 та для 1 % – 1,887 відповідно.

Отримані розрахункові значення $G_{\max}$ та $G_{\min}$ для всіх випадків залежно від відстані проходження трансформаторного масла гравійною засипкою є меншими за критичні. Тобто результати експериментальних досліджень не містять викидів та квазिवикидів за критерієм Граббса.

Для комплексного оцінювання результатів шести експериментів застосували критерій Фішера (2), порівнявши при цьому отриману оцінку дисперсії для першого та наступних експериментів (1 та 2; 1 та 3; 1 та 4; 1 та 5; 1 та 6):

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (2)$$

де: S_1^2, S_2^2 – оцінка дисперсій для значень, отриманих під час експериментів.

Дисперсії відхилень за середнім значенням температур трансформаторного масла залежно від відстані його

проходження гравійною засипкою маслоприймача наведено на рис. 5.

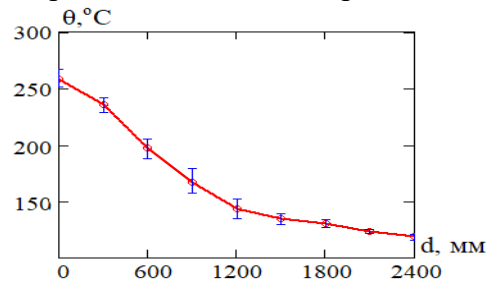


Рисунок 5 – Дисперсії відхилень за середнім значенням температур трансформаторного масла від відстані проходження гравійною засипкою

Джерело: розроблено авторами

У разі одержання розрахункових значень, що є меншими від критичних за критерієм Фішера, слід вважати, що отримані результати експериментальних досліджень належать до однієї генеральної сукупності та суттєво не відрізняються між собою.

Критичним значенням для критерію Фішера для кількості ступенів $k_1=8$ та $k_2=8$ є значення 3,44. Отримані розрахункові значення за критерієм Фішера менші за критичні. Тобто результати експериментальних досліджень належать до однієї генеральної сукупності та суттєво не відрізняються між собою.

Таким чином, за результатами експериментальних досліджень встановлено, що залежність зниження температури ($\Delta\theta$) трансформаторного масла залежно від відстані від входу у гравійну засипку маслоприймача до маслозбірника має вигляд рівняння (3):

$$\Delta\theta = 263,16 - 39,1d + 2,7d^2 - 0,005d^3 \quad (3)$$

На основі результатів експериментальних досліджень і даних математичного моделювання [10] побудовано залежність зниження температури трансформаторного масла від відстані проходження через гравійну засипку (від точки входу масла в гравійну засипку до точки виходу в місці зливу в аварійну ємність), наведену на рис. 6.

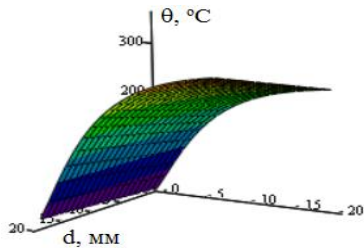


Рисунок 6 – Залежність зниження температури трансформаторного масла на основі усереднених даних математичного моделювання й експериментальних досліджень
Джерело: розроблено авторами

Таким чином, експериментально підтверджено дані, отримані за результатами математичного моделювання [10], стосовно того, що зниження температури масла від 250 °C до 150 °C забезпечують мінімальні розміри гравійної засипки шириною 1500 мм і висотою 250 мм.

Висновки та напрями подальших досліджень. У результаті проведених експериментальних досліджень з виявлення закономірностей зниження температури та припинення горіння трансформаторного масла залежно від параметрів гравійної засипки маслоприймача трансформаторної підстанції встановлено, що залежність зниження температури масла від відстані від входу у гравійну засипку маслоприймача до маслосбірника має

вигляд рівняння: $Du=263,16-39,1d+2,7d^2-0,005d^3$.

Відхилення кожного результату експерименту не перевищувало 5 °C, що у відносних значеннях становить близько 2,5 %, а критерій Фішера не перевищив значення одиниці, що вказує на те, що отримані результати в кожному експериментальному дослідженні є вибірками однієї генеральної сукупності, та підтверджує загальну збіжність кожного окремого експериментального дослідження.

З урахуванням даних попередньо проведеного математичного моделювання експериментально підтверджено та вперше встановлено, що зниження температури трансформаторного масла від 250 °C до 150 °C забезпечують мінімальні розміри гравійної засипки шириною 1500 мм і висотою 250 мм.

У подальшому для остаточного обґрунтування параметрів гравійної засипки системи вогнеперешкодження трансформаторної підстанції, що забезпечують припинення горіння трансформаторного масла та його охолодження до безпечної температури, необхідно провести експериментальні дослідження з визначення ефективного ухилу маслоприймача у бік маслосбірника

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Правила улаштування електроустановок. Київ : Міненергослужби України, 2017. 617 с.
- Правила устройства электроустановок. Астана : Министерство энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2015. 391 с.
- Правила устройства электроустановок. М. : Министерство энергетики Российской Федерации, 2003. 499 с.
- ТКП 339-2011 (02230). Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний. Минск : Министерство энергетики Республики Беларусь. 2011. 600 с.
- Transformer Fire Protection. Facilities Instructions, Standards and Techniques. Vol. 3–32. U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation Denver, Colorado, January 2005. 43 p.
- Construction of 33/11kv substations. Section (1). Technical specifications. The Republic of Iraq Ministry of electricity (MoE) energy distribution office, March 2012. 222 p.
- Guide for Transformer Fire Safety Practices. Working Group A2.33. Cigre, Paris, France, June 2013. 139 p.
- Некора В. С., Стилик І. Г., Ніжник В. В. Аналіз нормативних підходів щодо обмеження поширення пожежі під час аварій на маслоснаповнених трансформаторних підстанціях. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності* : зб. наук. праць XVI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів. Львів : ЛДУ БЖД, 2021. С. 84–85.
- Климась Р. В., Ніжник В. В. Дослідження існуючих підходів до обмеження поширення пожеж на трансформаторних підстанціях. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист* : матеріали XI Всеукр. наук.-практ. конф. з міжнар. участю. Черкаси : ЧНПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021. С. 31–33.

10. Justification of minimum parameters of gravel backfill of the oil receiver of the transformer substation / R. Klymas, V. Nizhnyk, O. Nekora, V. Nekora, I. Stylyk. *The Scientific heritage*. Budapest, Hungary. Vol. 3. № 79(79). 2021. P. 36–44.
11. Методика експериментальних досліджень обґрунтування мінімальних геометричних параметрів гравійної засипки у маслоприймачі трансформаторної підстанції / Р. Климась, та ін. *Науково-технічний збірник : Комунальне господарство міст. Серія : технічні науки та архітектура*. Харків. Т. 4. Вип. 164. 2021. С. 158–165.
12. ДСТУ 8829:2019. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. [Чинний від 2020-01-01]. Київ : УкрНДНЦ, 2020. 78 с.
13. Обґрунтувати мінімальні геометричні параметри (висота та периметр) засипки гравію у маслоприймачі над маслоприймальним каналом, яка повинна виконувати функцію вогнезагороджувача та охолодження мастила до температури спалаху 150 градусів Цельсія в рамках розробки робочої документації по об'єкту «Реконструкція ПС 330 кВ Броварська з установкою АТ-3» / ДСНС України, ІДУ НД ЦЗ; керівник : В. В. Ніжний. Київ, 2021. 129 с. ДР 0121U100682. Інв. № 0113U004330.
14. IEC 60296:2003. Fluids for electrotechnical applications – Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear. [International Standard]. URL : <https://webstore.iec.ch/publication/14600> (last accessed : 01.10.2021).
15. Макаров Е. Г. Инженерные расчеты в Mathcad 15 : уч. курс. СПб : БГТУ Военмех, 2011. 345 с.

REFERENCES

1. Pravyla ulashtuvannya elektroustanovok [Rules for Arrangement of Electrical Installations] (2017). Kyiv: Minenergovugillya of Ukraine [in Ukrainian].
2. Pravila ustroystva elektroustanovok [Rules for Arrangement of Electrical Installations] (2015). Astana: Ministry of Energy and Mineral Resources of the Republic of Kazakhstan [in Russian].
3. Pravila ustroystva elektroustanovok [Rules for Arrangement of Electrical Installations] (2003). Moscow: Ministry of Energy of the Russian Federation [in Russian].
4. TSP 339-2011 (02230). Elektroustanovki na napryazheniye do 750 kV. Linii elektroperedachi vozduzhnyye i tokoprovody, ustroystva raspredelitel'nyye i transformatornyye podstantsii, ustanovki elektrosilovyye i akkumulyatornyye, elektroustanovki zhilykh i obshchestvennykh zdaniy. Pravila ustroystva i zashchitnyye mery elektrobezopasnosti. Uchet elektroenergii. Normy priyemo-sdatochnykh ispytaniy [Electrical installations for voltages up to 750 kV. Overhead power lines and conductors, distribution devices and transformer substations, power and battery installations, electrical installations of residential and public buildings. Rules for arrangement and protective measures for electrical safety. Electricity metering. Acceptance test standards] (2011). Minsk: Ministry of Energy of the Republic of Belarus [in Russian].
5. Transformer Fire Protection. Facilities Instructions, Standards and Techniques. Volume 3-32. (2005). U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation Denver, Colorado [in English].
6. Construction of 33/11kv substations. Section (1). Technical specifications (2012). The Republic of Iraq Ministry of electricity (MoE) energy distribution office [in English].
7. Guide for Transformer Fire Safety Practices (2013). Working Group A2.33. Cigre, Paris, France [in English].
8. Nekora, V. S., Stylyk, I. G., & Nizhnyk, V. V. (2021). Analiz normatyvnykh pidkhodiv shchodo obmezheniya poshyrennia pozhzhi pid chas avarii na maslonapovnenykh transformatornykh pidstantsiakh [Analysis of normative approaches to limit the spread of fire during accidents at oil-filled transformer substations]. *Problemy ta perspektyvy rozvytku systemy bezpeky zhyttiedialnosti: Zb. nauk. prats XVI Mizhnar. nauk.-prakt. konf. molodykh vchenykh, kursantiv ta studentiv [Problems and prospects for the development of life safety system: Coll. Science. works of the XVI International. scientific-practical conf. young scientists, cadets and students]*. Lviv: LSU of LS [in Ukrainian].
9. Klymas, R. V., & Nizhnyk, V. V. (2021). Doslidzhennia isnuuyuchykh pidkhodiv do obmezheniya poshyrennia pozhzhi na transformatornykh pidstantsiakh [Research of existing approaches to limiting the spread of fires at transformer substations]. *Nadzvychni situatsii: bezpeka ta zakhyst: Materialy XI Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu [Emergencies: Security and Protection: Proceedings of the XI All-Ukrainian Scientific and Practical Conference with International Participation]*. Cherkasy: ChI of FS n.a Chornobyl Heroes of NUCDU [in Ukrainian].
10. Klymas, R. V., Nizhnyk, V. V., Nekora, O. V., Nekora, V. S., & Stylyk, I. G. (2021) Justification of minimum parameters of gravel backfill of the oil receiver of the transformer substation. *The Scientific heritage*. Budapest, Hungary [in English].
11. Klymas, R. V., Nizhnyk, V. V., Ballo, Ya. V., Khromenkov, D. G., Gulyk, Yu. B., & Ilchenko, N. M. (2021). Metodyka eksperymentalnykh doslidzhen obgruntuvannya minimalnykh heometrychnykh parametriv hraviinoi zasypky u masloprymachi transformatornoi pidstantsii [Methods of experimental research justification of minimum geometric parameters of gravel backfill in the oil receiver of the transformer substation]. *Naukovo-tehnichniy zbirnyk: Komunalne hospodarstvo mist. Seriya: tekhnichni nauky ta arkhitektura [Scientific and technical collection: Municipal services of cities. Series: technical sciences and architecture]*. Kharkiv [in Ukrainian].
12. DSTU 8829:2019. Pozhezhovibukhonebezpechnist rehovyn i materialiv. Nomenklatura pokaznykiv i metody yikhnoho vyznachennia. Klyasyfikatsiia [Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods of their definition. Classification]. Valid from 2020-01-01. (2020). Kyiv: SE «UkrNDNC» [in Ukrainian].
13. Obgruntuvaty minimalni heometrychni parametry (vysota ta perymetr) zasypky hraviu u masloprymachi nad masloprymalnym kanalom, yaka povynna vykonuvaty funktsiiu vohnezahorodzhuvacha ta okholodzhennia mastyla do temperatury spalakhу 150 hradusiv Tselzsiia v ramkakh rozrobky robochoi dokumentatsii po obiekту «Rekonstruktsiia PS 330 kV Brovarska z ustanovkoiu AT-3» [Justify the minimum geometric parameters (height and perimeter) of gravel backfill in the oil sump above the oil intake channel, which should act as a fire barrier and oil cooling to a flash point of 150 degrees Celsius in the development of working documentation for the object «Reconstruction of 330 kV Brovarska 3»] (2021) / SES of Ukrain IPARP [in Ukrainian].
14. IEC 60296:2003 Fluids for electrotechnical applications – Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear (2003).
15. Makarov, Ye.G. (2011) Inzhenernyye raschety v Mathcad 15: Uchebnyy kurs [Engineering Calculations in Mathcad 15: Tutorial]. Sankt-Peterburg: BGТУ [in Russian].

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF ESTABLISHMENT
OF THE REGULARITY OF TEMPERATURE REDUCTION AND STOPPING
OF THE COMBUSTION OF TRANSFORMER OIL DEPENDING
ON THE PARAMETERS OF GRAVEL BACKFILL OF THE OIL RECEIVER**

R. Klymas, .V. Nizhnyk, O. Nikulin, O. Krykun, D. Sereda, S. Tsymbalistiy

Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine

KEYWORDS

transformer
equipment,
transformer oil, oil
receiver, gravel
backfill, cessation
of combustion, oil
cooling.

ANNOTATION

In case of emergency operation or damage to the integrity of the transformer housing, they may cause a fire. Fire statistics show that 50 % of fires in the energy sector are transformer equipment; as a rule, such fires are accompanied by emergency oil spill from the transformer and its ignition. Existing approaches to limiting the spread of fire during accidents at oil-filled transformer substations are insufficient and cost-effective to minimize the consequences of spillage of burning transformer oil. At the same time, a number of design parameters were identified that negatively affect the effectiveness of fire control. In particular, the rules for the arrangement of electrical installations provide for the provision of electrical substations with oil receivers, which are covered with gravel, which is constantly polluted due to environmental influences, which impairs its capacity and cooling capacity. Structural and geometrical parameters of oil receivers with oil drainage by oil drains, determined by the rules of arrangement of electrical installations, can be the subject of scientific research to improve them. The article presents the results of an experimental study to identify patterns of reduction of the combustion temperature of transformer oil to a temperature below the flash point of the oil depending on the geometric parameters of the gravel backfill of the oil pan during draining the oil into the emergency tank. The essence of the method of experimental research is to identify patterns of reduction of the combustion temperature of transformer oil to a temperature below the flash point depending on the geometric parameters of the gravel backfill when draining the oil into the emergency tank (oil tank).

УДК 614.841:536.46

ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ І ЗОВНІШНІХ ЧИННИКІВ НА ТЕМПЕРАТУРУ ЗАЙМАННЯ ТА ЧАС ЗГОРЯННЯ ЧАСТИНОК МАГНІЮ ТА АЛЮМІНІЮ В ПРОДУКТАХ РОЗКЛАДАННЯ ОКСИДІВ МЕТАЛІВ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.2.111-121>

Кириченко Є. П., ORCID iD 0000-0001-7638-0722

Гвоздь В. М., ORCID iD 0000-0003-2277-7972

Ващенко В. М., ORCID iD 0000-0003-0722-9353

Кириченко О. В., ORCID iD 0000-0002-0240-1807

Дядюшенко О. О.*, ORCID iD 0000-0003-0797-2251

Мельник В. П., ORCID iD 0000-0002-2354-9106

*E-mail : diadiushenko_oleksandr@chipb.org.in

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 30.11.2021

Пройшла рецензування: 06.12.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

піротехнічні металовмісні суміші,
пожежна безпека, процеси
займання та горіння частинок
металу.

АНОТАЦІЯ

Проведено експериментальні дослідження й розроблено експериментально-статистичні моделі комплексного впливу на температуру займання і час горіння частинок магнію та алюмінію у продуктах розкладання оксидів металів таких параметрів: дисперсності металевих пального, відносного вмісту кисню, зовнішнього тиску.

Постановка проблеми. Нині піротехнічні суміші металевих пального (магнію, алюмінію та інших) з оксидами металів (CuO , Cu_2O , Sb_2O_3 , NiO тощо) мають широке застосування у різноманітних галузях господарської діяльності та військово-промислового комплексу (спалахувальні суміші для сигнальних, освітлювальних і трасувальних засобів, піротехнічні випробування ІЧ-техніки, елементи ракетно-комічної техніки тощо) [1–7]. За умов вимушеного зовнішнього нагріву (наприклад, під час пожеж у будівлях та приміщеннях складського господарства, де зберігаються вироби, що оснащені зарядами з наведеними вище сумішами, за умов логістичного перенаправлення під час інтенсивного конвективного нагріву їх поверхонь, або за інтенсивним тепловим впливом на металеві корпуси виробів у разі польоту та пострілу) можливі спалахи піротехнічних сумішей зі стрімким прискоренням подальшого процесу їх спалахування та згорання,

знищенням виробів з утворенням високотемпературних продуктів горіння, котрі поширюються зі значними швидкостями у різні боки, що є пожежобезпечними для навколишніх об'єктів інфраструктури (навколишніх споруд, паливно-мастильних матеріалів, пускових установок з обслуговуючим персоналом тощо) [8–15].

Отже, для попередження можливих пожежовибухонебезпечних руйнувань виробів у вказаних умовах необхідно насамперед володіти інформацією про закономірності процесу спалахування та горіння частинок металевих пального у газоподібних продуктах термічного розкладання окиснювачів, який передують процесу спалахування суміші.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні достатньо повно проведено дослідження з визначення температури займання та часу горіння частинок металів (Mg , Al , алюмінієво-магнієвих сплавів, Ti , Zr та інших) у

газоподібних продуктах розкладання нітратовмісних окиснювачів (кисню, сумішах кисню з азотом, повітрі тощо) [16–24]. Було встановлено вплив природи окиснювача та металевго пального [16; 18; 21; 23], а також дисперсності компонентів та зовнішніх умов (підвищених температур нагріву та зовнішніх тисків, складу навколишнього середовища) [17; 19; 20; 22–24] на вказані характеристики займання та горіння частинок металевго пального.

Аналогічних досліджень для сумішей з порошків металевго пального та оксидів металів немає.

Методи досліджень. У науковій публікації були використані сучасні методи фізико-хімічного аналізу (кінозйомки та мікрокінозйомки, рентгеноструйного аналізу, безконтактні і контактні методи виміру температури), методи нелінійної теплопровідності та термостійкості, а також математичного й експериментально-статистичного моделювання. Розрахунки за моделями проведені у режимі реального часу та діалогу на засобах комп'ютерної техніки, що задовольняють сучасні вимоги щодо використання спеціального програмного забезпечення.

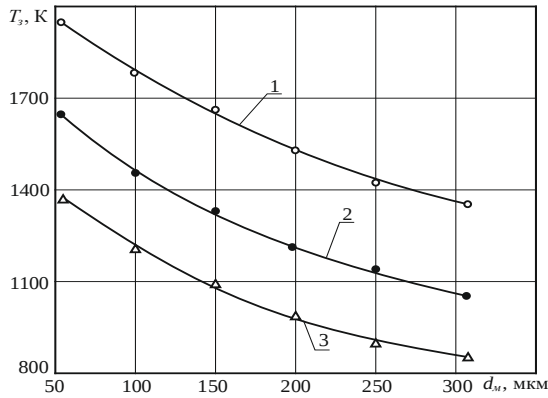
Мета статті. Метою цієї роботи є встановлення закономірностей впливу технологічних параметрів і зовнішніх умов на температуру займання й час згорання частинок магнію та алюмінію у газоподібних продуктах розкладання оксидів металів в умовах зовнішніх термічних дій.

Виклад основного матеріалу. Усі дослідження проводились на порошках металевго пального та оксидів металів, що випускаються піротехнічною промисловістю [2; 4; 6]. Для визначення температури займання T_z та часу горіння τ_z частинок металу у продуктах розкладання окиснювачів використовувалось стандартне піротехнічне обладнання, що моделює

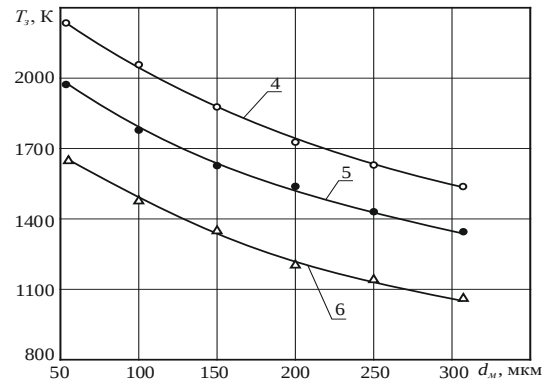
вплив підвищених температур нагріву (до 1900...2100 К) та зовнішніх тисків (до $10^7 \dots 3 \cdot 10^7$ Па) навколишнього середовища [4; 6]. Водночас відносна похибка вимірювання параметрів T_z та τ_z не перевищувала 7...9 %.

У результаті проведених досліджень було встановлено, що за температур, властивих конденсованій фазі піротехнічних сумішей в умовах їх загорання та розвитку горіння, основним активним газоподібним продуктом термічного розкладання сумішей металів є O_2 . Отже, нижче розглядаються результати досліджень процесів займання та горіння частинок магнію та алюмінію у разі підвищених температур нагріву й зовнішніх тисків у вказаних газоподібних продуктах, зокрема повітрі, основою яких є суміш газів $O_2 + N_2$.

Температура займання частинок магнію та алюмінію у газоподібних продуктах термічного розкладання окиснювача. Результати досліджень, що підтверджені експериментально, з визначення закономірностей впливу на температуру займання частинок металів ключових параметрів, таких як їх розмір, відносний масовий вміст кисню у потоці газоподібних продуктів розкладання окиснювача, а також тиск навколишнього середовища, що описують здатність їх до прискорення процесу спалахування й розвитку горіння в умовах збільшених температур нагріву і зовнішнього тиску, наведено на рис. 1, 2. З огляду на аналіз одержаних результатів з'ясовано, що у разі збільшення середнього розміру частинок порошку металу d_m від 34 мкм до 310 мкм для діапазонів зміни відносної масової концентрації $O_2CO_2 = 0,2 \dots 0,8$ та зовнішнього тиску $P = 10^5 \dots 3 \cdot 10^7$ Па температура займання частинок T_z зменшується у 1,3...1,8 раза. Водночас збільшення від 0,2 до 0,8 призводить до зниження T_z у 1,3...1,5 раза, а підвищення P від 10^5 Па до $3 \cdot 10^7$ Па призводить до зменшення T_z у 1,4...1,7 раза.



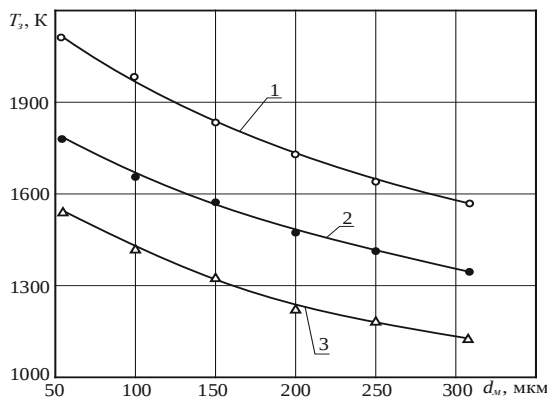
а)



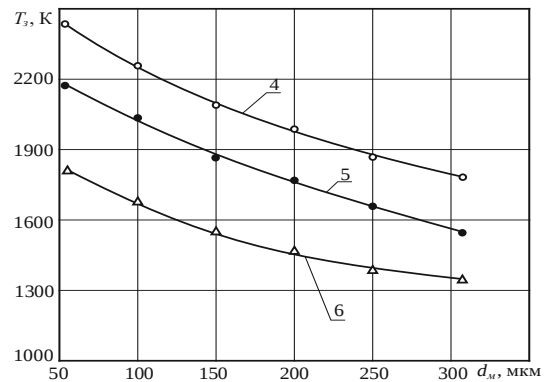
б)

Рисунок 1 – Вплив відносної концентрації кисню: а) $P = 10^5$ Па та зовнішнього тиску б) $C_{O_2} = 0,4$ на залежність температури займання частинки магнію у продуктах розкладання окиснювача від її розміру: 1 – $C_{O_2} = 0,1$; 2 – $C_{O_2} = 0,4$; 3 – $C_{O_2} = 0,8$; 4 – $P = 3 \cdot 10^7$ Па; 5 – $P = 10^6$ Па; 6 – $P = 10^5$ Па; $\circ$, $\bullet$, Δ – експериментальні дані

Джерело: розроблено (узагальнено авторами)



а)



б)

Рисунок 2 – Вплив відносної концентрації кисню: а) $P = 10^5$ Па та зовнішнього тиску б) $C_{O_2} = 0,4$ на залежність температури займання частинки алюмінію у продуктах розкладання окиснювача від її розміру: 1 – $C_{O_2} = 0,1$; 2 – $C_{O_2} = 0,4$; 3 – $C_{O_2} = 0,8$; 4 – $P = 3 \cdot 10^7$ Па; 5 – $P = 10^6$ Па; 6 – $P = 10^5$ Па; $\circ$, $\bullet$, Δ – експериментальні дані

Джерело: розроблено (узагальнено авторами)

Час згоряння частинок магнію та алюмінію у газоподібних продуктах термічного розкладання окиснювача. Результати проведених експериментальних досліджень з визначення закономірностей впливу на час згоряння (τ_z , с) частинок

металів у потоці газоподібних продуктів розкладання окиснювача їх розміру (d_m , мкм), відносної масової концентрації кисню (C_{O_2}) та зовнішнього тиску (P , Па) наведено на рис. 3, 4.

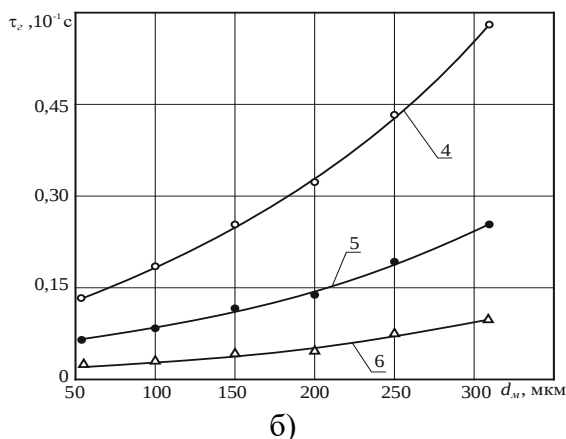
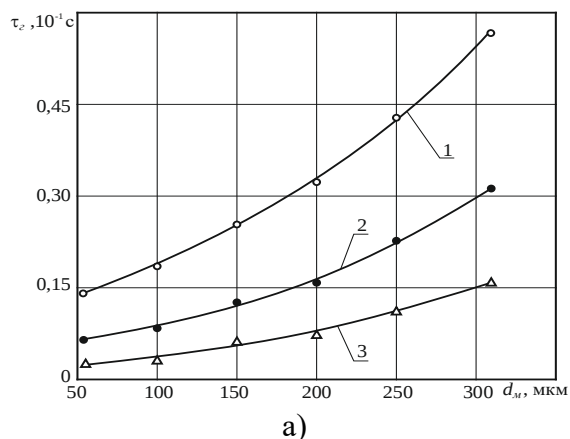


Рисунок 3 – Вплив відносної концентрації кисню: а) $P = 10^5$ Па та зовнішнього тиску б) $C_{O_2} = 0,4$ на залежність часу згоряння частинки магнію у продуктах розкладання окиснювача від її розміру: 1 – $C_{O_2} = 0,1$; 2 – $C_{O_2} = 0,4$; 3 – $C_{O_2} = 0,8$; 4 – $P = 10^5$ Па; 5 – $P = 10^6$ Па; 6 – $P = 3 \cdot 10^7$ Па; $\circ$, $\bullet$, Δ – експериментальні дані

Джерело: розроблено (узагальнено авторами)

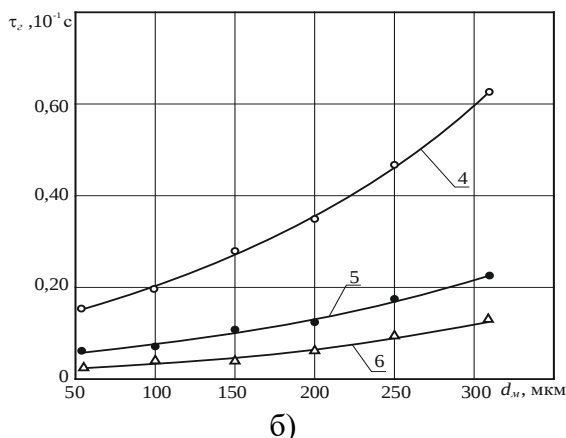
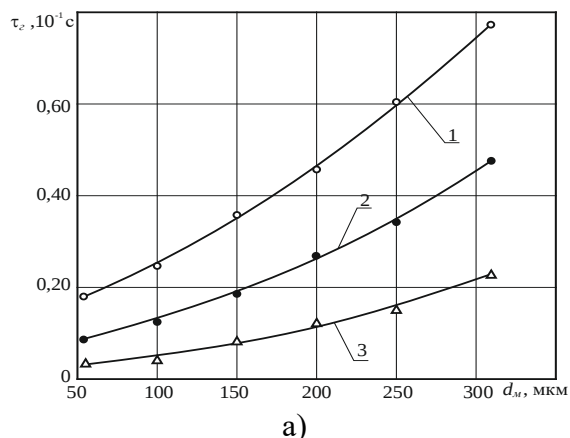


Рисунок 4 – Вплив відносної концентрації кисню: а) $P = 10^5$ Па та зовнішнього тиску б) $C_{O_2} = 0,4$ на залежність часу згоряння частинки алюмінію у продуктах розкладання окиснювача від її розміру: 1 – $C_{O_2} = 0,1$; 2 – $C_{O_2} = 0,4$; 3 – $C_{O_2} = 0,8$; 4 – $P = 10^5$ Па; 5 – $P = 10^6$ Па; 6 – $P = 3 \cdot 10^7$ Па; $\circ$, $\bullet$, Δ – експериментальні дані

Джерело: розроблено (узагальнено авторами)

Згідно з аналізом отриманих даних, наведених на рис. 3, 4, показано, що зміна зазначених параметрів достатньо вагомо впливає на характер поведінки часу горіння частинок металевго пального: збільшення d_m призводить до помітного зростання τ_2 (у 2...4 рази), а збільшення V та P – до зменшення τ_2 у 2...2,5 рази (для C_{O_2}), у 1,8...3,7 рази (для V) та у 1,6...3,5 рази (для P).

Експериментально-статистичні моделі для визначення діапазонів зміни температури займання та часу горіння частинок магнію та алюмінію у газоподібних продуктах розкладання оксидів металів. Для практичного

використання отриманих вище результатів щодо займання та горіння розглядуваних сумішей необхідно створити базу даних, зручну для оцінок пожежонебезпечних властивостей піротехнічних виробів на їх основі в умовах зовнішніх термічних дій, основними параметрами яких є підвищені температури нагріву та зовнішній тиск. Водночас пожежонебезпечні режими горіння сумішей характеризуються передчасним займанням та вибухонебезпечним згорянням частинок порошків магнію та алюмінію у продуктах розкладання оксидів металів, що призводить до вибухового нагрівання зарядів сумішей та викиду у різні боки

продуктів згоряння із залишками оболонок та окремих частинок зарядів, що продовжують горіти. З метою одержання відповідного датасету необхідно систематизувати дані щодо займання та горіння сумішей, які розглядаються (і пріоритетно за температурою займання та часом спалахування частинок металевго пального) у вигляді нескладних експериментально-статистичних моделей, прикладних для практичних оцінок.

Для вирішення поставленого завдання були використані поширені методи експериментально-статистичного моделювання [2; 5; 6] та стандартне програмне забезпечення у вигляді пакетів

прикладних програм за сучасними чисельними методами [4; 6], які дають змогу в діалоговому режимі за отриманими моделями розраховувати діапазони зміни температури займання та часу згоряння частинок магнію та алюмінію, швидкості горіння сумішей, які розглядаються, що характеризують їх потенціал до прискорення процесу горіння в умовах підвищених температур нагріву та зовнішніх тисків.

За отриманими даними були розроблені нові експериментально-статистичні моделі (відносна похибка 5...7 %):

$$T_3(d_m, C_{O_2}, P) = A_0 + A_1 \cdot C_{O_2} + A_2 \cdot C_{O_2}^2 + A_3 \cdot d_m + A_4 \cdot d_m^2 + A_5 \cdot P + A_6 \cdot P^2 + A_7 \cdot C_{O_2} \cdot d_m \quad (1)$$

$$\tau_2(d_m, C_{O_2}, P) = B_0 + B_1 \cdot C_{O_2} + B_2 \cdot C_{O_2}^2 + B_3 \cdot d_m + B_4 \cdot d_m^2 + B_5 \cdot P + B_6 \cdot P^2 + B_7 \cdot C_{O_2} \cdot d_m \quad (2)$$

де A_i, B_i ($i=0,7$) – емпіричні коефіцієнти, що залежать від природи металевго пального та окиснювача (табл. 1, 2). Діапазони зміни змінних у формулах (1), (2): $C_{O_2} = 0,1...0,8$; $P = 10^5...3 \cdot 10^7$ Па; $d_m = 35,8...385$ мкм (для Mg); $d_m = 54...310$ мкм (для Al).

Таблиця 1 – Значення коефіцієнтів у формулах (1), (2) для сумішей Mg + оксиди металів

A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
1473	-113,4	-17,2	-0,07	$-0,93 \cdot 10^{-6}$	$-0,97 \cdot 10^{-4}$	$-0,38 \cdot 10^{-11}$	$-0,85 \cdot 10^{-3}$
B_0	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7
0,78	0,01	0,025	$1,67 \cdot 10^{-2}$	-1,28	-0,65	0,15	$0,31 \cdot 10^{-3}$

Джерело: розроблено (узагальнено авторами)

Таблиця 2 – Значення коефіцієнтів у формулах (1), (2) для сумішей Al + оксиди металів

A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
1534	-87,3	-15,4	-0,05	$-0,65 \cdot 10^{-6}$	$-0,71 \cdot 10^{-4}$	$-0,23 \cdot 10^{-11}$	$-0,63 \cdot 10^{-3}$
B_0	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7
0,87	0,18	0,038	$1,81 \cdot 10^{-2}$	-1,62	-0,84	0,27	$0,43 \cdot 10^{-3}$

Джерело: розроблено (узагальнено авторами)

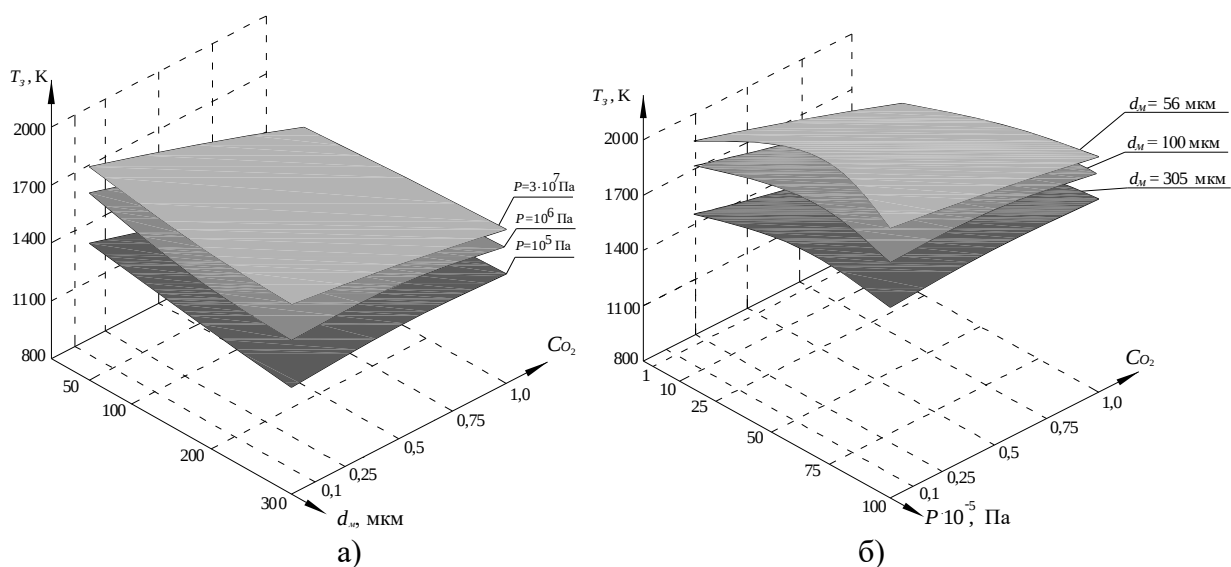


Рисунок 5 – Тримірне зображення залежностей температури займання частинки магнію у продуктах розкладання окиснювача: а) від CO_2 та d_M ; б) від CO_2 та P

Джерело: розроблено (узагальнено авторами)

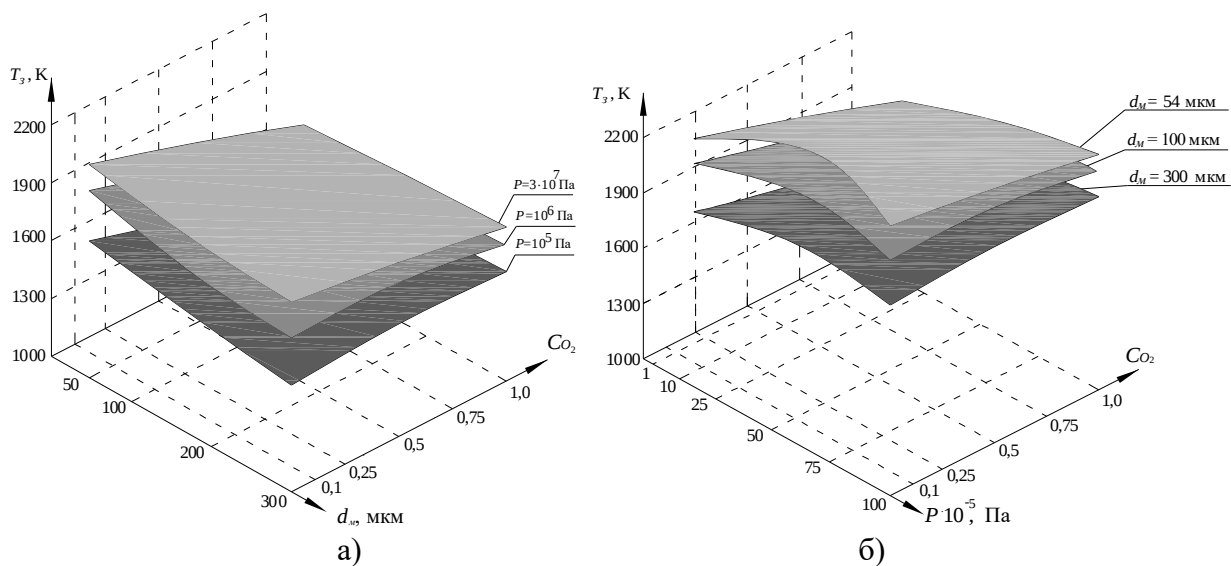


Рисунок 6 – Тримірне зображення залежностей температури займання частинки алюмінію у продуктах розкладання окиснювача: а) від CO_2 та d_M ; б) від CO_2 та P

Джерело: розроблено (узагальнено авторами)

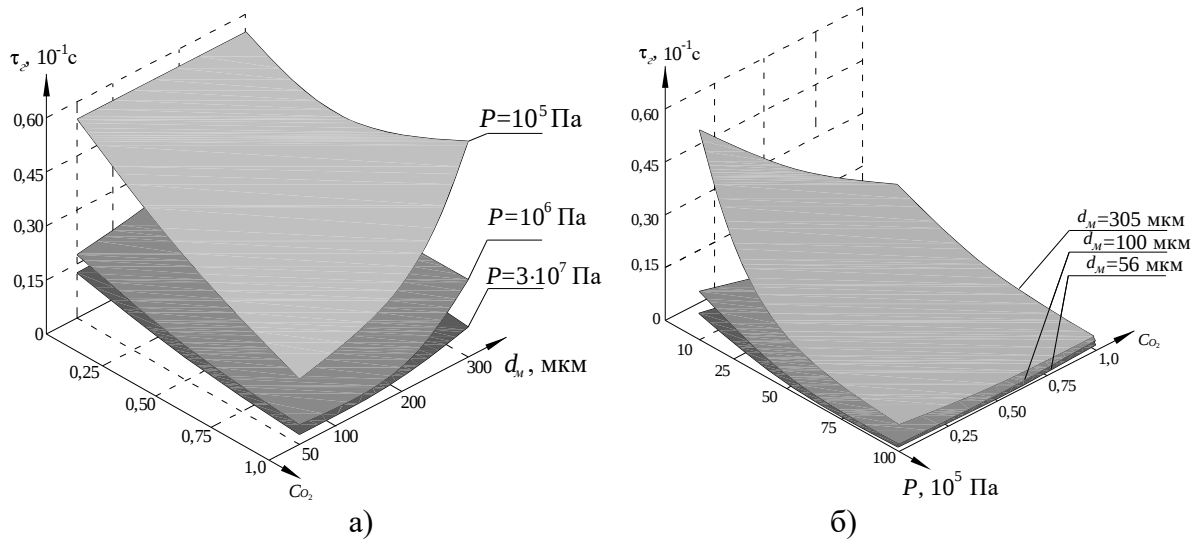


Рисунок 7 – Тривимірне зображення залежностей часу згоряння частинки магнію у продуктах розкладання окиснювача: а) від d_m та C_{O_2} ; б) від C_{O_2} та P

Джерело: розроблено (узагальнено авторами)

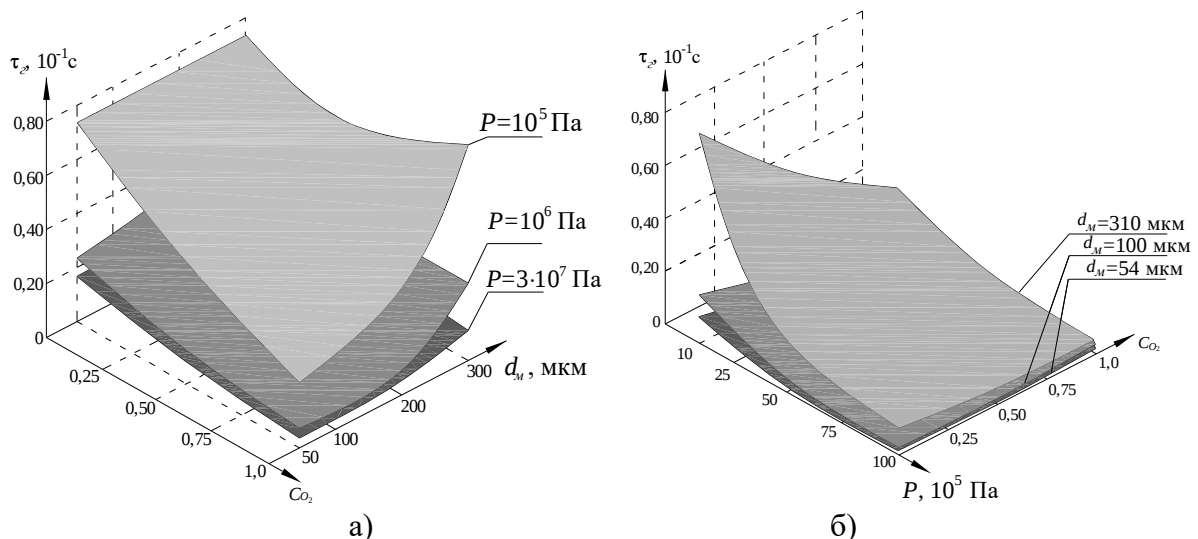


Рисунок 8 – Тривимірне зображення залежностей часу згоряння частинки алюмінію у продуктах розкладання окиснювача: а) від d_m та C_{O_2} ; б) від C_{O_2} та P

Джерело: розроблено (узагальнено авторами)

Отримані експериментально-статистичні моделі (1), (2) надають можливість за допомогою стандартного програмного забезпечення в діалоговому режимі формувати керовану базу даних за температурами займання та часом згоряння частинок порошків магнію та алюмінію в газоподібних продуктах розкладання оксидів металів в умовах зовнішнього нагріву (рис. 5–8). Зазначений датасет може бути взятий за основу більш загальної керованої бази теоретико-

експериментальних даних з визначення пожежонебезпечних властивостей піротехнічних виробів на основі сумішей, які розглядаються, в умовах зовнішніх термічних дій.

Висновки та напрями подальших досліджень. Встановлено нові закономірності комплексного впливу:

на температуру займання частинок магнію та алюмінію у продуктах розкладання оксидів металів таких параметрів: збільшення розміру частинок

від $d_m = 54$ мкм до $d_m = 310$ мкм, відносного вмісту кисню від $C_{O_2} = 0,2$ до $C_{O_2} = 0,8$ та зменшення зовнішнього тиску від $P = 3 \cdot 10^7$ Па до $P = 10^5$ Па призводить до зменшення T_z у 1,3...1,8 раза;

на час згоряння частинок магнію та алюмінію у продуктах розкладання оксидів металів таких параметрів: збільшення розміру частинок від $d_m = 54$ мкм до $d_m = 310$ мкм, зменшення відносного вмісту кисню від $C_{O_2} = 0,8$ до $C_{O_2} = 0,2$ та зовнішнього тиску від $P = 3 \cdot 10^7$ Па до $P = 10^5$ Па призводить до збільшення τ_z у 1,6...3,7 раза.

Розроблено нові експериментально-статистичні моделі, які дають змогу в режимі діалогу і реального часу проводити розрахунки на комп'ютері (відносна

похибка 5...7 %) рівнів температури займання й часу згоряння частинок магнію та алюмінію у продуктах термічного розкладання оксидів металів, що характеризують їх здатність до прискорення процесу горіння в умовах зовнішніх термодій (підвищені температури нагріву та тиски навколишнього середовища), формуючи базу даних щодо вибухонебезпечних режимів горіння сумішей за вказаних умов.

Враховуючи результати отриманих розрахунків та даних у подальшому планується проведення досліджень щодо вивчення пожежонебезпечних властивостей піротехнічних сумішей та створення відповідної бази даних щодо піротехнічних виробів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шидловский А. А. Основы пиротехники. М. : Машиностроение, 1973. 320 с.
2. Металлические горючие гетерогенных конденсированных систем / Силин Н. А. и др. М. : Машиностроение, 1976. 320 с.
3. Горение металлизированных гетерогенных конденсированных систем / Силин Н. А. и др. М. : Машиностроение, 1982. 232 с.
4. Процессы горения металлизированных конденсированных систем / Ващенко В. А. та ін. Київ : Наукова думка, 2008. 745 с.
5. Кириченко О. В. Повышение эффективности пиротехнических нитратосодержащих изделий в условиях их применения. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2009. № 2. С. 89–94.
6. Кириченко О. В., Пашковський П. С., Ващенко В. А., Лега Ю. Г. Основы пожарной безопасности пиротехнических нитратомісних виробів в умовах зовнішніх термовпливів : монографія. Київ : Наукова думка, 2012. 318 с.
7. Fire safety improvement of pyrotechnic nitrate-metal mixtures under external thermal conditions / Dibrova O. and all. *Technology audit and production reserves*. 2020. № 1/1(51). Р. 44–49.
8. Вогман Л. П., Сотников О. В. Нормирование пожарной опасности фейерверочных пиротехнических изделий бытового назначения. *Пожаровзрывобезопасность*. 1998. № 2. С. 3–11.
9. ГОСТ Р 51270–2000. Изделия пиротехнические. Общие требования безопасности [Дата введения 2000-01-01]. М., 1999. 46 с.
10. Вогман Л. П., Зуйков Л. А., Татаров В. Е., Лепесий В. В. Разработка рекомендаций по обеспечению пожарной безопасности фейерверочных пиротехнических изделий. *Пожаровзрывобезопасность*. 2002. № 3. С. 24–41.
11. ДСТУ 4105–2002. Вироби піротехнічні побутові. Загальні вимоги безпеки [Чинний від 2002-09-01]. Затверджено наказом Держстандарту України від 12. 06. 2002 р. № 356. Київ : Держстандарт України, 2002. 10 с.
12. Маковой В. А. Основные требования пожарной безопасности при обращении пиротехнической продукции. *Чрезвычайные ситуации : промышленная и экологическая безопасность*. 2011. № 1–3 (6–8). С. 13–21.
13. Ковалишин В. В., Марич В. М., Лозинський Р. Я. Проблеми гасіння магнію та його сплавів. *Пожежна безпека*. 2016. № 28. С. 58–63.
14. Ковалишин В. В., Марич В. М. Проблеми гасіння магнію та його сплавів. *Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., Львів (20–21 жовт. 2016 р.). Львів : ЛДУ БЖД, 2016. С. 304–305.
15. Filzen M. Feuerwehr-Essen: Feuer in Essener Hafenmühle, brennt gelagertes Aluminiumgranulat. Feuerwehr Essen. Pressemitteilung (vom 23.01.2016).
16. Tepper F., Kaledin L. Combustion characteristics of kerosene containing Alex nano- aluminum. *Unsteady Combustion and Interior Ballistics: Lectures of the 3rd International Workshop*. Saint Petersburg, 2000. Р. 320–325.
17. Горение в воздухе смесей промышленных порошков алюминия со сверхтонкими порошками алюминия и оксида алюминия / Е. М. Попенко и др. *Физика горения и взрыва*. 2002. № 2. С. 36–41.
18. Федоров А. В., Харламова Ю. В. Воспламенение частицы алюминия. *Физика горения и взрыва*. 2003. Т. 39. № 5. С. 65–68.
19. Калинчук В. В., Черненко А. С. Критические условия гетерогенного воспламенения нагретой частицы магния в холодном воздухе. *Физика аэродисперсных систем*. 2006. Вып. 43. С. 82–89.
20. Arkhipov V., Korotkikh A., Kuznetsov V. Ignition of energetic materials containing nanopowder of metals. Self-propagating High-temperature Synthesis. *Book of Proceedings of the IX International Symposium*. Dijon, France, 2007. Р. 43–44.
21. Кириченко О. В., Ващенко В. А., Акиншин В. Д., Цибулін В. В. Спалахування частинок алюмінію в продуктах розкладання нітратомісних окислювачів та органічних речовин піротехнічних сумішей при підвищених температурах

- нагріву. *Пожежна безпека : теорія і практика. Збірник наукових праць*. Черкаси : АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2011. № 9. С. 17 – 25.
22. Кириченко О. В., Ващенко В. А., Цибулін В. В., Тупицький В. М. Керована база даних по часам згорання частинок металевих паливних в продуктах розкладання піротехнічних сумішей. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2012. № 4. С. 78–83.
 23. Дослідження спалахування та горіння частинок алюмінієвомагнієвих сплавів у продуктах розкладання твердих піротехнічних палив / Діброва О. С. та ін. *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека*, 2019. № 2 (8). С. 81–85.
 24. Дослідження спалахування та горіння частинок металевих паливних у продуктах розкладання нітратовмісних окиснювачів та органічних речовин при зовнішніх термічних впливах / Кириченко О. В. та ін. *Сборник научных трудов : Проблемы пожарной безопасности*, 2020. № 47. С. 50–59.
 25. Виленкин С. Я. Статистическая обработка результатов исследования случайных величин. М. : Энергия, 1979. 320 с.
 26. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы. М. : Наука, 1984. 831 с.

REFERENCES

1. Shidlovskiy A. (1973). Osnovy pirotekhniki [Fundamentals of pyrotechnics], Nauchnoye izdatel'stvo: Mashinostroyeniye. Moscow [in Russian].
2. Silin N., Vashchenko V., Kashporov L. (1976). Metallicheskiye goryuchiye geterogennykh kondensirovannykh sistem [Metallic combustible heterogeneous condensed systems]. Nauchnoye izdatel'stvo : Mashinostroyeniye. Moscow [in Russian].
3. Silin N., Vashchenko V., Kashporov L. (1982). Gorennye metallizirovannykh geterogennykh kondensirovannykh sistem [Combustion of metallized heterogeneous condensed systems]. Nauchnoye izdatel'stvo: Mashinostroyeniye. Moscow [in Russian].
4. Vashchenko V., Kirichenko O., Lega Yu., Zaika P., Yatsenko I., Tsybulin V. (2008). Protsessy goreniya metallizirovannykh kondensirovannykh sistem [Processes of combustion of metallized condensed systems], *Naukova vidavnistvo : Naukova dumka*. Kyiv [in Russian].
5. Kyrychenko O. (2009). Povyshenye éffektivnosti pyrotekhnicheskikh nytratosoderzhashchykh yzdeliy v uslovyakh ykh prymerenyya [Increasing the efficiency of pyrotechnic nitrate-containing products in terms of their application]. *Naukovyy visnyk Cherkas'koho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu*. Cherkasy [in Russian].
6. Kyrychenko O., Pashkovskyy P., Vashchenko V., Leha Yu (2012). Osnovy pozharnoy bezpeky pyrotekhnicheskikh nytratovmisnykh vyrobiv v umovakh zovnishnikh termovplyviv [Fundamentals of fire safety of pyrotechnic nitrate-containing products in the conditions of external thermal influences], *Naukova vidavnistvo: Naukova dumka*. Kyiv [in Russian].
7. Dibrova O., Kyrychenko O., Motrychuk R., Tomenko M., Melnyk V. (2020). Fire safety improvement of pyrotechnic nitrate-metal mixtures under external thermal conditions. Scientific Bulletin: Technology Audit and Production Reserves [in English].
8. Vogman L., Sotnikov O. (1998). Normirovaniye pozharnoy opasnosti feyerverochnykh pyrotekhnicheskikh izdeliy bytovogo naznacheniya [Rationing of fire hazard of fireworks pyrotechnic household products]. *Pozharovzryvobezopasnost*. Moscow [in Russian].
9. ГОСТ Р 51270–2000. Izdeliya pyrotekhnicheskoye. Obshchiye trebovaniya bezopasnosti (1999) [Pyrotechnic products. General safety requirements]. М. 46 s. [in Russian].
10. Vogman L., Zuykov V., Tatarov V., Lepesiy V. (2002). Normirovaniye pozharnoy opasnosti feyerverochnykh pyrotekhnicheskikh izdeliy bytovogo [Development of recommendations for ensuring fire safety of fireworks pyrotechnic products], *Pozharovzryvobezopasnost* [Fire and explosion safety]. Moscow [in Russian].
11. DSTU 4105–2002. Vyroby pyrotekhnicheskoye pobutovi. Zahalni vymohy bezpeky (2002). [Household pyrotechnic articles. General safety requirements]. [Chynnyi vid 2002-09-01]. Zatverdzheno nakazom Derzhstandartu Ukrainy vid 12. 06. 2002 r. № 356. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy. 10 s. [in Ukrainian].
12. Makovey V. (2011). Osnovnyye trebovaniya pozharnoy bezopasnosti pri obrashchenii pyrotekhnicheskoy produktsii [Basic requirements for fire safety when handling pyrotechnic]. *Mezhdunarodnyy nauchno-prakticheskiy zhurnal : Chrezvychaynyye situatsii: promyshlennaya i ekologicheskaya bezopasnost*. [in Russian].
13. Kovalishin V., Marich V., Lozynsky R. (2016). Problemy hasinnya mahniyu ta yoho splaviv [Problems of extinguishing magnesium and its alloys], *Pozhezhna bezpeka* [in Ukrainian].
14. Kovalishin V., Marich V. (2016). Problemy hasinnya mahniyu ta yoho splaviv [Problems of extinguishing magnesium and its alloys], *Materialy Mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi: Teoriya, praktyka, innovatsiyi*. Lviv [in Ukrainian].
15. Filzen M. (2016). Feuerwehr-Essen: Feuer in Essener Hafenmühle, brennt gelagertes Aluminiumgranulat. Feuerwehr Essen. Pressemitteilung (vom 23.01.2016) [in German].
16. Tepper F., Kaledin L. (2000). Combustion characteristics of kerosene containing Alex nano- aluminum. Unsteady Combustion and Interior Ballistics: Lectures of the 3rd International Workshop [in English]
17. Popenko Ye., Il'in A., Gromov A., Kondratyuk S., Surgin V., Gromov A. (2002). Gorennye v vozdukh smesey promyshlennykh poroshkov alyuminiya so sverkh-tonkimi poroshkami alyuminiya i oksida alyuminiya [Combustion in air of mixtures of industrial aluminum powders with ultrafine powders of aluminum and aluminum oxide], *Fizika goreniya i vzryva*. [in Russian].
18. Fedorov A., Kharlamova Yu (2003). Vosplameneniye chastitsy [Ignition of aluminum particles]. *Fizika goreniya i vzryva* [in Russian].
19. Kalinchak V., Chernenko A. (2006). Kriticheskiye usloviya geterogennogo vosplameneniya nagretoy chastitsy magniya v kholodnom vozdukh [Critical conditions for heterogeneous ignition of a heated magnesium particle in cold air]. *Fizika aerodispersnykh sistem* [in Russian].
20. Arkhipov V., Korotkikh A., Kuznetsov V. (2007). Ignition of energetic materials containing nanopowder of metals. Self-propagating High-temperature Synthesis. Book of Proceedings of the IX International Symposium. Dijon, France, [in English].
21. Kyrychenko O., Vashchenko V., Akin'shyn V., Tsybulin V. (2011). Spalakhuvannya chastynok alyuminiyu v produktakh rozkladannya nitratovmisnykh oksylyuvachiv ta orhanichnykh rehovyn pyrotekhnicheskikh sumishey pry pidvyshchenykh temperaturakh nahrivu [Flame retardation of aluminum particles in the decomposition products of nitrate-containing oxidants and

- organic substances of pyrotechnic mixtures at elevated heating temperatures]. *Zbirnyk naukovykh prats: Pozhezhna bezpeka: teoriya i praktyka*. Cherkasy [in Ukrainian].
22. Kyrychenko O., Vashchenko Tsybulin V., Tupyts'kyi V. (2012). Povyshenye éffektyvnosti pyrotekhnicheskikh nytratosoderzhashchykh O. Vyzdelyi v usloviyakh ykh prymerenyya [Increasing the efficiency of pyrotechnic nitrate-containing products in terms of their application]. *Naukovyy visnyk Cherkas'koho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu*. Cherkasy [in Ukrainian].
23. Kyrychenko O., Dibrova O., Motrichuk R., Vashchenko V., Kolin'ko S. (2019). Doslidzhennya spalakhuvannya ta horinnya chastynok alyuminiyevomahnievykh splaviv u produktakh rozkladannya tverdykh pirotekhnichnykh palyv [Research of ignition and combustion of particles of aluminum-magnesium alloys in decomposition products of solid pyrotechnic fuels]. *Naukovyy visnyk: Tsyvil'nyy zakhyst ta pozhezhna bezpeka*. [in Ukrainian].
24. Kirichenko O., Motrichuk R., Dibrova O., Melnyk V., Vashchenko V., Butenko T. (2020). Doslidzhennya spalakhuvannya ta horinnya chastynok metalevoho pal'noho u produktakh rozkladannya nitratovmisnykh oksyenyuvachiv ta orhanichnykh rechovyn pry zovnishnikh termichnykh vplyvakh [Research of ignition and combustion of metallic fuel particles in decomposition products of nitrate-containing oxidants and organic substances under external thermal influences]. *Sbornyk nauchnykh trudov : Problemy pozharnoy bezopasnosti* [in Ukrainian].
25. Vilenkin S. (1979). Statisticheskaya obrabotka rezul'tatov issledovaniya sluchaynykh velichin [Statistical processing of the results of the study of random variables]. Nauchnoye izdatel'stvo: Energiya [in Russian].
26. Korn G., Korn T. (1984). Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov. Opredeleniya, teoremy, formuly [Handbook of Mathematics for Scientists and Engineers. Definitions, theorems, formulas]. *Nauchnoye izdatel'stvo : Nauka* [in Russian].

**REGULARITIES OF INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS AND
EXTERNAL FACTORS ON THE IGNITION TEMPERATURE AND COMBUSTION
TIME OF MAGNESIUM AND ALUMINUM IN DECOMPOSITION PRODUCTS OF
METAL OXIDES**

Ye. Kyrychenko, V. Gvozd, V. Vaschenko, O. Kyrychenko, O. Diadiushenko, V. Melnyk

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes National University of Civil Defence of Ukraine

KEYWORDS

pyrotechnic metal-
containing
mixtures, fire
safety, processes
of ignition and
combustion of
metal particles.

ANNOTATION

Areas of application of pyrotechnic mixtures in various branches of economic activity and the main sources of their danger during fires and emergencies in their places of storage are analyzed. Experimental researches are carried out and experimental-statistical models of complex influence on ignition temperature and burning time of magnesium and aluminum particles in decomposition products of metal oxides of the following parameters are developed: dispersion of metal fuel, relative oxygen content, external pressure. New experimental and statistical models have been developed, which allow to calculate the levels of ignition temperature and combustion time of magnesium and aluminum particles in the products of thermal decomposition of metal oxides in the mode of dialogue and real time, forming a database on explosive combustion modes of mixtures. Experimental and statistical models allow to form a controlled database of ignition temperatures and combustion times of magnesium and aluminum powder particles in gaseous decomposition products of metal oxides under external heating. The developed database is convenient for assessing the fire-hazardous properties of pyrotechnic articles based on pyrotechnic mixtures, the main parameters of which are elevated heating temperatures and external pressures and can be used as a basis for a more general managed database of theoretical and experimental data to determine fire-hazardous properties of pyrotechnic articles. in the conditions of external thermal actions.

The obtained results will be the basis for the organization and conduct of research on the fire-hazardous properties of pyrotechnic mixtures and the creation of a modern database of products and products for pyrotechnic purposes.

Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека

науковий журнал
ISSN 2518-1777

Підписано до друку 23.12.2021
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.